

# TRAVAUX

REVUE TECHNIQUE DES ENTREPRISES DE TRAVAUX PUBLICS

**TRAVAUX SOUTERRAINS.** TELT - TRANCHEE COUVERTE DE SAINT-JULIEN-MONTDENIS. LIGNE 17 - PREMIER TUNNELIER REUTILISE. PROLONGEMENT LIGNE 11 - TUNNEL DES LILAS. LIGNE 11 - STATION PYRENEES. LIGNE 15 SUD - LE RAMEAU DE L'OAP12. UN NOUVEAU TUNNEL DANS LES GORGES DE L'ARLY. GARE DE LA PORTE MAILLOT. EOLE - NOUVELLE CATHEDRALE A LA DEFENSE. LIGNE 11 - LES DESSOUS DE LA BOUCLE DE ROSNY. LIGNE 15 SUD - EXCAVATION DU RAMEAU 1702P

N° 969 JUIN 2021



GRAND PARIS  
EXPRESS :  
CRÉTEIL L'ÉCHAT  
© SGP

**LES TRAVAUX  
PUBLICS**  
FÉDÉRATION  
NATIONALE



SANTÉ • PRÉVOYANCE • ASSURANCES • ÉPARGNE • RETRAITE • VACANCES

# NOUS AVANÇONS SUR LA MÊME ROUTE QUE LES TRAVAUX PUBLICS

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



**PRO BTP**  
GROUPE  
[www.probtp.com](http://www.probtp.com)



Directeur de la publication  
Bruno Cavagné

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

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

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

Service Abonnement et Vente  
Com et Com  
Service Abonnement TRAVAUX  
Bât. Copernic - 20 av. Edouard Herriot  
92350 La Pléssis-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  
10, rue du Progrès - 93100 Montreuil  
Tél. : 01 41 63 10 30  
www.rive-media.fr

Directeur de clientèle  
Bertrand Cosson -  
b.cosson@rive-media.fr  
L.D. : 01 41 63 10 31

Site internet : [www.revue-travaux.com](http://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  
ISSN 0041-1906

# LE SYTRAL DÉPLOIE UN PLAN D'INVESTISSEMENT MULTIMODAL AMBITIEUX AU SERVICE DE LA COHÉSION DES TERRITOIRES ET DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE



© ALPACA PRODUCTIONS - MÉTROPOLE DE LYON

Le plan de mandat du SYTRAL 2021-2026, voté en décembre 2020, s'est fait dans un contexte inédit de crise sanitaire mondiale qui se traduit par une dégradation très forte du contexte économique impactant de manière significative les ressources du SYTRAL, l'autorité organisatrice des transports pour l'ensemble du département du Rhône. Au-delà des pertes de recettes estimées à plus de 100 M€, c'est toute la dynamique de croissance des réseaux qui s'est arrêtée brutalement.

C'est précisément dans ce contexte incertain, que le SYTRAL a souhaité adopter un plan de relance à la hauteur des enjeux que constituent les mobilités sur l'ensemble des territoires avec un objectif prioritaire : lutter contre la pollution de l'air en proposant une alternative solide, crédible et efficace à la voiture individuelle grâce à un plan d'investissement sans précédent de plus de 2,55 milliards d'euros.

Le plan de mandat "Destinations 2026" engage de nombreux projets structurants afin de renforcer la cohésion des territoires et la poursuite du maillage

du réseau TCL : le développement massif du réseau de surface comprenant notamment la création de quatre nouvelles lignes de tramway ainsi que l'augmentation de la capacité et de la performance du réseau bus, mais aussi le déploiement de la première ligne de transport par câble pour desservir les communes de l'Ouest lyonnais. Une consultation sur le développement du réseau métro sera également lancée en 2021.

Propriétaire d'un patrimoine de plus de 5,2 milliards d'euros, le SYTRAL mettra également l'accent sur la modernisation des équipements et systèmes, le développement de nouvelles infrastructures, l'acquisition de nouveaux matériels roulants pour offrir toujours plus de capacité et de confort, mais aussi le renouvellement complet du système billettique.

L'engagement du SYTRAL porte également sur la mise en œuvre d'une politique tarifaire forte afin de permettre l'accession de chacun au service de transport public selon ses capacités financières. Ce mandat verra aussi la mise en service du prolongement de la ligne B du métro à Saint-Genis-Laval. Ce chantier d'envergure a nécessité la construction d'un tunnelier sur mesure, "à densité variable" pour répondre à la complexité géologique des sous-sols et engendrer le moins de nuisances possible.

D'ici 2022, le SYTRAL devra par ailleurs relever le défi de sa transformation en établissement public local à l'échelle d'un bassin de mobilité élargi desservant 263 communes sur un territoire de plus d'1,8 million d'habitants et, en lien avec l'Autorité Organisatrice de la Mobilité Régionale, de développer un Réseau Express Métropolitain. La cohérence des politiques de mobilité conduite à l'échelle du département du Rhône permet ainsi au SYTRAL d'être confiant en matière d'usage des transports collectifs et de retour de la fréquentation sur les réseaux et services.

**BRUNO BERNARD**  
PRÉSIDENT DU SYTRAL



# TRAVAUX SOUTERRAINS

LA GARE DE LA PORTE MAILLOT © DIRECTION PROJET EOLE / SNCF RESEAU







04 ALBUM

08 ACTUALITÉ



18

**ENTRETIEN AVEC  
MICHEL DEFFAYET**

AFTES :  
L'ESPACE SOUTERRAIN AU CŒUR  
DE LA VILLE DURABLE

**24 PARIS LA DÉFENSE : SUR LA DALLE ET  
SOUS LA DALLE, DES QUARTIERS DE VIE**



32

**TELT**

La tranchée couverte  
de Saint-Julien-Montdenis



38

**LIGNE 17**

Lancement du premier  
tunnelier réutilisé sur  
le Grand Paris Express



44

**PROLONGEMENT  
DE LA LIGNE 11  
DU MÉTRO PARISIEN**

Tunnel des Lilas



50

**MÉTRO LIGNE 11**

Accès supplémentaires  
à la Station Pyrénées



56

**LIGNE 15 SUD DU  
GRAND PARIS EXPRESS**

Le rameau de l'OAP12



64

**APRÈS L'ÉBOULEMENT  
UN NOUVEAU TUNNEL**

dans les gorges de l'Arly



72

**LA GARE DE  
LA PORTE MAILLOT**

Un ouvrage souterrain évolutif



81

**EOLE**

Une nouvelle cathédrale  
à La Défense



88

**LIGNE 11 DU  
MÉTRO PARISIEN**

Les dessous de la boucle  
de Rosny



94

**LIGNE 15 SUD**

Excavation du rameau 1702P  
dans un contexte défavorable





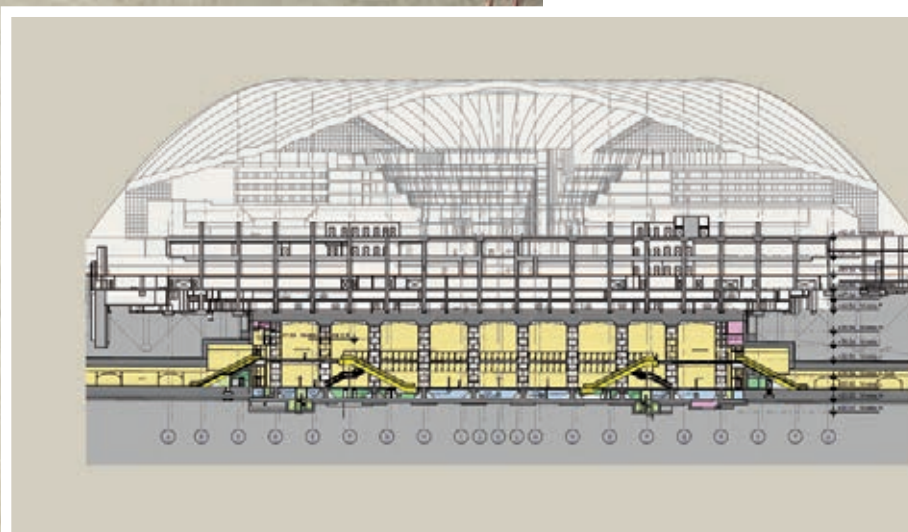


## UNE CATHÉDRALE CONSTRUITE EN SOUS-ŒUVRE SOUS LE CNIT POUR EOLE

### Egis, Setec et Agence

**Duthilleul** forment le groupement SED de maîtrise d'œuvre de la nouvelle gare du RER E à La Défense, insérée sous le CNIT. Cette gare cathédrale comporte 117 piliers pour reprendre 100 000 tonnes. Les travaux sont réalisés par le groupement EDEF (Vinci Construction France, Dodin Campenon Bernard, Vinci Construction Grands Projets, Soletanche Bachy France, Botte Fondations, Spie Batignolles Génie Civil, Spie Batignolles Fondations). Les travaux ont commencé en 2016.

(Voir article page 81).



© SETEC TPI



© AC BARBIER - SETEC TPI









## LA BOUCLE DE ROSNY UN CONTEXTE BIEN ENCOMBRÉ

**Razel-Bec et Sefi-Intrafor**, deux sociétés du groupe Fayat, ont réalisé en extrémité Est du prolongement de la Ligne 11 du métro parisien, un ouvrage, appelé "boucle de Rosny", implanté dans l'emprise d'un grand centre commercial en activité. Les travaux ont duré quatre ans.  
(Voir article page 88).



© JEAN-LOUIS AUBERT



## RENFORCEMENT DE VOIE FERRÉE AU SUD D'ORLÉANS

La voie ferrée du remblai des Carmes, au sud de la gare d'Orléans-les-Aubrais (Loiret), a été renforcée suite à un fontis. Le comportement du sous-sol karstique est suivi par fibre optique.



Les dalles de 90 tonnes/pièce recouvrent le sol remanié. Elles garantissent la sécurité des voies jusqu'à un fontis de 3 m.

La voie ferrée à Saint-Jean-Le-Blanc, commune au sud d'Orléans, a été renforcée de la mi-janvier à la mi-juin 2021. Deux opérations "coup de poing" (OCP) avec arrêt total des trains ont eu lieu, la première, le week-end de l'Ascension (13-16 mai), la seconde, les 22 et 23 mai. Chaque jour, 60 trains de voyageurs et des convois de fret circulent sur la ligne Orléans-Les Aubrais (Loiret)-Montauban (Tarn-et-Garonne). La première OCP, de 68 heures et 35 minutes, a permis de déposer les voies sur 130 m, de terrasser le remblai des Carmes, poser dix dalles de béton de 90 tonnes et reposer les voies. Seconde phase, de 52 heures et 20 minutes : repose de la caténaire et travaux complémentaires. La remise en circulation normale devait intervenir à la mi-juin.

« Nous avons élaboré une procédure minutée grâce à un travail commun avec les entreprises, » précise Franck Montoux, chef de projet au pôle investissements travaux, SNCF Réseau Infrapôle Centre.

À partir des 25-26 avril, la caténaire avait été mise hors service sur 377 m. Les trains ont roulé à 40 km/h et franchi la distance sur leur lancée.

### → Conduit karstique évolutif

La préparation du chantier avait commencé le 18 janvier avec l'aire de préfabrication des dalles sur un terrain communal.

Le renforcement de la voie à Saint-Jean-Le-Blanc s'avérait incontournable depuis la découverte par un conducteur d'un fontis le 18 juin 2015. Sous une ouverture de 80 cm, le vide descendait à 3,50 m. Dans l'urgence, 5 m<sup>3</sup> de béton avaient été injectés et la vitesse des trains, abaissée de 200 km/h à 80.

Le fontis entre les rails n'est que la partie visible d'un phénomène souterrain plus vaste.

Les investigations ont mis au jour des conduits karstiques sous la plate-forme du train dont un plus important. Il n'était pas exclu que d'autres fontis se forment. Ce phénomène n'est pas rare sur la commune.

Le conduit karstique est un système de cavernes et de rivières souterraines, ici entre la Loire et le Loiret. L'eau dissout le calcaire, le plafond d'un conduit s'écroule petit à petit, le trou remonte jusqu'à former un fontis en surface.

### → Alerte à partir d'un fontis d'1 m

Face à ce risque, la 1<sup>re</sup> idée était d'injecter du béton mais le réseau hydraulique souterrain en aurait été perturbé. « Notre bureau d'études a recommandé de protéger la plate-forme sur 100 m de long, » informe Franck Montoux.

Après enlèvement des voies et du ballast, le terrain a été décaissé sur 1,30 m de profondeur et 12 m de large, et le sol, compacté. Dessus, est posée la fibre optique de surveillance, protégée par un

géotextile anti-poinçonnement. Viennent ensuite 25 cm de granulats puis dix dalles en béton de 45 cm d'épaisseur, un géotextile d'étanchéité, le ballast sur 70 cm et les voies.

Les dalles ont été dimensionnées pour résister à un trou de 3 m et garantir la sécurité des trains. La fibre optique détecte le phénomène précurseur d'un problème qui, avec le temps, s'aggraverait. À partir d'un fontis de 1 m de diamètre, elle déclenche une alerte. SNCF Réseau procéderait alors à une exploration par percement de la dalle et caméra.

### → 6,5 millions d'euros

« C'est la 1<sup>re</sup> fois que nous expérimentons la fibre en surveillance de voie, » indique Franck Montoux. La fibre est posée en 8 fils parallèles (4 par voie) sur le sol. Quand le sous-sol s'affaisse, la fibre, privée de soutien, fait une flèche. Cette déformation est repérée par un interrogateur opto-électronique. « L'appareil mesure en continu et transmet les informations par réseau GSM (portables), » développe Cyril Guidoux, chargé de la surveillance par fibre chez Geophyconsult et associé. Ce suivi complète les tournées à pied et les visites réglementaires.

Le renforcement coûte 6,5 millions d'euros HT. Geophyconsult assure la maîtrise d'œuvre conception et suivi de travaux de la fibre (fibre Febus Optics ; pose : Guintoli).

Maîtrise d'ouvrage : SNCF Réseau Centre/Val-de-Loire. Bureau d'études : SNCF Réseau agence de Tours avec Omicron (dalles béton). Génie civil : groupement NGE (mandataire). ■



Pose de la fibre en fils parallèles dans la nuit du 13 au 14 mai.



Un fontis de 80 cm de diamètre s'était formé sous les voies en 2015.

## ÉROSION DES DIGUES ET BARRAGES EN REMBLAIS

La surveillance de remblais par fibre optique a été présentée par Cyril Guidoux (Geophyconsult), lors du webinaire I-risk/Indura "Érosion interne et externe des digues et barrages en remblais".

À la différence du chantier de SNCF Réseau Centre où il s'agit d'un remblai à profil rasant (cf. ci-contre), Cyril Guidoux y a développé l'intérêt de la fibre pour détecter un phénomène précurseur d'érosion interne dans une digue, milieu humide.

Dans ce cas, le système à base de fibre, capteurs et interrogateur, travaille sur la différence de température, par exemple entre l'eau circulante liée à une fuite et le sol, et sur la déformation du câble. L'analyse de la partie de lumière rétrodiffusée donne ces informations et le temps de retour de la lumière les localise.

À ce webinaire, Luc Boutonnier (Egis) est intervenu sur les effets du retrait/gonflement des argiles.

Webinaire sur <https://vimeo.com/531620258>.





**BTP BANQUE**

GRUPE CREDIT COOPERATIF

C'est le métier  
qui parle

LA BANQUE PROFESSIONNELLE DU BTP

... le Bâtiment et des Travaux Publics - Société anonyme à direction et conseil de surveillance au capital de 70 000 000 € - 48 rue La Pérouse CS 11666 - 93177 Paris Cedex 19 - 371 162 74 800 Paris - N°ORF0001 034 871 - PRODIRECT Membre FNAC - RCS 3881174

[www.btp-banque.fr](http://www.btp-banque.fr)



## INSTITUT DE LA MAÎTRISE D'OUVRAGE

L'Institut de la maîtrise d'ouvrage (Imoa) a été créé en mars par des maîtres d'ouvrage de projets d'intérêt public et une fondation : l'Agence Publique pour l'Immobilier de la Justice, l'Établissement public d'aménagement universitaire de la région Île-de-France, l'Opérateur du patrimoine et des projets immobiliers de la culture, la Régie autonome des transports parisiens, Réseau de transport d'électricité, le Service d'infrastructure de la Défense, SNCF Réseau, la Société du Grand Paris et l'Institut de la gestion déléguée, fondation d'entreprises regroupant les acteurs de la gestion des services publics (élus, consommateurs, universitaires, etc.).

L'Imoa, association loi 1901, entend promouvoir la filière et faire remonter auprès des pouvoirs publics ses préoccupations et propositions.

## PRIX PRITZKER

Anne Lacaton et Jean-Philippe Vassal ont remporté le prix Pritzker le 16 mars, une haute récompense architecturale de la fondation Hyatt (États-Unis) présidée par Tom Pritzker.

Ce prix distingue leurs qualités d'architectes-urbanistes\*, que ce soit le respect de l'existant en rénovation (tour Bois-le-Prêtre, Paris 17<sup>e</sup>, 2011), la capacité à ajouter de l'espace comme des jardins d'hiver qui jouent aussi le rôle d'espace tampon thermique. Parmi leurs nombreuses réalisations, citons l'agrandissement de 20 000 m<sup>2</sup> du Palais de Tokyo (Paris, 2012) dont une partie en sous-sol.

\* Travaux n° 961, juillet-août 2020, page 12. Le Monde, 18 mars, Isabelle Régnier.

## VOIR L'ÉCLAIRAGE PUBLIC DE PLUS HAUT

« Les collectivités, notamment les communes, ont du mal à apprécier la performance économique de leur système d'éclairage, observe le rapport de la Cour des Comptes du 18 mars sur la gestion locale de l'éclairage public. Cette gestion devrait être mutualisée via des syndicats d'énergie locaux ou des établissements publics de coopération intercommunale compétents afin de déployer des moyens et solutions plus ambitieux et plus cohérents à l'échelle d'un territoire. À une maille suffisamment importante, elle permet de renforcer l'efficacité de l'éclairage (...) »

La Cour des comptes relève que l'absence de vision globale laisse place à « l'essor de projets clés en main proposés par les opérateurs privés (...) ». Faute de compétences, les collectivités n'ont pas les moyens de contrôler les contrats rigides et de long terme. »

### → 48 % de la consommation électrique

Les conclusions de ce rapport concordent avec les recommandations de la Fédération nationale des collectivités concédantes et régies (FNCCR) qui a publié l'édition 2021 du guide de l'élu sur l'éclairage public (100 pages). Celle-ci invite l'État à engager une réflexion pour mieux définir la compétence éclairage



À Cercy-la-Tour (Nièvre), un arbre à lumières décore le rond-point en entrée de bourg depuis sa rénovation.

public, investir de manière cohérente à travers syndicats et EPCI et avec des moyens suffisants, améliorer la connaissance de ces installations, planifier leur renouvellement et intégrer l'éclairage dans les plans climat-air-énergie territoriaux.

Rappelons que 75 % des luminaires des collectivités ont plus de vingt-cinq ans. L'éclairage public représente 48 % de leur consommation d'électricité et 37 % de leur facture (2015).

### → Supervision à distance

Le Syndicat intercommunal d'énergies, d'équipement et d'environnement de la

Nièvre (296 communes), par exemple, a des principes pour l'éclairage. À chaque remplacement de luminaires, les nouveaux consomment 50 % de moins au minimum et ils sont supervisés à distance (détection de pannes, puissance). Ils supportent des réseaux complémentaires comme des capteurs de qualité de l'air, de température de chaussée (viabilité hivernale), du comptage de véhicules, etc.

**Rapport public annuel 2021, tome 2, à voir sur [www.ccomptes.fr/fr/documents/55052](http://www.ccomptes.fr/fr/documents/55052).** ■

## TRAVAUX SUR LES PETITES LIGNES DE BOURGOGNE/FRANCHE-COMTÉ

Un protocole d'accord pour 455 millions d'euros de travaux a été signé le 4 mars entre l'État, la Bourgogne/Franche-Comté et SNCF Réseau, dans le

but de régénérer les lignes de desserte fine du territoire (644 km).

Sont concernées la ligne des Horlogers entre Besançon (Doubs) et La-Chaux-de-

Fonds (Suisse) ; Nevers (Nièvre)/Montchanin (Saône-et-Loire) ; Paray-le-Monial vers Gilly-sur-Loire, Chauffailles et Montchanin (Saône-et-Loire) ; Cravant-Bazarnes vers Avallon (Yonne) et vers Clamecy (Nièvre) ; Clamecy/Corbigny (Nièvre) ; Lure (Haute-Saône)/Bains-les-Bains (Vosges) ; Frasnay/Les-Verrières-de-Joux (Doubs) ; Belfort/Arc-et-Senans (Doubs) ; Étang-sur-Arroux (Saône-et-Loire)/Saint-Claude (ligne des Hirondelles).

### → Programme 2020-2027

Les travaux sur les 75 km de la ligne des Horlogers ont lieu de mars à octobre avec trafic interrompu. Ils se montent à 55,5 millions d'euros payés par l'État, la Région, SNCF Réseau et Interreg (Union européenne).

Le protocole 2020-2027 sera décliné par ligne en accords de financement et conventions. ■



La ligne des Horlogers, entre Besançon (Doubs) et La-Chaux-de-Fonds (Suisse) est incluse dans le protocole d'accord de mars.



## KLAUS H. OSTENFELD, PROFESSEUR À L'UNIVERSITÉ D'AARHUS (DANEMARK)

Début 2021, Klaus Henrik Ostenfeld a été nommé professeur émérite à l'Université d'Aarhus au Danemark où il enseignait depuis trois ans.

« Je suis nommé dans le département Engineering, j'interviens dans le domaine des structures, surtout les grands ponts ou ouvrages d'art, nous a-t-il précisé. Je vais essayer de faire le lien entre l'approche théorique des autres professeurs et la pratique très diversifiée de l'ingénieur en situation réelle avec tous les paramètres qui influencent ses décisions : méthodes de construction, environnement, esthétique, choix des matériaux, ressources, risques, ductilité et fragilité, comportement de rupture et effondrement, sollicitations accidentelles (collision d'un bateau), tremblement de terre, durabilité, accès facile aux parties critiques pour l'entretien, trafic routier et ferroviaire, stabilité au vent, interaction fondation/structure, développement durable, émissions CO<sub>2</sub>, etc. » Il accorde beaucoup d'importance au travail en équipe et à la pluridisciplinarité.

Il est l'inventeur d'un système de contrôle actif de stabilisation aérodynamique des

© SOREN KJELDGAARD



Klaus H. Ostenfeld en 2021.

grands ponts légers (brevet 1996). Le bon sens ne lui fait pas défaut. « La défaillance d'un élément ne doit pouvoir provoquer aucune réaction en chaîne, dit-il à la revue Travaux en 2018<sup>(1)</sup>. La maintenance commence dès que le projecteur pose pour la première fois son crayon sur le papier. (...) L'ouvrage doit être livré au client avec un manuel d'utilisation et d'entretien. »

L'ingénieur civil et de structure a une longue carrière derrière lui, qui ne

s'est pas arrêtée à son départ en retraite à 65 ans, en 2008, de Cowi Ing Conseils, société d'origine familiale qu'il présidait.

### → Quatre ans en France

Spécialiste des grands ponts, il a déjà plusieurs expériences avant de rejoindre Cowi : bridge engineer chez Ostenfeld & Jonson au Danemark (1966-70, créée par son oncle Christen) puis chez Sverdrup & Parcel aux États-Unis (1970-73), et ingénieur en chef chez Europe Études à Paris (1973-77). Son grand-père, Asger Ostenfeld, avait fondé le Laboratoire structures de l'École polytechnique du Danemark.

### → Pont de Farø

Citons parmi ses nombreuses contributions, les études de la liaison fixe du Storebælt qui relie deux îles du Danemark (Great Belt Bridge, 1998), le pont d'Øresund entre Suède et Danemark (mise en service : 2000) et le pont de Normandie (1995). Sans oublier le pont de Farø (1985, Danemark) qu'il affectionne particulièrement. ■

<sup>(1)</sup> Cf. Travaux n°948, janvier-février 2019, pp 16-23.

## TOUS FORMÉS À L'ÉCONOMIE CIRCULAIRE

Cinq webinaires ont été organisés sur l'économie circulaire par le Comité de concertation et de coordination de l'apprentissage du bâtiment et des travaux publics (CCCA-BTP) avec la société Agyre.

Le dernier, le 27 septembre, porte sur le réemploi de matériaux. Les précédents ont abordé l'économie circulaire et le BTP (26 mars), l'éco-conception et l'évolution des compétences (5 mai), l'approvisionnement durable et territoires (8 juin) et la réhabilitation et la rénovation énergétique (30 juin). Ces conférences par internet constituent un des volets de la collaboration entre les deux partenaires pour former toute la chaîne d'acteurs du BTP et à toutes les phases des projets. Quelques nouveaux métiers émergent comme ceux de chargé du réemploi et de déconstructeur.

Le CCCA-BTP et Agyre basent leur collaboration sur l'incubateur Winlab du premier et la capacité d'innovations de la seconde. Des opérations exemplaires, des projets pilotes comme le démonstrateur Olympi (Chartres) servent de support aux stages, séminaires, conférences, etc.

Les compétences à acquérir sont d'ordre technique, socio-économique et juridique.

[www.winlab-cccabtp.com](http://www.winlab-cccabtp.com)

## PLANIFIER L'ÉOLIEN OFFSHORE DANS LE DÉTAIL



© MH-VESTAS

L'Allemagne comme le Royaume-Uni, les Pays-Bas, la Belgique et le Danemark dispose de documents précis.

La France est invitée par la Commission européenne à établir une planification spatiale maritime (PSM) de façon à « identifier les zones d'accueil des projets d'énergie marine renouvelable<sup>(1)</sup>, (...) de façon à organiser les usages de la mer entre eux, de garantir le bon état écologique du milieu marin, (...) afin de prévenir d'éventuels conflits d'usage et faciliter le développement

des projets, » est-il écrit dans la note n°11 de l'Observatoire des énergies de la mer (avril).

L'Union européenne impose ce document à tous les états membres au 31 mars 2021 afin d'atteindre 300 GW d'éolien offshore en 2050 et 40 GW d'énergie océanique autre.

Chaque façade maritime française dispose d'un document stratégique dressé

par un conseil maritime de façade (quatre en tout), à compléter par un volet opérationnel avant mars 2022.

Selon le Cluster maritime français qui publie la note, cette méthode ne donne pas de visibilité aux acteurs de la mer au-delà de 2024. Les zones considérées sont trop vastes. L'éolien y est parfois prioritaire mais sans lieu ni calendrier précis.

### → Caractéristiques techniques propices

Une PSM retranscrirait les objectifs de la programmation pluriannuelle de l'énergie sur dix ans et dans l'espace maritime. Elle reposerait sur l'étude de caractéristiques techniques propices et la réduction des conflits d'usage.

Le Royaume-Uni, l'Allemagne, les Pays-Bas, la Belgique et le Danemark disposent d'une planification spatiale maritime assez proche du projet européen.

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

<sup>(1)</sup> Eolien offshore, hydrolien, houlomoteur, solaire flottant, etc.



© UNICEM

Chantier Cardem à Colombes (Hauts-de-Seine) en 2019.



### INVESTISSEMENTS DES COLLECTIVITÉS LOCALES

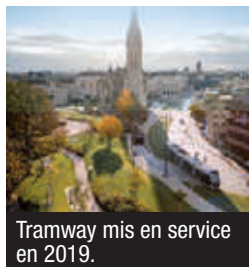
La Fédération nationale des travaux publics (FNTP) prépare une enquête nationale sur les perspectives d'investissement des collectivités locales pour les deux ans à venir, en partenariat avec la Banque postale. Ses résultats seront publiés au 2<sup>e</sup> trimestre 2021.

En attendant les résultats, la FNTP met d'ores et déjà à disposition des fiches par région sur les données-clés régionales, le recensement des infrastructures, le secteur des TP et les dépenses par les différentes collectivités. Cette analyse est diffusée pour 12 régions : Auvergne/Rhône-Alpes, Bourgogne/Franche-Comté, Bretagne, Centre/Val-de-Loire, Grand-Est, Hauts-de-France, Île-de-France, Normandie, Nouvelle-Aquitaine, Occitanie, Pays-de-la-Loire et Sud Provence/Alpes/Côte-d'Azur.

Voir fiches régionales sur [www.fntp.fr/presse/news](http://www.fntp.fr/presse/news) (12 mai)

### EXTENSION DU TRAMWAY DE CAEN

La Communauté urbaine de Caen-la-mer (Calvados) dépose un dossier au 4<sup>e</sup> appel à projets de l'État sur les transports collectifs en site propre pour son projet d'extension de son tramway vers l'ouest avec ces variantes. Le tracé définitif sera décidé en 2024 après concertation et enquête publique. La maîtrise d'ouvrage sera connue fin 2021, la maîtrise d'œuvre, à la mi-2022. La mise en service est planifiée pour la mi-2028.



© KEOULIS CAEN MOBILITÉS

Tramway mis en service en 2019.

## DOUBLEMENT DU PONT DU LARIVOT (GUYANE)



© LAVIGNE ET CHÉRON ARCHITECTES

Au 1<sup>er</sup> plan, futur pont du Larivot, à un sens de circulation et une voie piétonne et cyclable. À l'arrière-plan, le viaduc existant conservé pour l'autre sens de circulation sur la route nationale 1.

Le pont du Larivot (Guyane) va être doublé d'un ouvrage dont le chantier est prévu de 2021 à 2024. Il relie Cayenne à Macouria vers l'ouest de la Région, sur la route nationale 1. Le viaduc à poutres précontraintes par post-tension remonte à 1976. Il franchit en 1 225 m la rivière de Cayenne. Il a été en travaux début 2010 après une période de fermeture.

Le nouveau pont est construit à quelques dizaines de mètres de l'existant qui conserve un sens de circulation. L'ouvrage conçu par les architectes Lavigne et Chéron reçoit, en plus du second sens de circulation, une voie réservée aux piétons et cyclistes.

#### → Maîtrise foncière

Le doublement de pont du Larivot est inscrit dans le plan stratégique de déve-

loppement 2021-2026 (PSD) de l'Établissement public foncier et d'aménagement de la Guyane. Sa construction doit fluidifier la RN1.

Le PSD comprend un volet foncier dont la maîtrise des terrains sur lesquels est bâti le nouveau pont à Macouria et à Matoury, de ceux du doublement de la RN1, du futur transport en commun en site propre à Cayenne, et d'opérations de rénovation urbaine<sup>(1)</sup>.

#### → Installer des agriculteurs

Le volet agricole du PSD vise à installer une centaine d'agriculteurs sur 7 000 ha grâce à l'aménagement de plusieurs secteurs dont des pistes d'accès<sup>(2)</sup>. ■

<sup>(1)</sup> Cf. Travaux n°964, novembre 2020, page 12.

<sup>(2)</sup> Cf. Travaux n°959, avril-mai 2020, page 12.

## QUAI RENFORCÉ AU HAVRE



© HAROPA PORT

Usine d'assemblage d'éoliennes Siemens-Gamesa le long du quai Joannès Couvert au Havre (Seine-Maritime).

Le quai Joannès Couvert du Grand port du Havre (Seine-Maritime) est renforcé pour accueillir la manutention de compo-

sants d'éoliennes. Une pale mesure près de 100 m de long et un ensemble de pièces peut peser 800 tonnes. L'usine Siemens-Gamesa en construction a besoin d'un quai qui puisse supporter 25 tonnes par mètre carré.

Deux postes à quai sont créés : un de 200 m de long dédié au chargement de composants lourds stockés en bord à quai et un autre de 200 m pour l'import-export.

La partie supérieure du quai est découpée sur 4 m de haut. Une dalle en béton armé s'appuie sur des pieux métalliques et sur l'ouvrage existant. Sont néces-

saires une centaine de pieux métalliques de 30 m de haut et plus de 2 m de diamètre, ainsi que près de 500 pieux forés en béton de plus de 1 m de diamètre. Les fonds marins du bassin Théophile Ducrocq qui longe le quai sont renforcés par un tapis de graves.

#### → 65 millions d'euros

Haropa-Port du Havre confie le renforcement du quai et des fonds marins au groupement constitué d'Eiffage Génie Civil, ETMF, ETPO, NGE Fondations et SDI. Le marché s'élève à 65 millions d'euros. Le chantier dure un peu moins de deux ans (2023). ■

## CENTRALE SOLAIRE ET BATTERIES SUR MINE

Une mine d'or de B2Gold au Mali est alimentée en électricité pour partie par des capteurs photovoltaïques. Une centrale de 30 MW sur 66 ha a été mise en service en avril et tournera à plein régime d'ici la fin de l'année sur le site de Fekola, à la frontière avec le Sénégal, au sud-ouest du Mali, à 500 km à l'ouest de Bamako.

Grâce à des batteries qui peuvent stocker jusqu'à 15,4 MWh (Wärtsilä, Finlande), l'installation fournit 75% des besoins diurnes de l'extraction de minerai d'or. Trois des six groupes électrogènes au mazout peuvent être arrêtés, ce qui éco-

nomise plus de 13 millions de litres d'énergie fossile par an.

La production photovoltaïque est intégrée à la centrale électrique au fioul.

Suntrace et Baywa.re se sont associées pour étudier et fournir la centrale. Coût estimé : 38 millions de dollars (32 millions d'euros, 2019) réglés par B2Gold. ■



© B2GOLD

Capteurs photovoltaïques et batteries de stockage d'électricité permettent d'économiser 13 millions de litres de mazout par an sur cette mine d'or.





9 clients sur 10 font des économies en utilisant les butons Groundforce

SCANNEZ POUR EN SAVOIR PLUS



**Groundforce**

Solutions de Butonnage Hydraulique

## PASSERELLE SUR LA LOIRE À BLOIS



La passerelle s'appuie sur les piles d'un ancien barrage.

© ALAIN DESWARTE/MARC MIMRAM ARCHITECTURE INGÉNIERIE

Marc Mimram a été choisi en décembre dernier pour concevoir une passerelle sur la Loire, à Blois (Loir-et-Cher). Les études ont commencé et déboucheront en 2022 sur les appels d'offres de réalisation. Les travaux sont prévus en 2023-2024. Le cabinet d'architectes et d'ingénieurs est associé aux bureaux

d'études Greisch Ingénierie et Seti, et aux paysagistes de Phytolab. La passerelle relie en 380 m de long et 4 de large au plus étroit, le parc des Mées au lac de Loire. Elle crée une connexion avec la zone naturelle de la Bouillie en cours d'aménagement. L'ouvrage d'art prend appui sur les piles

de l'ancien barrage du lac de Loire. La structure se compose d'éléments tendus et fléchis en acier, et d'éléments en arcs comprimés en bois lamellé-collé.

### → Cavaliers à pied

Le béton est présent dans le tablier et les appuis. Cette traversée de la Loire est accessible aux piétons, cyclistes, et cavaliers descendus de monture.

La passerelle arbore une forme courbe dans la longueur et la hauteur. Deux grands belvédères ouvrent la vue sur le fleuve.

Le marché de conception remporté par Marc Mimram inclut le prolongement du viaduc ferroviaire des Noël's (déclassé) par-dessus la route départementale 951 pour rejoindre le circuit de la Loire en vélo.

### → 12 millions d'euros

L'ensemble du projet, passerelle et viaduc, est estimé à 12 millions d'euros à la charge d'Agglopolys (agglomération de Blois), du conseil départemental du Loir-et-Cher, de la région Centre/Val-de-Loire et de l'État. ■

## ENGINS ÉLECTRIQUES

Eiffage Génie Civil, après avoir acquis 15 camions Volvo au gaz naturel liquéfié fin 2019, se dote de deux engins électriques pour des chantiers du Grand Paris Express (GPE). Le camion RE Electric collecte et livre outils et pièces détachées pour les travaux de démolition du lot 1 de la Ligne 16 (Saint-Denis-Pleyel/Noisy-Champs) et du lot T2B (Créteil-Champigny) de la 15. Il peut parcourir 150 km sans être rechargé. Il dispose de 2 moteurs électriques, 4 batteries de traction et d'une grue. Quant à la minipelle électrique ECR25, à 2 moteurs, 4 batteries, 4 heures d'autonomie, elle interviendra en déconstruction et en démantèlement.



## PONT DE LEVERKUSEN

La société autoroutière allemande Autobahn a confié à SEH (Allemagne) et Lemants (Belgique), filiales d'Effage Métal, la construction du pont sur le Rhin à Leverkusen, au nord de Cologne, sur l'autoroute A1. Il s'agit de doubler la capacité de l'existant. L'ouvrage d'art mesure 1 068 m avec une section métallique à haubans de 690 m et le reste en béton. Le marché se monte à 180 millions d'euros dont 116 pour Effage. Les travaux devaient débuter à la signature en mai pour une livraison début 2024.



© AUTOBAHN

## LE STADE YVES-DU-MANOIR SE PRÉPARE POUR LES JO DE 2024

© SORA/CELNIKIER ET GRABLI ARCHITECTES, OLGGA ARCHITECTURES



Vue future de la tribune de hockey de 1 000 places.

Le stade Yves-du-Manoir à Colombes (Hauts-de-Seine) se prépare à recevoir les compétitions de hockey sur gazon des jeux olympiques de 2024. Au-delà des Jeux, l'équipement sportif départemental entend devenir le berceau du hockey dans l'Hexagone. La Fédération française de hockey, son centre d'entraînement, la ligue Île-de-France, le comité départemental de hockey

puis le Racing club de France Hockey 92 Colombes, vont investir les lieux. Dans cette optique, deux terrains synthétiques, une tribune de 1 000 places et un bâtiment spécifique vont être réalisés. À cela, s'ajoutent 4 terrains de foot, 3 de rugby, en synthétique, et un nouvel anneau d'athlétisme. La tribune historique du stade qui remonte aux JO de 1924, va être réhabilitée et

mise aux normes, et le terrain attenant, refait. Le gymnase Loury sera démoli. La moitié de la production d'électricité est assurée par 350 m<sup>2</sup> de capteurs solaires photovoltaïques. Les besoins de chaleur et de froid sont couverts à 50% par le photovoltaïque et par une cogénération à l'huile de colza. L'ensemble de l'opération se monte à 80 millions d'euros dont 12 versés par la Société de livraison des ouvrages olympiques (établissement public) au département, 4 millions par l'État et 5 par la région Île-de-France.

La tribune d'honneur sera réhabilitée en 2021-2022 (Atelier Dutrevis, maître d'œuvre, et OTE, bureau d'études).

→ **Prêt pour décembre 2023**

Le stade doit être prêt pour décembre 2023. Le département des Hauts-de-Seine confie les travaux au groupement mené par Léon Grosse, avec CGA et Olgga, architectes, Verdi et Eléments, bureaux d'études, et Cram (maintenance). ■



# TRAVAUX

REVUE TECHNIQUE DES ENTREPRISES DE TRAVAUX PUBLICS

Retrouvez l'actualité de la profession, les chantiers en images, les interviews des grands décideurs, le point de vue des ingénieurs. Pour réserver votre emplacement publicitaire dans Travaux, contactez :

### Prochains numéros :

- TRAVAUX n° 970 « International »
- TRAVAUX n° 971 « Travaux maritimes et fluviaux »



**Bertrand COSSON**

Tél. 01 41 63 10 31

[b.cosson@rive-media.fr](mailto:b.cosson@rive-media.fr)



## 17 DISPOSITIFS "PONTS CONNECTÉS" À EXPÉRIMENTER

L'appel à projets "Ponts connectés" a été rondement mené. Lancé par le gouvernement en décembre et piloté par le Cerema, les résultats ont été publiés le 23 avril<sup>(1)</sup>. Les lauréats expérimenteront leurs innovations sur les ouvrages de l'État ou des collectivités. Livrables en 2023. Les 17 propositions aident au diagnostic, à la détection, à la surveillance des ponts. Elles complètent les méthodes d'inspection visuelle classiques en s'appuyant sur des technologies récentes.

L'impact des poids lourds sur les ouvrages se retrouve dans trois propositions. Audace de Sisgeo avec le Lemta et la SNCF suit un ouvrage ayant été percuté par un camion par en-dessous. Survout de Quadric avec le Conseil départemental de l'Isère observe les ouvrages en maçonnerie sous circulation dont les convois exceptionnels. Viasagax de Freyssinet avec l'Hérault (CD) et Eurovia pèse le camion, lit sa plaque, des informations utiles en cas de dommage après un dépassement de charge autorisée.

### → Détecter les affouillements

La détection de corrosion de câbles est au cœur de Cahprees d'Artelia avec les universités Bretagne Occidentale et Gustave Eiffel, APPR et Area.

Gerico s'intéresse au comportement mécanique des treillis métalliques. Projet



Viasagax (Freysinet) qui pèse les camions en entrée de pont et lit leur plaque d'immatriculation, est expérimenté dans l'Hérault.

de SCE avec Osmos, Strains et la métropole d'Angers.

Le risque de fragilisation d'un pont par affouillements a retenu l'attention de Sixense Monitoring (IA2) avec le Lot (CD), l'université Gustave Eiffel et Cofiroute, d'une part, et de QSC Services avec Coredia, Dynaopt et les Pyrénées-Orientales (CD), d'autre part.

Mimia de Sites avec Cornis, CSL et la Corse, œuvre à partir de données issues de l'imagerie satellitaire.

### → Intelligence artificielle

L'intelligence artificielle est présente dans plusieurs propositions parfois avec de la

réalité augmentée : Cl3S de Cideco avec l'institut Pascal (UCA) et le Puy-de-Dôme (CD) ; projet de Corrosia avec Weaverize et la métropole de Lille ; Mirauar de Setec avec Bloc in Bloc et le Liris ; Sofia de Socotec avec le CEA et la Sanef ; Vivoa de Sixence Engineering avec Sixence Mapping et Digital et la métropole d'Angers.

Tous les projets sur [www.ecologie.gouv.fr/presse](http://www.ecologie.gouv.fr/presse), 23 avril. ■

<sup>(1)</sup> Cf. Travaux n°967, mars 2020, page 15.

## MIRAMAS RAFRAÎCHIT UNE ENTRÉE DE VILLE

Nombre de communes cherchent à diminuer les surfaces imperméabilisées et à éviter les îlots de chaleur.

À Miramas (Bouches-du-Rhône), un boulevard à 4 voies à l'entrée de ville par l'ouest a été réduit à 2 voies. La bande ainsi dégagée devient la promenade Aubanel avec un sol clair (stabilisé, dalles) et de

la végétation. L'alignement de pins parasols centenaires (ombre) a été conservé.

### → Beaucoup moins d'enrobé

Sur 25 500 m<sup>2</sup> du projet, plus de 18 000 sont transformés en espace vert ou perméable avec près de 33 800 plantations. Un parking en terre et pierre clair couvre 1 500 m<sup>2</sup>.

La voirie qui occupait près de 10 000 m<sup>2</sup> ne dispose plus que de 4 200 m<sup>2</sup>. L'enrobé sur les trottoirs a été divisé par quatre.

Résultat : l'albedo ou capacité à réfléchir le rayonnement solaire sans stocker la chaleur l'été, est monté de 0,08 à 0,2 environ.

### → Mention spéciale IMBP

L'aménagement conçu par Cylea architectes et paysagistes en partenariat avec Suez Consulting mandaté par la ville et l'Epac Ouest Provence, a reçu une mention spéciale du jury du prix "Infrastructures pour la mobilité, diversité et paysage"<sup>(1)</sup>. Il avait reçu le "trophée Eau, une Cop d'avance" de la région Sud Provence/Alpes/Côte-d'Azur en 2019. ■



L'alignement de pins parasols de l'ancien boulevard à 4 voies a été conservé.

## PILES INCLINÉES

Un pont de 836 m est construit sur la Vormo en Norvège, à Minnevikka. Il est destiné à des trains à grande vitesse sur le trajet entre Oslo et Hamar, à 130 km au nord, et qui rouleront à partir de 2023.

Les piles de ce pont étaient en construction en mars et elles resteront au repos pendant au moins deux ans, selon Aarsleff Ground Engineering qui les réalise.

Le bedrock étant très profond, les piles reposent sur des pieux flottants inclinés jusqu'à 1:5, au nombre de 280, d'un diamètre de 1 016 mm et d'une longueur de 58 m. Aarsleff utilise un marteau de fonçage sur un mât incliné porté par la pelle HS 895 HD de Liebherr, elle-même travaillant à partir d'une barge sur la rivière qui forme un lac à cet endroit.



Engin de battage-forage des fondations du pont à 58 m de profondeur.

## RENCONTRES GÉOSYNTHÉTIQUES EN AVRIL 2022

Les 13<sup>e</sup> rencontres géosynthétiques prévues du 20 au 22 septembre à Saint-Malo (Ille-et-Vilaine) sont reportées du 5 au 7 avril 2022 au même endroit.

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

<sup>(1)</sup> IMBP 2020 de l'Idrim. Cf. Travaux 968, avril-mai 2021.



**ODUC+  
VERSION 4.0**

La version 4.0 du logiciel Oduc+ de dimensionnement des ouvrages de stockage des eaux pluviales a été présentée en avril.

Oduc+ est élaboré par la Fédération de l'industrie du béton à partir du mémento technique de l'Association scientifique et technique pour l'eau et l'environnement (Astee).

La partie de calcul hydraulique du logiciel a été modifiée pour évaluer « le volume de stockage d'un bassin d'infiltration ou de rétention pour une restitution à débit contrôlé pour les différents niveaux de service à partir des données de pluie réelles ou forfaitaires. »

Rappelons que le logiciel aide aussi à choisir des revêtements perméables de collecte en amont des eaux pluviales.



Le logiciel Oduc+ dimensionne le stockage d'eaux pluviales.

**LIANT  
TRANSLUCIDE**

Les 230 m<sup>2</sup> de trottoir aux abords d'un groupe scolaire à Vedène (Vaucluse) ont été recouverts d'un enrobé clair, ceci dans le cadre de la rénovation du chemin des Jardins. Le Vegecol qui s'épand à température tiède, inclut un liant translucide laissant apparaître la couleur des granulats. Végétal à 80 %, le liant se compose d'une résine dérivée du pin et d'une huile à base d'oléagineux.



Le liant de l'enrobé est à 80 % d'origine végétale.

**ASSOCIER LES SOLUTIONS FONDÉES  
SUR LA NATURE AVEC LE GÉNIE CIVIL**



Redonner de la place à une rivière pour qu'elle déborde sans dommages lors d'une crue est une solution fondée sur la nature (SFN). Les SFN sont utilisées pour protéger des équipements, des habitations contre les risques naturels. Elles sont inspirées par la nature et reposent sur elle.

Aux 18<sup>e</sup> et 19<sup>e</sup> siècles, des barrages pour lutter contre les crues ont été installés afin de reboiser les pentes. De nos jours, on recourt au verdissement en haut et à des barrages plus bas pour stabiliser ravines et chenaux d'écoulement.

Toutefois, une forêt qui disparaît (déracinement, feu) peut réactiver des glissements. En revanche, elle repousse.

« Les arbres ont un effet favorable plutôt sur les événements moins forts mais fréquents, estime Jean-Marc Tacnet, ingénieur-chercheur érosion torrentielle, neige et avalanches à l'Institut national de la recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement (Inrae), intervenant du webinaire Indura sur le sujet (27 avril). La démarche de conception est hybride, elle couple végétal et génie civil. Les SFN sont bonnes au plan social, humain et environnemental. »

M. Tacnet a participé avec son collègue Guillaume Piton de l'Inrae au projet européen sur les assurances et les écosystèmes : Nature insurance value of ecosystems, assessment and demonstration (Naiad, 2016-2019)<sup>(1)</sup>.

Naiad vise à « opérationnaliser la valeur d'assurances des écosystèmes pour réduire le coût humain et économique des risques liés à l'eau (inondations et sécheresse) en développant et en testant avec les principaux assureurs et municipalités, les concepts, outils, appli-



Seuil avant et après arasement sur la Brague (Alpes-Maritimes).

cations et instruments pour son intégration. »

→ **Hameau démolé et renaturé**

Le bassin de la Brague (Alpes-Maritimes) est un des sites de démonstration de Naiad. La Communauté d'agglomération de Sophia-Antipolis (Alpes-Maritimes) réalise des aménagements naturels pour lutter contre les crues de la Brague. Celle de 2015 avait fait 4 morts et 100 millions de dégâts. En mars dernier, le hameau du Biot en zone inondable, a été démolé et renaturé. Cinq seuils sur le cours d'eau ont été arasés.

La France a mis en place un dispositif favorable aux SFN, selon Roland Nussbaum, secrétaire général de l'Association française pour la prévention des catastrophes naturelles qui intervenait au webinaire Indura. Les projets d'amélioration sont portés par des établissements publics (EP) d'aménagement et de gestion des eaux, des EP territoriaux de bassin, des syndicats de rivière, etc. Il y a aussi contractualisation avec l'État au sein des Plans d'actions de prévention des inondations. De plus, le fonds Barnier (FPRNM) finance des actions de prévention des risques naturels. En ce qui concerne les assurances, les

travaux de prévention ne font pas (encore) baisser les primes. « La valeur d'assurance des écosystèmes à travers des solutions adaptées fondées sur la nature a pour vocation d'économiser à terme des sinistres pour le bassin versant bénéficiaire, » explique Roland Nussbaum.

→ **Davantage de sites exposés aux crues**

Par ailleurs, « ce n'est pas tant le changement climatique qui est responsable de l'augmentation du coût des sinistres climatiques entre 1984 et 2018 mais plus l'accroissement du montant des richesses exposés au risque et l'aggravation de l'exposition (plus de sites exposés), » ajoute-t-il citant une étude de la Fédération française de l'assurance.

- **Projet Naiad :** <https://lmredd.fr/projet/naiad>.
- **Étude des sinistres :** [www.ffa-assurance.fr/la-federation/publications/enjeux-climatiques/etude-changement-climatique-et-assurance-horizon-2040](http://www.ffa-assurance.fr/la-federation/publications/enjeux-climatiques/etude-changement-climatique-et-assurance-horizon-2040). ■

<sup>(1)</sup> Partenaires : l'Inrae, le BRGM, l'Imredd (Université Côte d'Azur) et le CCR (groupe public et réassureur international).

© COMMUNAUTÉ D'AGGLOMÉRATION SOPHIA-ANTIPOLIS



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



**NOS MISSIONS**

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

## CAISSE NATIONALE DES ENTREPRENEURS DE TRAVAUX PUBLICS

Au service de la Profession des Travaux Publics

**NOUS CONTACTER**

📍 31 rue le Peletier 75453 PARIS CEDEX 09

☎ Entreprises : 01.70.38.07.70

☎ Salariés : 01.70.38.09.00

sur Internet : [www.cnetp.fr](http://www.cnetp.fr)

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





Membre du Réseau Congés Intempéries BTP





## AGENDA

### ÉVÉNEMENTS

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

- **26 AU 30 JUILLET**  
**World Renewable Energy Congress**  
Lieu : Lisbonne (Portugal)  
<https://wrec2020.tecnico.ulisboa.pt>
- **30 AOÛT AU 1<sup>er</sup> SEPTEMBRE**  
**Infra Bim Open 2021**  
Lieu : Lyon  
[www.infrabimopen.com](http://www.infrabimopen.com)
- **6 AU 8 SEPTEMBRE**  
**Le souterrain, espace d'innovations**  
Lieu : Paris  
[www.aftes2020.fr](http://www.aftes2020.fr)

• **13 AU 15 SEPTEMBRE**  
**Semaine de l'innovation transport et logistique**

Lieu : Paris (Porte de Versailles)  
[www.sitl.eu](http://www.sitl.eu)

• **14 AU 16 SEPTEMBRE**  
**Construction days**

Lieu : Lyon  
[www.construction-days.com](http://www.construction-days.com)

• **15 AU 18 SEPTEMBRE**  
**Geofluid**

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

### FORMATIONS

• **28 AU 30 SEPTEMBRE**  
**Échangeurs thermiques**

Lieu : Aix-les-Bains (Savoie)  
<https://greth.fr/formation-fet>

### NOMINATIONS

**AIMCC :**  
Philippe Gruat a été élu président de l'Association française des industries des produits de

la construction en remplacement d'Hervé de Maistre.

**BOUYGUES :**  
Olivier Roussat est directeur général depuis le 17 février après avoir été directeur général délégué. Martin Bouygues préside le conseil d'administration.

**CONSTRUIRACIER :**  
Pascal Bonaud est le nouveau délégué général de l'organisme de promotion de l'acier à la suite de Christophe Ménage.

**EIFFAGE :**  
Cécile Cambier succède à Marc Legrand à la direction d'Eiffage Concessions.

**NICE ECOVALLÉE :**  
Olivier Sassi, directeur général de l'établissement public d'aménagement Nice Ecovallée, est remplacé par Sarah Bellier.

**SNBPE :**  
Pascal Barylo remplace Noël Le Floch à la tête du collège

béton prêt à l'emploi du SNBPE en Nouvelle-Aquitaine.

En Centre/Val-de-Loire, Alain Burel relaie William de Warren. Gaël Figon préside la commission territoriale BPE en Rhône-Alpes suite au départ de Jérôme Montané pour l'Unicem (ci-dessous).

**UNICEM :**  
Jérôme Montané a été élu à la présidence de l'Union nationale des industries des carrières et matériaux de construction en région Auvergne/Rhône-Alpes. Il prend la suite d'Alain Boisseron.

**UNIVERSITÉ D'AARHUS (DANEMARK) :**  
Klaus Henrik Ostfeld, ingénieur spécialiste des grands ponts, ancien président de COWI, consultant, a été nommé professeur émérite à l'Université d'Aarhus (Danemark) où il enseigne depuis trois ans.



# AFTES

# L'ESPACE SOUTERRAIN AU CŒUR DE LA VILLE DURABLE

Paris accueillera du 6 au 8 septembre 2021 le 16<sup>e</sup> congrès de l'AFTES qui se déroulera, en dépit de la crise sanitaire, dans un contexte malgré tout favorable en raison de l'importance des travaux souterrains actuellement en cours dans la capitale et autour d'elle ainsi que dans plusieurs régions en France ou encore à l'international. Plus que jamais, ce congrès contribuera à promouvoir "l'Espace Souterrain" et à soutenir les actions organisées pour le faire connaître, tant en France qu'à l'international. **Entretien avec Michel Deffayet, président de l'AFTES depuis 2018, qui revient sur les actions entreprises dans cet objectif et sur l'état du marché tel qu'il se présente en France en 2021.** PROPOS RECUEILLIS PAR MARC MONTAGNON



1- Michel Deffayet, président de l'AFTES.

## Quelles sont les origines de l'AFTES ?

L'Association Française des Tunnels et de l'Espace Souterrain (AFTES), a été créée en 1972, pour répondre aux recommandations de la Conférence Internationale sur les travaux souterrains tenue à Washington en 1970 qui préconisaient la mise en place dans chaque pays d'une organisation regroupant les différents acteurs intervenant, à des titres divers, dans les travaux souterrains. Depuis, l'association s'est progressivement élargie pour rassembler aujourd'hui non seulement les acteurs de la construction souterraine, maîtres d'ouvrage, maîtres d'œuvre et ingénieries, entreprises de travaux et équipementiers, acteurs institutionnels, mais aussi bon nombre d'architectes et d'urbanistes, professionnels de la

planification et de l'aménagement. Le secteur académique, professeurs et chercheurs, est également bien représenté.

Un point très important : l'AFTES est un forum d'échanges sans exclusive et une plate-forme de travail en dehors des pressions du quotidien ce qui favorise le travail collaboratif, même entre des acteurs parfois en désaccord sur les chantiers. Il est important que les textes et recommandations qui sont publiés restituent cet état d'esprit et respectent le point de vue de chacun. La gouvernance est équilibrée entre les grandes composantes (environ 1/3 entrepreneurs, 1/3 maîtres d'œuvre, 1/3 maîtres d'ouvrage) et cet objectif est aussi celui qui guide la composition des groupes de travail en charge d'élaborer les recommandations techniques.

FIGURE 1 © DR - FIGURE 2 © ALINE BOROS - FIGURE 3 © CÉLINE CLANET





## Comment l'association est-elle organisée au niveau de son fonctionnement et de ses actions ?

Le socle de l'AFTES, ce sont ses comités et les groupes de travail qui leur sont associés.

Le comité "Technique" rassemble environ 300 membres au sein de 20 groupes de travail actifs ; ces groupes produisent des "recommandations" techniques ou ayant trait à des sujets d'ordre plus général : contractualisation, management des risques, normalisation, ... Ces textes sont l'aboutissement de travaux de synthèse, de réflexions méthodologiques et de retours d'expérience provenant de nos membres. Ils constituent un vivier très précieux qui fait souvent référence avec valeur de règles de l'art.

**2- L'un des ouvrages de reconnaissance de la liaison ferroviaire transfrontalière Lyon-Turin.**

**3- Prolongement de la Ligne 14 du métro parisien : vue depuis l'arrière du tunnelier.**

**4- Descente du bouclier de l'un des tunneliers du Grand Paris Express à Créteil L'Échat.**

**5- Congélation de la station Aimé-Césaire sur le prolongement de la Ligne 12 du métro parisien.**

## MICHEL DEFFAYET : PARCOURS

**Michel Deffayet est Ingénieur diplômé de l'École Nationale Supérieure des Travaux Publics (1982) et de l'École Nationale des Ponts et Chaussées (1995).**

**Il a débuté sa carrière au CETU avec une implication dans les études géotechniques et techniques de plusieurs projets de tunnels routiers français. Il a suivi de près les premières études menées pour la conception du duplex A86 et la validation de ce concept.**

**En 1995, il devient chef de service Infrastructures, Environnement et Ouvrages d'art du Centre d'études techniques de l'Équipement de Metz (France) et supervise plusieurs études de projets autoroutiers (A19, A26, A31bis, ...) ou d'aménagements de routes nationales (R4, R19, ...).**

**En 1999, il rejoint la Direction Départementale de l'Équipement du Rhône où il est en charge des questions d'aménagement, d'urbanisme et de transports, notamment dans le secteur du Grand Lyon.**

**Depuis 2004, il est directeur du CETU et pilote toutes les activités du centre d'études, qui vont du génie civil et des équipements aux aspects liés à l'exploitation et à la vie des tunnels. Il est notamment impliqué dans la production de textes réglementaires et de documents de doctrine ainsi que dans la conduite des missions de conseil et d'assistance aux maîtres d'ouvrage et plus largement à la profession. Il est également le représentant du ministère en charge des transports à Commission nationale d'évaluation de la sécurité des ouvrages.**

**Michel Deffayet est président de l'Association Française des Tunnels et de l'Espace Souterrain (AFTES) depuis 2018.**

**Au niveau international, il est vice-président du comité ITA (ITA-CET) pour l'éducation et la formation créé en 2007 afin de promouvoir et mettre en place, partout dans le monde, les actions d'éducation et de formation aux métiers du souterrain.**

L'AFTES est reconnue internationalement par la qualité et la diversité de cette production. Et avec le temps la mobilisation dans les groupes de travail ne faiblit pas, ce qui est à souligner. La nouvelle collection des recommandations lancée en 2018 vise à mieux valoriser ce capital de savoir. Cette collection, immédiatement reconnaissable, est publiée d'une part en français et d'autre part en anglais. Cette collection en anglais a vocation à être le fer de

lance pour la promotion du savoir-faire français. Le nombre impressionnant des téléchargements de ces textes depuis l'étranger, qu'il s'agisse de textes déjà anciens ou de nouveautés, montre qu'il y a matière à investir dans cette valorisation.

Sous l'égide de son comité de rédaction, l'AFTES publie aussi sa revue trimestrielle "Tunnels et Espace Souterrain" dédiée à l'actualité des projets ainsi qu'au traitement de différentes

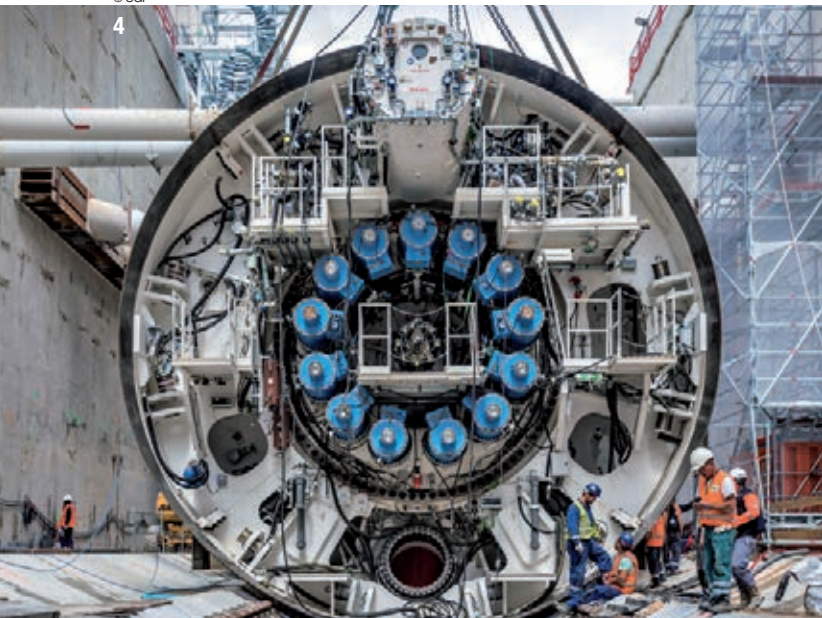
thématiques illustrées par plusieurs articles. Je ne peux qu'inviter chacun à se rendre sur le site internet nouvellement mis à jour pour découvrir tout cela. Le comité "Espace Souterrain" a été créé au début des années 2000 sous l'impulsion de Pierre Duffaut et Monique Labbé. Il ajoute cette dimension de l'aménagement à notre association et anime la promotion de l'utilisation de l'espace souterrain comme espace de projets. La rareté du foncier disponible en surface invite à rechercher des solutions d'aménagement plus intégrés qui combinent la construction en surface et la construction souterraine.

Développer des espaces en souterrain est un moyen puissant pour maîtriser l'expansion urbaine et contribuer ainsi à l'objectif de ville durable. Il apporte des solutions intéressantes et innovantes pour la densification et la résilience de la ville et permet de redéployer des espaces en surface, le tout avec une création de foncier urbain donc de richesse.

Ce message percole de mieux en mieux. On ne peut que se féliciter des initiatives qui sont prises çà et là, comme récemment à la Défense pour requalifier et se réapproprier les espaces sous dalle. Les difficultés techniques sont de moins en moins un frein à l'imagination et la profession sera en mesure de concevoir et de réaliser des ouvrages, même de grande complexité, qui germeront dans l'esprit de nos architectes.

Le comité "Éducation", créé en 2010, a une double vocation : intéresser et attirer les jeunes vers les métiers du souterrain et favoriser la formation professionnelle de ses membres, en assurant un lien permanent avec les milieux universitaires de l'éducation et de la recherche. ▶

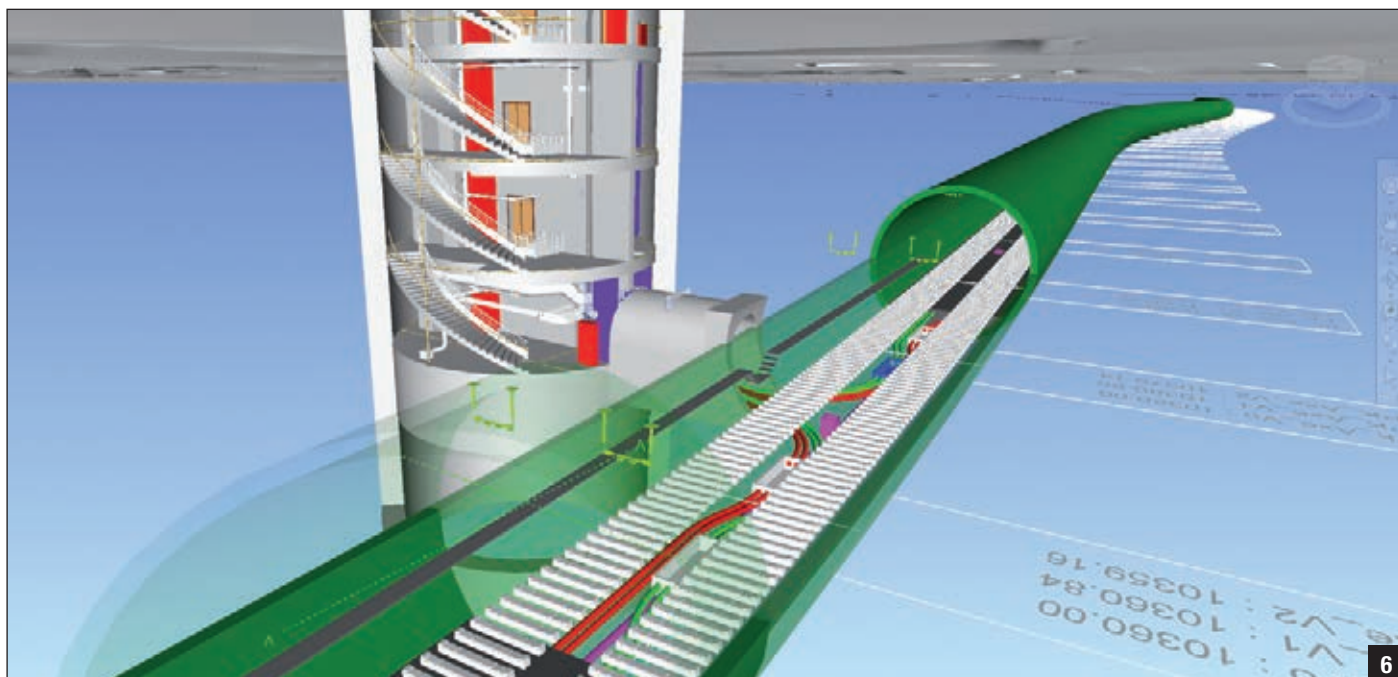
© SGP



© ALEXANDRE SORIA







Son action majeure a été la création en 2011 d'une formation supérieure de type mastère spécialisée consacrée aux travaux souterrains. L'AFTES a favorisé l'implication de nombreux professionnels qui viennent transmettre leur expérience et illustrer l'enseignement par les exemples des chantiers les plus récents.

Le comité "Matériel, Équipements et Produits", anime le réseau des fabricants et fournisseurs de matériels utilisés en travaux souterrains. Son objet est de favoriser les contacts entre spécialistes, d'identifier leurs besoins et de tenir à jour un catalogue des matériels et équipements importants utilisés pour la réalisation des ouvrages. Il est également chargé de mettre en place des vitrines du savoir-faire et des innovations en soutenant la participation française aux congrès et salons spécialisés, avec également une formule de stands communs dans les mani-

festations nationales et internationales. Depuis 2017, le comité "Jeunes" regroupe les adhérents de moins de 35 ans. Ce type d'action pour l'implication des jeunes est déployé dans beaucoup d'associations. Ce comité a le double objectif d'intégrer des jeunes dans toutes les activités de l'association et de mettre en place des actions spécifiques pour les jeunes, que ce soient des soirées d'échanges, des visites de chantier ou encore des formations. Le comité "Congrès", enfin, se focalise sur l'organisation de cette importante manifestation qui se déroule tous les trois ans. Le congrès de 2021 a dû être reporté pour cause de crise sanitaire et se déroulera au début de septembre 2021. L'association se prépare activement à la tenue de ce congrès, tout en organisant l'espace du palais des congrès pour permettre de satisfaire aux contraintes sanitaires qui pourraient encore s'imposer.

Tous les trois ans, le congrès est un moment très fort dans la vie de l'association, un lieu de rassemblement unique de toute la profession autour d'une vaste exposition et de conférences techniques. La dernière édition en 2017 avait accueilli plus de 4000 visiteurs. Le congrès 2021 est placé sous le thème de l'innovation, innovation tant dans les idées lorsqu'il est question d'un autre regard sur l'espace souterrain et les opportunités qu'il peut offrir, que dans les techniques et les technologies qui modifient tous les métiers en profondeur. Le Congrès se veut une opportunité pour les décideurs, gestionnaires d'infrastructures, concepteurs, constructeurs, fournisseurs de partager leurs expériences et leurs projets autour des thèmes suivants :

- L'apport de l'espace souterrain dans la ville du futur ;
- Les évolutions dans la conception des espaces et ouvrages souterrains ;

- L'innovation dans la construction d'ouvrages souterrains ;
- L'exploitation et la maintenance des ouvrages souterrains au service du développement durable.

À noter aussi que le nouveau forum européen EUTF sera invité d'honneur au congrès. Une occasion donc de resserrer les liens avec nos voisins qui bien souvent travaillent sur des sujets voisins.

**Justement, quelle est la place de l'AFTES à l'international et quel est ce nouveau forum EUTF ?**

J'ai déjà évoqué la diffusion des recommandations à l'international ainsi que les objectifs de valorisation du savoir-faire français. C'est une action phare de l'association. L'AFTES est également présente au travers de sa contribution à l'ITA-AITES - Association Internationale des Tunnels et de l'Espace Souterrain - dont elle est





l'un des membres fondateurs et qui fédère actuellement plus de 70 nations membres à travers le monde, ainsi que 300 membres affiliés. Des représentants de l'AFTES sont actifs dans plusieurs des comités et des groupes de travail de l'AITES. Une mention spéciale aussi pour deux de nos représentantes qui pilotent des groupes de travail de l'AITES.

L'évènement plus récent est la création en novembre 2019 du forum européen EUTF (European Underground & Tunnel Forum) qui rassemble les associations nationales de 9 pays voisins : Allemagne, Autriche, Belgique, Espagne, France, Italie, Pays-Bas, Portugal et Suisse.

Au-delà des actions menées par chaque association nationale, ce forum porte d'une seule voix un certain nombre d'intérêts et d'enjeux de la communauté européenne des tunnels que ce soit au sein de l'AITES ou au sein des commissions européennes de normalisation par exemple.

La création de ce forum répond ainsi à un double objectif :

- D'une part, consolider un lieu d'échanges pour la construction de positions communes pour ce qui concerne la normalisation, le portage des intérêts européens, ou encore l'affirmation d'un point de vue de la profession toute entière ; on peut citer le BIM en souterrain, l'évolution des eurocodes, les programmes de recherche européens, ...
- D'autre part, coordonner nos positions au sein de l'association internationale AITES, ce qui permet d'être mieux entendu et de pouvoir peser davantage dans la gouvernance et dans les choix stratégiques de cette association.

## À PROPOS DE CIGÉO

**Projet piloté par l'Andra, Cigéo (Centre industriel de stockage géologique) est le projet français de centre de stockage de déchets radioactifs en couche géologique profonde.**

**Aboutissement de 25 ans de recherches, il est conçu pour stocker les déchets hautement radioactifs et moyennement radioactifs à durée de vie moyenne ou longue produits par l'ensemble des installations nucléaires actuelles, jusqu'à leur fin de vie, et par le traitement des combustibles usés après utilisation dans les centrales nucléaires et dans les réacteurs de recherche.**

**Ces déchets, considérés comme des substances non valorisables, nécessitent des solutions de stockage appropriées à leur nocivité, à leur dangerosité, et cela afin d'assurer définitivement la sécurité pour les populations et l'environnement.**

**6- Modélisation de l'un des tunnels du Grand Paris Express.**

**7- Perspective du hall de la gare de Noisy-Champs (Jean-Marie Duthilleul, architecte).**

**8- Train de travaux de l'entreprise Sotem pour l'entretien des tunnels et des stations du métro parisien.**

**9- Métro de Lyon : arrivée du tunnelier "Coline" à la future station "Oullins-Centre" en mars 2021.**

**10- Arrivée du tunnelier sur le chantier de la ligne "Shatin to Central" à Hong Kong.**

Ce forum s'est bâti autour du regroupement de deux réseaux préexistants, à savoir le réseau BEFIPS (avec les associations nationales des tunnels belge, espagnole, française, italienne, portugaise et suisse) et le réseau DACH (avec les associations allemande, autrichienne et suisse). Depuis le début 2020, l'association néerlandaise a rejoint le forum qui comprend dorénavant neuf associations nationales.

C'est un très beau projet pour l'AFTES que de contribuer à consolider ce forum, tant il offre matière à s'enrichir mutuellement par la connaissance des travaux qui sont conduits dans les différents pays. D'ores et déjà plusieurs sujets prioritaires de travail ont été identifiés, parmi lesquels celui de la rénovation des tunnels, avec beaucoup d'ouvrages aujourd'hui vieillissants à réhabiliter sans pour autant apporter trop de perturbations à l'exploitation. Vaste sujet pour trouver des solutions innovantes !

## Qu'en est-il du BIM dans les travaux souterrains ?

Le BIM et la transition numérique se traduisent par une mutation importante dans les méthodes de conception, de construction et de gestion des ouvrages tout au long de leur vie. Les solutions BIM permettent de rendre les informations plus compréhensibles, plus facilement échangeables et de fournir une valeur ajoutée à chaque étape du processus. Chacun mesure tout l'intérêt d'une démarche continue, intégratrice et sans rupture d'information de la conception à l'exploitation.

Les nouveaux projets de tunnels, et notamment tous ceux d'ampleur, imposent des conceptions avec démarche BIM. C'est le cas pour les chantiers du Grand Paris Express ou les prolongements de lignes de métro à Lyon et à Toulouse. Les exigences à prévoir pour lancer une telle démarche et les spécifications techniques ne sont pas toujours bien cadrées ; chacun invente un peu en marchant.

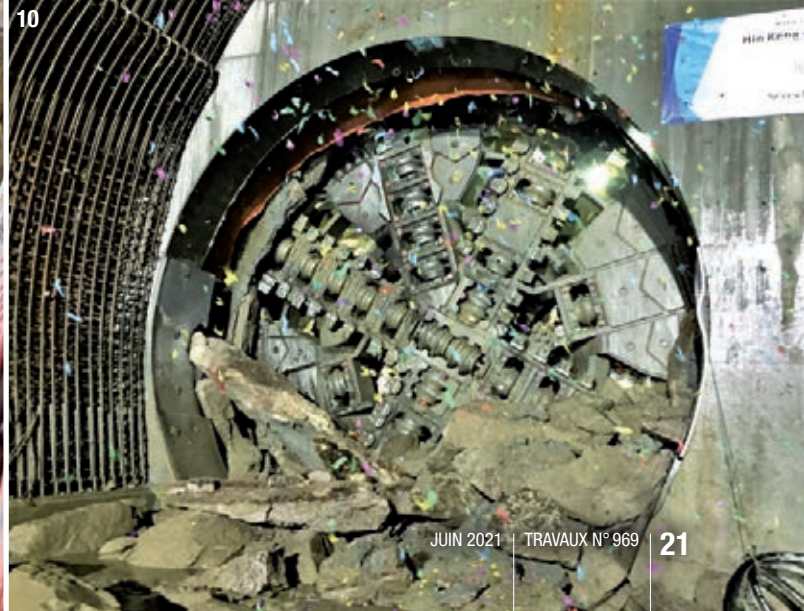
L'AFTES a mis en place depuis 2 ans un groupe de travail dédié à cette question. Elle s'active à rassembler et partager les expériences pour en tirer des enseignements. Au sein du forum européen EUTF, l'association allemande DAUB a d'ores et déjà publié deux textes de recommandations pour le BIM en tunnel. Autriche, Suisse, Italie sont aussi très impliquées. On voit tout l'intérêt du forum pour échanger sur cette question et construire des positions communes pour peser dans les travaux de normalisation internationale qui s'amorcent.

Le groupe de travail de l'AFTES a pu bénéficier des développements qui ont été conduits au sein du projet national MINnD, ainsi de ceux qui vont encore l'être durant la phase 2 de ce projet. ▷

© NICOLAS ROBIN



© DR





Il assure également le lien avec les travaux menés sur les tunnels et la représentation de la géologie par bSI (building SMART International), un organisme mondial qui pilote la transformation numérique et définit les normes à retenir pour disposer de solutions ouvertes pour les infrastructures et les bâtiments. Il y a des enjeux techniques forts, mais clairement aussi des enjeux importants de positionnement qui appellent à toute la vigilance des pouvoirs publics et des représentants de la profession.

### En plus des chantiers incontournables du Grand Paris Express sur lesquels il a déjà été beaucoup écrit, quelles réalisations en cours pourriez-vous mettre en évidence ?

Avec ses 205 km, ses quatre lignes et ses deux extensions de lignes, ses 68 nouvelles gares, le Grand Paris Express constitue évidemment "le" chantier dont il est difficile de ne pas parler tant ses dimensions et ses délais d'exécution sont exceptionnels au niveau français bien sûr mais aussi au niveau international. En ajoutant EOLE et les chantiers RATP, imaginez 21 tunneliers en activité sur Paris en 2020, c'est très très fort. D'autres tunneliers sont en phase de démarrage au début 2021 alors même que d'autres ont déjà achevé leur travail : je pense aux tunneliers du prolongement Sud de la Ligne 14, ou encore à deux de ceux mobilisés sur la Ligne 15 Sud. Mais il ne faut pas oublier qu'une fois le percement au tunnelier réalisé, une étape difficile est franchie mais le travail est encore loin d'être fini. Le chantier du GPE a créé et continue de générer pour cette décennie une activité extrêmement importante pour les ingénieries et les entreprises de travaux souterrains,

## LYON-TURIN : UN AXE D'ÉQUILIBRE

**Dans le cadre du développement d'un réseau ferroviaire européen, le Lyon-Turin constitue le maillon manquant qui va permettre la mise en réseau de 5 000 km de lignes nouvelles et relier ainsi 250 millions d'européens.**

**Il s'agit aussi de se doter d'un levier pour favoriser les échanges économiques, consolider la compétitivité des pays de l'Europe du Sud comme la France, le Portugal, l'Espagne et l'Italie, (particulièrement la plaine du Pô).**

**Cette nouvelle liaison sera un contrepoids efficace à l'axe Rhin-Danube, notamment en direction des pays de l'Est.**

**Le Lyon Turin se situera au centre des axes de liaison entre le Nord et le Sud de l'Europe (Londres-Amsterdam-Milan) ainsi qu'entre l'Est et l'Ouest, de Lisbonne à Budapest et, à plus long terme, Kiev ("corridor n°5" prioritaire pour l'Union européenne). Il constituera un axe d'équilibre au sud de l'arc alpin.**

mais aussi tous les sous-traitants et prestataires divers. Il sera d'ailleurs au cœur de notre congrès de septembre prochain placé comme je l'ai dit sous le thème générique "le souterrain : espace d'innovations".

Hors des projets sur Paris, d'autres projets en cours ou à venir sont à citer : dans les Alpes, le "Lyon-Turin", à Lyon et à Toulouse, des prolongements de lignes de métros, en Meuse/Haute-Marne, les galeries souterraines de Cigéo, projet piloté par l'Andra<sup>(1)</sup>.

À commencer par le "Lyon-Turin" où l'on est arrivé à la phase de sélection des entreprises pour réaliser chacun des lots du tunnel transfrontalier. Une bonne dizaine de kilomètres ont certes déjà été creusés sur l'un des tubes, mais ce chantier va prendre très vite une autre dimension avec le lancement de ces travaux pour un total de 4 milliards d'euros pour réaliser le tunnel à deux tubes de 57 km de longueur. L'ouverture est prévue pour 2030.

Parallèlement à cela, des aménagements très importants vont être aussi à prévoir pour les accès au tunnel transfrontalier proprement dit, accès pour lesquels le calendrier des études va rapidement s'accélérer.

L'AFTES prévoit d'ores et déjà un événement important à Chambéry en 2022 avec bien sûr beaucoup d'informations sur ce projet. Une date importante à retenir donc.

### Et du côté de Lyon ?

À Lyon, le prolongement de la Ligne B depuis le terminal actuel "Gare d'Oullins" en direction d'"Hôpitaux Sud" à Saint-Genis-Laval, d'une longueur de 2,4 km, est en cours d'achèvement pour une mise en service prévisionnelle fin 2023. Début avril, il reste seulement 400 m à creuser.

Ce projet est remarquable par la très grande diversité des formations à traverser : granite très abrasif, argiles, galets non liés, ... Avec un enjeu crucial

de maîtrise des tassements puisque ce projet se réalise à très faible profondeur dans un secteur urbanisé. Le contexte géologique est si particulier que les équipes ne pouvaient guère s'appuyer sur les expériences d'autres chantiers. Pour ce chantier il a fallu combiner les deux principales techniques présentes sur le marché, la pression de boue et la pression de terre. Herrenknecht a mis au point une machine dite "à densité variable" qui permet de recourir à la demande à l'un ou l'autre de ces deux modes. Cette technique est assez récente mais a déjà été mise en œuvre sur d'autres chantiers comme celui de la ligne de métro SCL de Hong Kong en 2016. Elle l'est aussi sur deux des tunneliers récemment déployés dans le secteur de Vitry-sur-Seine pour le lot T2A de la Ligne 15 Sud. Le concept de tunnelier "à densité variable" s'avère particulièrement recommandé face à des natures de sols complexes et variées. Dans le cas de Lyon, la très forte hétérogénéité des terrains a permis de tirer complètement profit des possibilités d'une telle machine.

En vue d'extraire les blocs de granite rhônalpins très abrasifs, le bouclier du tunnelier a dû être renforcé. En outre, la machine permet l'injection de bentonite et possède une conduite de marinage. Dans les faciès géologiques les plus meubles, le tunnelier utilise une boue de forage colmatante, enrichie en paille de riz et en sciure de bois, ce qui est inhabituel il faut bien l'avouer.

### Dans le cas de Toulouse, le projet est, semble-t-il, moins avancé ?

En effet, les études préparatoires pour la 3<sup>e</sup> ligne de métro et la ligne "Aerospace Express" ont repris après l'attribution des marchés de maîtrise d'œuvre au début 2019. Avec ses 27 km et



© CYRIL DUPONT

11



© BOUYGUES

12



21 stations, un budget de plus de 2,5 milliards d'euros, ce projet est le plus grand programme d'infrastructure de transports urbains en France après celui du Grand Paris. Il s'inscrit dans un vaste programme de développement territorial de l'agglomération toulousaine. Cette nouvelle ligne permettra de relier les pôles d'emploi majeurs notamment du groupe Airbus, ainsi que la desserte rapide de l'aéroport de Toulouse Blagnac.

Après les travaux préparatoires et les reconnaissances en cours depuis 2020, les travaux de creusement proprement dits devraient commencer en 2022 pour la connexion avec la Ligne B ainsi que le creusement de cette 3<sup>e</sup> ligne. La mise en service est programmée pour 2028.

### Le projet Cigeo de stockage de déchets radioactifs de l'Andra a-t-il des chances d'aboutir rapidement ?

Il faut bien trouver des solutions au stockage des déchets radioactifs. De ceux qui sont déjà produits comme de ceux qui vont l'être. Les procédures administratives et les études techniques se poursuivent et des étapes décisives s'annoncent avec d'une part l'enquête publique en cours et d'autre part le début dans les mois qui viennent de l'instruction de la demande d'autorisation de création.

Cigeo sera implanté en Meuse/Haute-Marne et sera composé d'une zone souterraine (où seront stockés les déchets), située à environ 500 m de profondeur et d'installations de surface réparties sur deux zones, ainsi que de liaisons entre la surface et le souterrain. Le stockage sera construit de manière progressive au fur et à mesure des besoins puis refermé pour

assurer le confinement des déchets sur de très longues périodes de temps. Le site a été retenu pour sa couche d'argile épaisse de 145 mètres, âgée de 160 millions d'années, disposant de très bonnes propriétés de confinement, notamment sa stabilité et sa très faible perméabilité.

Le chantier de creusement est d'ampleur pour cette architecture souterraine de plus de 230 km de galeries composée de galeries de liaison et d'alvéoles de stockage.

À ce jour les travaux d'étude et de recherche ainsi que la réalisation de démonstrateurs se poursuivent au sein du laboratoire souterrain. Le creusement proprement dit de Cigeo, des puits, descendries et galeries de liaison commencera lorsque le décret d'autorisation de création sera publié et que les autorisations administratives seront

**11- L'un des tubes de la ligne rouge du métro de Doha au Qatar.**

**12- Aspect final brut d'un tunnel de métro après mis en place des voussoirs préfabriqués.**

**13- Sortie de la tête de coupe du tunnelier NFM Technologies mis en œuvre sur le prolongement de la Ligne 14 du métro parisien.**

**14- Perspective de la future gare "CNIT-La Défense" (Jean-Marie Duthilleul/AREP, architecte).**

données, ce qui nous amène au mieux vers 2026-2027.

### Et à l'international ?

Les entreprises françaises continuent d'y être très présentes avec des réalisations d'envergure. Elles sont bien sûr impliquées dans plusieurs des nombreux métros en réalisation ; après Ryad, Doha et Hong Kong, les travaux se poursuivent au Caire, à Copenhague, à Melbourne ou à Lisbonne. Comme nous l'avons déjà souligné, les créations et extensions des réseaux de métro dans les grandes métropoles sont inéluctables ; elles offrent de belles perspectives aux secteurs des fondations profondes et des travaux souterrains. Les entreprises de construction françaises ont également un programme souterrain chargé dans le domaine ferroviaire avec le développement des réseaux à grande vitesse en Angleterre (High Speed 2) et en Nouvelle Zélande, dans le domaine routier avec les connexions autoroutières autour de Sydney, les tunnels de Norfolk en Virginie, le tunnel immergé mixte route-fer de Fermen, des tunnels sur E18 en Norvège, plusieurs projets en démarrage à Hong Kong comme le Trunk Road T2, ou encore dans le domaine du transport de l'eau avec le projet Tideway en Angleterre. Cette liste n'est pas exhaustive bien sûr.

On pourrait aussi parler du savoir-faire français reconnu dans les activités de mini et micro-tunnels, ou encore dans les fondations profondes et spéciales. Ces secteurs sont souvent très liés pour la réalisation des réseaux et des stations. Il faut savoir que les ingénieries et les entreprises françaises de construction sont internationalement reconnues comme innovantes et capables de s'adapter pour traiter les situations

nouvelles et complexes. Il faut ne pas hésiter à le dire et le répéter.

### Des raisons objectives peuvent-elles expliquer cette volonté de creuser de tels ouvrages ?

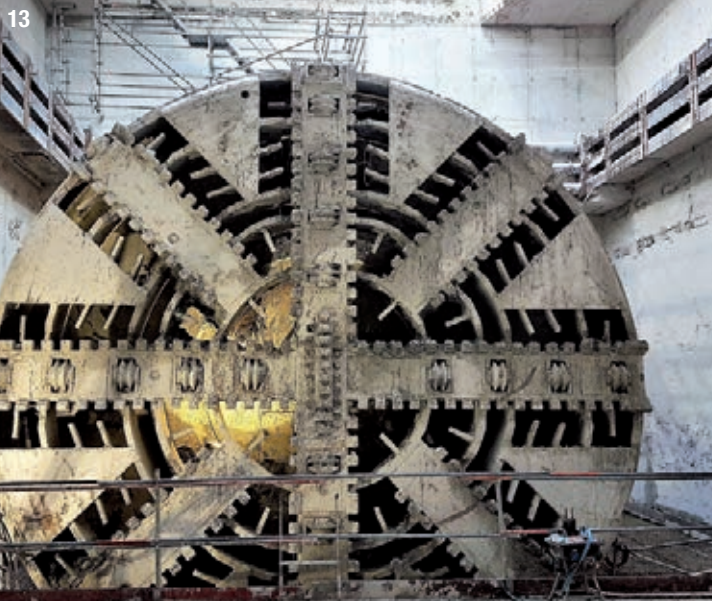
S'il y a aujourd'hui des projets nettement plus longs, c'est d'abord parce que nos réseaux de transport se veulent toujours plus rapides et performants, donc directs et sans déclivités excessives ; mais c'est aussi parce que les techniques des tunneliers, les performances atteintes aujourd'hui, permettent désormais de réaliser des ouvrages très longs dans des délais raisonnables, c'est-à-dire généralement ne dépassant pas une dizaine d'années.

La demande est double et concerne aussi bien l'amélioration des possibilités de se déplacer dans les grandes agglomérations que l'efficacité des grands réseaux de transport. Comme, par ailleurs, les techniques permettent de creuser plus vite, la conjonction de ces facteurs aboutit au fait que les travaux souterrains ont de belles perspectives devant eux, ce qui ne peut que nous réjouir.

Avant de conclure, vous pourrez remarquer que j'ai volontairement peu parlé de la crise sanitaire de 2020, essentiellement pour souligner que les acteurs de la profession du souterrain se sont adaptés très vite, ce qui a permis aux chantiers en cours de ne subir que de courtes interruptions en mars et début avril 2020. Bien sûr la mise en place des gestes barrière a conduit à repenser les organisations et à gérer une baisse de productivité, mais le secteur a su limiter les impacts et continuer à animer l'activité du BTP. □

1 - **Andra** : Agence Nationale pour la Gestion des Déchets Radioactifs.

© JOANA GASSUAN



© EOLE/AGENCE DUTHILLEUL/AREP







1  
© PARIS LA DÉFENSE

# PARIS LA DÉFENSE SUR LA DALLE ET SOUS LA DALLE, DES QUARTIERS DE VIE

REPORTAGE DE MARC MONTAGNON

LE MODÈLE URBAIN QUI FAIT LA SPÉCIFICITÉ DE LA DÉFENSE, LOIN D'ÊTRE OBSOLÈTE, INCARNE AU CONTRAIRE DES QUALITÉS DE RÉSILIENCE ET D'INNOVATION QUI TROUVERONT PLUS QUE JAMAIS À S'AFFIRMER DANS LES PROCHAINES ANNÉES. NON SEULEMENT LES PROJETS SONT NOMBREUX ET DE QUALITÉ MAIS ILS VONT PERMETTRE AU PLUS IMPORTANT QUARTIER D'AFFAIRES D'EUROPE DE TRAVERSER LA CRISE ACTUELLE ET D'ENTRER DANS L'AVENIR AVEC UNE APPROCHE TOTALEMENT CONTEMPORAINE, VOIRE PRÉFIGURATRICE, TANT EN CE QUI CONCERNE L'IMMOBILIER QUE L'ENVIRONNEMENT URBAIN ET LA GESTION DES TRANSPORTS, SOUS L'IMPULSION DE SON NOUVEAU DIRECTEUR GÉNÉRAL PIERRE-YVES GUICE.

C'est un tournant dans l'histoire du quartier d'affaires qui s'est réalisé le 1<sup>er</sup> janvier 2018, avec la fusion des compétences de l'EPADESA (Établissement Public d'Aménagement de La Défense Seine Arche) et Defacto (Établissement Public de Gestion et d'Animation de La Défense) au sein d'un même établissement public local : Paris La Défense.

Pour Pierre-Yves Guice, directeur général de Paris La Défense, « *La nouvelle gouvernance, transférée de l'État aux collectivités locales, répond à une volonté de modernisation du quartier d'affaires nécessaire pour conforter son attractivité.* » L'un des enjeux prioritaires est de le transformer en un quartier de vie. Cela passe également par la rénovation, voire le renouvellement des

**1- La Défense est le plus important quartier d'affaires en Europe.**

ouvrages et espaces publics du quartier. Paris La Défense réunit les compétences d'aménagement et de gestion lui permettant de poursuivre l'évolution du quartier et rivaliser avec ses concurrents internationaux.

L'établissement continue d'assurer la gestion quotidienne, tout en développant l'animation des espaces publics et le développement de projets urbains.

## BREF RETOUR EN ARRIÈRE

Tout commence en 1958 lorsque le général De Gaulle souhaite créer un quartier d'affaires pour Paris, à l'image



**2- Pierre-Yves Guice, directeur général de Paris La Défense.**

**3- Vue aérienne de La Défense.**

de ce qui existe à New York avec Manhattan et à Londres avec la City.

Il se met en quête de trouver le lieu idéal pour implanter ce quartier à propos duquel il a une vision assez précise : un quartier vertical de tours accueillant des entreprises françaises mais aussi internationales.

Le choix se porte sur un espace qui se développe principalement sur trois communes : Courbevoie, Nanterre, Puteaux. Un espace hétérogène comprenant de l'habitat, des petites industries, des ateliers... et un bidonville.

Pour mener à bien cette mission d'aménagement public du territoire est créé en 1958 "l'EPAD" concepteur du plan masse de départ, qui évoluera forcément au fil des 60 ans de vie du quartier.

Les premiers projets immobiliers sont tous conçus sur le même schéma : 100 m de hauteur sur une base de 24x42 m. Il reste quelques vestiges de cette première génération de tours. L'aménagement général est pensé selon les principes du "Mouvement Moderne" en architecture initié par Le Corbusier, entre les années 1960 et 1980.

L'organisation des espaces repose sur une stricte séparation des flux. Le quartier s'articule autour d'une vaste dalle regroupant l'ensemble des circulations piétonnes, tandis que les circulations automobiles, les livraisons et les parkings sont situés en périphérie ou sous la dalle.

### TOUR D'HORIZON... DES TOURS

Au fil des années, le quartier se développe et évolue. Les objets architecturaux deviennent plus performants avec des lignes diversifiées, loin du parallélépipède d'origine, des formes atypiques qui, de plus, s'adaptent aux emprises foncières encore disponibles, plus difficiles à valoriser.

Le principe à la base était de créer un quartier de bureaux mais aussi d'habitations. Ces dernières, plus basses que les tours de bureaux, subsistent, tel les immeubles "Vision 80", vrais marqueurs de l'époque avec leurs façades en béton architectonique.

Le périmètre historique, à l'intérieur du boulevard circulaire, abrite aujourd'hui 20 000 habitants (42 000 si on l'élargit

© JULIA BRECHLER



2

## PIERRE-YVES GUICE : PARCOURS

**Pierre-Yves Guice, nouveau directeur général de Paris La Défense, est Ingénieur de l'École polytechnique (2003) et ingénieur en chef de l'École Nationale des Ponts et Chaussées (2006).**

**Pierre-Yves Guice ne fait pas là ses premiers pas à La Défense. Depuis 2015, il était directeur général adjoint des services du Département des Hauts-de-Seine et avait accompagné à ce titre la décentralisation de La Défense initiée par Patrick Devedjian.**

**Précédemment, il a été chef du bureau des grandes opérations d'urbanisme de l'État au sein de l'administration centrale du ministère de l'Écologie (2007-2009), avant de rejoindre en 2010, l'établissement public d'aménagement de Bordeaux-Euratlantique en tant que secrétaire général.**

**Il sera finalement de retour en région parisienne en 2011 en tant que directeur du développement et de l'immobilier pour l'établissement public d'aménagement universitaire de la région Île-de-France avant de devenir directeur général adjoint, responsable du pôle attractivité, culture et territoire du Département des Hauts-de-Seine.**

**Nommé fin septembre 2020 par le conseil d'administration de l'établissement Paris La Défense pour succéder à Marie-Célie Guillaume partie quelques mois plus tôt, Pierre-Yves Guice est le nouveau directeur général de Paris La Défense. Il se retrouve à la tête du plus grand quartier d'affaires européen et entend poursuivre la stratégie enclenchée par celle qui l'a précédé, notamment sur le "verdissement" de la dalle.**



3

© PARIS LA DÉFENSE

au périmètre de Paris La Défense à Nanterre) et 180 000 salariés.

Un tour d'horizon des projets immobiliers récents ou en cours confirme la réalité de l'évolution permanente du quartier.

### ALTO...

Parmi ceux qui ont été livrés en 2020, la tour Alto présente une particularité architecturale liée à son emprise foncière : géométriquement, la tour accroît son périmètre à chaque niveau. En plan, elle n'est ni ronde ni rectangulaire, mais possède trois lignes droites, trois courbes principales et deux contre-courbes, soit huit changements de direction (Sandra de Lamotte architecte urbaine associée, IF Architectes). La Tour Alto haute de 150 mètres se démarque par une façade habillée d'une robe d'écailles de verre, et par sa forme évasée avec une variation de la surface des niveaux allant de 700 mètres carrés au pied de la tour jusqu'à 1 800 mètres carrés au sommet. Les formes de la tour répondent aux fortes contraintes spatiales du site, avec l'objectif d'utiliser au maximum l'espace disponible et les possibilités offertes par le PLU.

Érigé à la place de l'immeuble de bureau des Saisons, le projet, qui s'accompagne de la réalisation d'un parking, de commerces et d'une vaste place aménagée par Paris La Défense, participe à l'urbanisation du boulevard circulaire et à l'amélioration des connexions entre Courbevoie et le quartier d'affaires de La Défense.

### ... SAINT GOBAIN...

Également livrée en 2020, la tour Saint Gobain, conçue par l'agence Valode & Pistre, présente un design cristallin et aérien, évoquant ainsi le métier historique de Saint Gobain : le verre. Elle est située à la place de l'immeuble Iris, démolie en 2016 pour permettre de créer un parvis plus grand. La construction de cette tour et l'aménagement de l'espace public s'inscrivent dans la continuité du projet de transformation du boulevard circulaire en boulevard urbain. Sur le parvis, un grand escalier monumental, ainsi que deux ascenseurs permettent la liaison entre la ville de Courbevoie et la dalle de Paris La Défense. L'objectif : créer aux pieds des tours des espaces publics et des liaisons entre les dalles et la ville de Courbevoie.

### ... AURORE...

La tour Aurore est en train de connaître une vaste restructuration. Confiée à l'architecte français Jean-Paul Viguier - ▷





© IF ARCHITECTES/SFA ARCHITECTES



© AIR IMAGE



© DR

également concepteur des deux tours Cœur Défense -, la mue d'Aurore érigée dans les années 70 portera la tour de 28 à 33 étages, soit 123 mètres de hauteur (depuis la place des Reflets) faisant gagner environ 13 500 mètres carrés au building et son pavillon qui totalisera 37 000 mètres carrés de surface de bureaux (38 855 mètres carrés en tout).

La nouvelle façade conservera l'esprit bien particulier d'Aurore avec ses vitres orangées et ses acrotères en relief. Le nouveau parement adoptera ainsi une voile de verre plus largement vitré avec des allèges en aluminium horizontal aux gris clair. Au pied de la tour le bâtiment

d'un étage de l'ancienne agence BNP sera lui entièrement détruit et laissera sa place à un pavillon de huit niveaux. Conçu comme une "lanterne" il intégrera une offre de *coworking*, un *business center* avec un auditorium et des espaces commerciaux et de restauration à son socle. Sa façade sera habillée de brise-soleil vertical de 60 centimètres de profondeur. La tour Aurore et le pavillon seront reliés l'un à l'autre par une sorte de rue intérieur qui fera office de hall d'accueil commun. Les toits des deux bâtiments seront, eux, partiellement accessibles à leurs usagers.

La première phase de chantier, qui correspondait au curage, désamiantage et

dépose des façades de la tour, a été livrée en octobre 2019. La seconde phase de chantier a démarré depuis le début du mois de novembre 2019.

#### ... HEKLA...

L'un des projets en cours le plus important est la tour Hekla, conçue par l'architecte Jean Nouvel et réalisée par Vinci Construction France qui enrichira le patrimoine architectural du quartier tout en rééquilibrant la *skyline* de Paris La Défense à l'horizon 2022.

Tant par sa forme exceptionnelle que par sa volonté de proposer une nouvelle expérience de mode de vie et au travail, Hekla représentera en France et

à l'international une séquence particulièrement inspirée et créative du secteur de l'immobilier d'entreprise. Avec ses 220 mètres, la Tour Hekla offrira 76 000 m<sup>2</sup> de surfaces de bureaux et de services sur 48 étages pouvant accueillir jusqu'à 5 800 collaborateurs. Située à 300 mètres de "Cœur Transport" à Paris La Défense, la Tour Hekla s'inscrit dans le réaménagement du nouveau quartier de la Rose de Cherbourg. L'aménageur du site prévoit une reconstruction de haute qualité avec la requalification d'un ancien anneau routier en une promenade plantée et végétalisée à l'image de la "High Line" new-yorkaise.

**4- La tour Alto (Sandra de Lamotte architecte urbaniste associée IF Architectes).**

**5- La tour Saint Gobain, livrée en 2020 (agence Valode & Pistre, architecte).**

**6- La tour Aurore, restructurée par Jean-Paul Viguier, architecte.**

**7- La résidence Vision 80, vrai marqueur de la première génération de constructions de La Défense (architectes Jean-Pierre Jouve, Andreï Frieschlander et Charles Mamfredos).**



© MARC MONTAGNON





8 © PCA STREAM



9 © L'AUTRE IMAGE



10 © ATELIER JEAN NOUVEL/HEKLA

### ... THE LINK...

En 2025, émergera "The Link", futur siège social de Total qui sera, du haut de ses 241 mètres, le plus haut gratte-ciel de La Défense. Situé dans le quartier Michelet, le projet The Link comprend deux tours reliées sur 30 niveaux par des passerelles végétalisées. L'aile Arche s'élèvera à 228 mètres au-dessus du parvis, avec 50 étages, et l'aile Seine, à 165 mètres avec 35 étages. L'ensemble reposera sur un socle commun de trois niveaux entre le boulevard urbain et le parvis. Les passerelles permettront de créer des plateaux de 3000 mètres carrés, une surface inédite à La Défense, et 6000 mètres

carrés en duplex car tous les étages sont reliés deux à deux par des grands escaliers ouverts. Les salariés bénéficieront d'espaces de bureaux, de restauration, de *coworking* et de détente, des espaces conçus pour permettre une meilleure qualité de bien-être au travail et d'efficacité collective. Le projet, qui représente 130000 mètres carrés d'espaces, a été conçu par l'architecte Philippe Chiambaretta de l'agence d'architecture PCA-Stream et sera construit par Vinci. The Link sera doté de la plus haute certification environnementale (HQE Exceptionnel), garantissant les meilleurs standards tant en termes d'efficacité énergétique et de confort

thermique et acoustique. 100% des postes de travail seront en premier jour et 25% des besoins énergétiques nécessaires à l'éclairage de la tour seront assurés par sa façade photovoltaïque.

### ... SISTERS...

Un projet dont les études sont en cours de finalisation est celui des tours Sisters. Imaginé par l'architecte Christian de Portzamparc, Sisters sera composé de deux tours représentant une surface d'environ 75000 mètres carrés. La plus haute, celle de 230 mètres, hébergera des bureaux tandis que la seconde, de 130 mètres, deviendra un hôtel de la chaîne Radisson.

Le projet des tours Sisters s'inscrit dans le cadre de la valorisation du secteur Carpeaux-CNIT. Construit sur des délaissés ferroviaire et routiers situés au niveau de la route de la demi-Lune, l'ensemble immobilier est composé de deux tours d'une hauteur de 200 m et de 100 m, reliées par un *deck* offrant des services de détente pour l'hôtel. L'une des deux tours accueillera 75000 m<sup>2</sup> de bureaux, et l'autre 310 chambres de l'hôtel Radisson Collection. L'architecture forte des tours et la situation très proche de la Grande Arche renouveleront l'image de la Défense à une échelle bien plus large que le secteur Carpeaux. ▷



11 © L'AUTRE IMAGE

**8- "The Link", futur siège social de Total, comprend deux tours reliées par des passerelles végétalisées (Philippe Chiambaretta, architecte).**

**9- Les tours Sisters (Christian de Portzamparc, architecte).**

**10- La tour Hekla offrira une nouvelle expérience de mode de vie au travail (Jean Nouvel, architecte).**

**11- Pour la tour Hekla, l'aménageur prévoit la transformation d'un anneau routier en une promenade plantée et végétalisée (projet la Rose de Cherbourg).**



Situé entre le CNIT et la Grande Arche de La Défense, le projet va permettre à Paris La Défense de réaménager la Place Carpeaux pour, notamment, faciliter l'accès aux transports en commun, dont la future ligne du RER E Eole. Le projet reliera également le CNIT et le Faubourg de l'Arche avec de nouveaux espaces publics, des commerces, et facilitera de nouveaux liens entre La Défense et Courbevoie.

Les tours Sisters viennent offrir une combinaison unique d'équipements s'adressant à tous les publics : résidents de l'hôtel, employés des bureaux, mais aussi visiteurs extérieurs.

### LANDSCAPE

Situé Place des Degrés à Puteaux, l'ensemble immobilier Landscape s'intègre au projet de la Rose de Cherbourg qui prévoit la requalification d'un anneau routier en une promenade suspendue ainsi que de nouvelles liaisons entre la ville de Puteaux et La Défense.

Initialement constitué de deux tours de bureaux, la restructuration a donné naissance à un ensemble unique dénommé "Landscape" qui a pour objectif : la surélévation du bâtiment, la construction de l'espace qui existait entre les deux tours initiales, la création d'une nouvelle façade innovante, la création d'un commerce, la refonte du hall et l'amélioration de la performance énergétique du bâtiment.

Depuis l'intérieur, Landscape ouvre les perspectives pour proposer à tous ses occupants une expérience de vie et de travail tournée vers l'extérieur. Tous, sans distinction, bénéficieront à leur poste d'une lumière naturelle. Landscape intégrera une palette de services complets et innovants (*business center* nouvelle génération, espaces de restauration variés, salle de sport, conciergerie full service, espace bien-être, bibliothèque communautaire, potager), et sera adapté aux derniers standards d'exigences environnementales.

### AU-DELÀ DE LA GRANDE ARCHE

Une soixantaine de projets sont en cours ou vont l'être à La Défense, de logements, de bureaux, de requalification, d'aménagements urbains. Outre ceux précédemment évoqués, il faut également ajouter le futur siège de Vinci, "l'Archipel". Il s'inscrit dans la nouvelle gare d'Eole à Nanterre et dans le renouveau du quartier des Groues et illustre les profondes transformations urbaines en cours à l'ouest de la Grande Arche. Le projet a été conçu par Jean-Paul



## POURQUOI LA DÉFENSE ?

**Le quartier d'affaires de l'Ouest parisien a tiré son nom de la statue de Louis-Ernest Barrias érigée en 1883 qui rend hommage aux milliers de victimes militaires et civiles tombées lors du siège de Paris pendant la guerre franco-allemande ou franco-prussienne de 1870.**

**L'œuvre en bronze "La Défense de Paris" représente la capitale sous les traits d'une femme en uniforme de la Garde nationale. À ses pieds se trouvent une fillette prostrée, personnification des souffrances de la population civile lors du siège, et un jeune garde blessé armant son fusil d'infanterie, incarnation de la résistance du peuple de Paris.**

**Cette statue était à l'origine située au centre d'un vaste rond-point dans la perspective de l'Arc de Triomphe, disparu lors des différentes phases d'urbanisation du quartier. Déménagée à plusieurs reprises, elle est depuis janvier 2017 sur l'esplanade, à mi-chemin entre la Grande Arche et la Seine.**



Viguié, en association avec Marc Mimram Architecture & Associés, pour s'intégrer durablement dans son environnement urbain et concourir à la création d'un nouveau quartier.

L'ensemble de 75 500 m<sup>2</sup> est réparti en cinq bâtiments de hauteurs variables, dont une "émergence" de 100 mètres de haut, le tout formant une série d'îles interconnectées. Tissant le réseau des communications transversales, une rue

**12- La statue "La Défense de Paris" de Louis-Ernest Barrias sur son rond-point d'origine. La Défense... avant La Défense.**

**13- La statue historique est désormais implantée sur la dalle.**

aérienne intérieure reliera les bâtiments et distribuera également terrasses et jardins.

Au niveau du sol, un ensemble de parois vitrées donnant sur les rues perpendiculaires au boulevard de la Défense ouvre l'archipel sur la ville et permet d'accéder aux fonctions partagées. Ces structures fines en béton armé coulé en place ont dû être fondées sur des pieux ancrés profondément dans le sous-sol. L'imbrication entre l'archipel et la future gare Eole est l'une des principales valeurs ajoutées du projet, induisant également sa principale complexité. Cette configuration inédite a déterminé un phasage de travaux "à l'envers" : au lieu de construire successivement les infrastructures puis les superstructures des bâtiments, les équipes ont dû réaliser le génie civil du surplomb côté voies en même temps que les terrassements. Le surplomb des deux bâtiments côté ouest qui reprend une charge très importante, ne repose en effet que sur 13 poteaux bipodes en "V" inversés. À terme, près de 4 000 collaborateurs de Vinci emménageront au deuxième semestre 2021, rassemblant ainsi les fonctions centrales de tous les pôles de métiers du Groupe.

Territoire longtemps enclavé, les Groues constituent un secteur atypique de 65 hectares (actuellement 300 habitants et quelques activités et petites industries), au potentiel de développement exceptionnel. La mutation engagée par Paris La Défense et la Ville de Nanterre vise à composer un territoire mixte à deux pas du quartier d'affaires, dans lequel cohabiteront 10 500 habitants et 12 000 salariés (logements, commerces, équipements publics, transports, espaces tertiaires et culturels). Le patrimoine du lieu sera conservé sans faire table rase du passé.

### TRANSPORTS : SUR TOUS LES FRONTS

Dans le domaine des transports en commun, deux nouvelles gares entreront en service à l'horizon 2023 dans le cadre du prolongement d'Eole vers l'ouest : "CNIT - La Défense" sous le dôme du CNIT et "Nanterre" quasiment en face de l'Archipel. Deux gares de la Ligne 15 du métro du Grand Paris Express, seront créées, l'une à Nanterre dans le quartier des Groues et l'autre dans le quartier de la Rose de Cherbourg à Puteaux.

### SANS OUBLIER LE VÉLO

Il ne s'agit pas d'une nouveauté dans l'air du temps car, depuis 2015, les



vélos sont autorisés sur le territoire de La Défense. Au fur et à mesure du temps, vélos et piétons ont trouvé un terrain d'entente et partagent l'espace public. Désormais les trottinettes électriques s'ajoutent à l'équation.

« Ce n'est un secret pour personne : La Défense n'a pas été pensée pour la pratique du vélo. Nous devons donc adapter le territoire à ces mobilités douces de plus en plus utilisées, » précise Pierre-Yves Guice, Directeur Général de Paris La Défense. En effet, elle est la plus grande aire piétonne d'Europe et, qui dit aire piétonne, dit priorité aux piétons. Certaines règles doivent donc être observées pour garantir une cohabitation à tous les différents modes de déplacements sur l'aire piétonne (vélos, trottinettes). C'est le sens de la campagne de communication "Love Story sur le Parvis" lancée par Paris La Défense. Cela ne va pas s'arrêter en si bon chemin. Paris La Défense développe un plan de maillage des liaisons douces afin de lancer un programme d'aménagement des discontinuités



14  
© KREACTION

cyclables. Pour le moment, le quartier propose une offre de stationnement sécurisée et publique composée de 700 arceaux vélos donc 1 400 places et 470 places sécurisées ainsi qu'un local de réparation à vélos géré par Cyclofix. De plus, une expérimentation est actuellement en cours autorisant la circulation des vélos sous dalle, ce qui représente un véritable défi tant technique que réglementaire.

### UNE OFFRE GLOBALEMENT PLUS DIVERSIFIÉE

L'un des enjeux est de transformer l'offre du quartier en le diversifiant et en gommant son caractère monofonctionnel pour y développer de nouvelles activités portant sur le loisir, sur la culture, sur le commerce.

L'inauguration en 2017 de "Paris La Défense Arena" a constitué la première réalisation de ce type. Elle est à ce jour

la plus grande salle de spectacle en Europe (2,5 fois l'Accor Arena de Bercy) avec une capacité maximale de 40 000 personnes en configuration spectacle, tout en étant le club de résidence de l'équipe de rugby Racing 92.

Une nouvelle dynamique a également été créée en matière d'offre de restauration.

L'objectif était de faire vivre des volumes jusque-là inutilisés. "Oxygen", à l'entrée de la dalle côté Neuilly constitue le premier d'entre eux. Il s'agit d'un projet urbain consistant en la réhabilitation de volumes et en la création d'un nouveau lieu de vie sur le site du Belvédère (porte d'entrée du quartier). Portée par un groupement d'investisseurs-exploitants et signée par l'architecte Stéphane Malka, cette nouvelle adresse hybride a pour ambition de restructurer et dynamiser la porte d'entrée est du quartier, donnant sur Neuilly-sur-Seine et Paris et d'incarner le renouveau du quartier d'affaires en matière de restauration, d'animation et de lieux inspirants.



15  
© MARC MONTAGNON



16  
© MARC MONTAGNON



17  
© MARC MONTAGNON



18  
© MARC MONTAGNON



19  
© PARIS LA DÉFENSE



20  
© SABRINA BUDO

**14- L'ensemble "Landscape" offrira une expérience de vie et de travail tournée vers l'extérieur.**

**15- Le chantier de "L'archipel", futur siège du groupe Vinci (Viguier/Mimram, architectes).**

**16- Le projet de "l'Archipel" ne fait qu'un avec la nouvelle gare de "Nanterre-La-Folie".**

**17- La gare de "Nanterre - La Folie" du prolongement du RER E vers l'ouest (Eole).**

**18- "Paris La Défense Arena", plus grande salle de spectacle de ce type en Europe.**

**19- "Oxygen", nouveau lieu de vie sur le site du belvédère.**

**20- "Table Square", nouveau lieu dédié à la restauration et à la gastronomie.**



Il s'agit d'un concept qui mêle à la fois offres de restauration rapide qualitative (bio, circuit-court, saisonnalité), un restaurant haut de gamme, des offres événementielles et afterwork (midi et soir, tous les jours de la semaine) et un lieu plus hybride à destination d'un public d'actifs, combinant services business, bien-être et loisirs au travers de 7 enseignes.

Le deuxième projet est "Table Square", consistant en la création d'un lieu dédié à la gastronomie et à la restauration, comprenant un restaurant bistrannique, une trattoria italienne, ainsi qu'une offre de déjeuners à emporter de qualité ainsi qu'un espace lounge. Table Square est une livraison du grand projet de valorisation des espaces sous-dalle du quartier d'affaires sur plus de 4500 m<sup>2</sup> de surface sous la dalle et 800 m<sup>2</sup> de terrasses.

La troisième étape du projet de valorisation est issue d'un concours destiné à transformer les volumes sous dalle centraux qui représentent une capacité de 20000 m<sup>2</sup>. Selon Pierre-Yves Guice « La première phase porte sur la valorisation de 8500 m<sup>2</sup> de volumes, dont "la cathédrale". C'est à l'agence belge Baukunst, que nous avons confié le soin d'imaginer la transformation de 20000 m<sup>2</sup> d'espaces sous dalle en lieux de vie. »

Le principe est de créer une ouverture sur l'extérieur avec un système d'escalators et d'escaliers offrant un accès à la partie en souterrain et, notamment, à une rue commerciale sous la dalle. Le scénario imaginé est porté par une vision globale. À terme, une promenade souterraine reliera la Place Basse au hub de mobilité Cœur Transport, jalonnée d'une



21 © ALINE BODROS

## UNE GARE "CATHÉDRALE" SOUS LE CNIT

**La future gare Eole est implantée sous le CNIT, à plus de 20 m de profondeur\*. Pour ce projet, le défi consistait à réaliser une gare souterraine de 18000 m<sup>2</sup>, et à créer des interconnexions rapides et fluides dans la gare multimodale la plus fréquentée de France (connexion aux autres lignes de transport) ainsi qu'un accès direct sur le parvis de La Défense. Le chantier impliquait le réaménagement du CNIT, dont la création de 7000 m<sup>2</sup> de commerces.**

**Un des enjeux reposait sur la capacité des équipes de Vinci Construction Grands Projets (mandataire du groupement d'entreprises) à déployer des solutions permettant de limiter au maximum les nuisances sonores et la propagation du bruit aux étages supérieurs. C'est pourquoi un "sarcophage acoustique" (sol, parois et plafond) enveloppe le chantier sous le CNIT. Le chantier s'est réalisé à travers plusieurs opérations : la reprise de fondations du CNIT, qui sera comme mis en lévitation avec la reprise en sous-œuvre de ses 124 pieux, la construction du corps principal de la gare, la création des espaces de correspondances avec les transports en commun et le CNIT, la création des différentes sorties du RER E, tout en assurant la mise en accessibilité de la gare aux personnes à mobilité réduite.**

**Depuis la fin 2015, les premiers travaux de la gare ont débuté par la déviation de réseaux dans le CNIT. Par la suite, une ouverture a été réalisée sur plusieurs niveaux sous le CNIT, afin d'assurer la logistique du chantier. Elle sera, dans un second temps, destinée à l'installation d'escalators/escaliers/ascenseurs pour relier la gare au CNIT. Les travaux prévoient ensuite que les fondations du parking sous le CNIT soient reprises, et une dalle sous laquelle la gare sera creusée a été créée.**

**La dernière étape du chantier intègre la création des structures de la gare suivie de son creusement, avec des travaux de jour et de nuit en 2018. Les travaux d'aménagement ont été réalisés dès 2019.**

**La nouvelle gare de la Ligne E "CNIT-La Défense" sera mise en service en 2023, permettant de rejoindre l'Est parisien et la future gare de Nanterre-la-Folie à l'ouest. Peu après, la mise en service sera complète jusqu'à Mantes-la-Jolie.**

\* Un article exhaustif sur le chantier de CNIT-La Défense a été publié dans le n°966 "Travaux souterrains" de juillet/août 2020 de Travaux.

multitude d'espaces aux usages variés. Une percée spectaculaire pour faire pénétrer la lumière naturelle en sous-sol, un anneau pour plonger vers une promenade végétale souterraine ou encore une vue inédite sur le mythique "Monstre de Moretti" ... Le "Monstre" réside depuis 1973 dans les antres de La Défense, et son développement se poursuivra jusqu'à la mort de son maître le 3 juin 2005. Invisible du grand public, Paris La Défense, dans le cadre du projet de valorisation des œuvres d'art, réfléchit à une alternative pour le faire découvrir à tous.

Ce n'est qu'un aperçu des aménagements qui feront le lien entre le "dessus" et le "dessous". Pourtant, le projet n'a rien de démesuré. L'un de ses points forts : l'exploitation et la valorisation des infrastructures actuelles en intervenant de manière forte mais au plus proche de l'existant. Dans un premier temps, des installations de loisirs ou culturelles permettront d'initier son potentiel. Un projet pilote qui pourrait déboucher sur l'implantation d'équipements sportifs, de commerces et de services.

21- La gare "Cathédrale" sous le CNIT.

22- L'intérieur de la "Cathédrale" conçue par l'agence Baukunst.

23- La "Traverse" dans la "Cathédrale" de Baukunst.

24- Vue depuis la promenade vers l'atrium et la "Cathédrale".



22 © BAUKUNST



23 © BAUKUNST



24 © BAUKUNST





© PARIS LA DÉFENSE  
25

L'anneau fait partie des réalisations qui feront le lien entre la dalle et les nouveaux espaces souterrains. Surplombant la fontaine Agam, cette passerelle circulaire pourrait devenir un nouvel emblème du quartier d'affaires, tant du point de vue symbolique que pratique, puisqu'elle permettra d'accéder à la future promenade en sous-sol. Les travaux vont débuter au deuxième semestre 2021.

**UN PARC URBAIN SUR LA DALLE**  
Enfin, pour en terminer avec l'ensemble des projets en cours, Paris La Défense a désigné en février 2021 le groupement de maîtrise d'œuvre qui sera chargé de métamorphoser durablement

**25- Le parc urbain dans son aménagement futur par l'architecte paysagiste Michel Desvigne.**  
**26 & 27- La place de la Défense aujourd'hui et demain.**

l'Esplanade en un vaste parc urbain de 7 hectares, entre les bassins Agam et Takis. Il s'agit d'une équipe menée par l'architecte paysagiste Michel Desvigne. La mission du groupement : imaginer un aménagement cohérent et pérenne des espaces publics de l'Esplanade,

en préservant le projet d'origine de Dan Kiley et en s'inspirant des dispositifs expérimentaux et des retours d'expériences collectés auprès des habitants et salariés.

« *L'objectif est de transformer en profondeur une grande partie de l'axe historique, sur près de 600 mètres de long. Ce projet d'ampleur porte en lui une très forte dimension écologique et vise également à proposer un espace paysager agréable à l'ensemble du public.* » indique Pierre-Yves Guice. Depuis 2017, des dispositifs de pré-programmation, à l'image de "Nouveaux paysages" récemment mis en place<sup>(1)</sup>, ont été installés sur l'Esplanade, à même la dalle, dans une

optique éphémère et expérimentale. Le groupement animé par Michel Desvigne Paysagiste va, quant à lui, accompagner Paris La Défense dans une réflexion poussée pour transformer durablement l'Esplanade, en surface et en sous-face (réseaux, assainissement...). Au terme des études effectuées en 2020, l'équipe sera en mesure d'établir les futurs grands principes d'aménagement, en vue d'un démarrage des travaux dès la fin de l'année 2021. □

1- Baptisé "Nouveaux paysages", l'établissement public a créé sur un ancien terrain en terre battue un îlot forestier de 960 mètres carrés où seront plantés fleurs et fougères, le tout tapissé d'un sol écologique en copeaux de bois.



© PLD-IMICA  
26a



© PLD-IMICA  
26b



© PLD-IMICA  
27a



© PLD-IMICA  
27b





1  
© INGEROP

# TELT - LA TRANCHÉE COUVERTE DE SAINT-JULIEN-MONTDENIS

AUTEUR : SÉBASTIEN ARNAUD, CHEF DE PROJET, INGEROP

LA TRANCHÉE COUVERTE DE SAINT-JULIEN-MONTDENIS CONSTITUE L'ÉLÉMENT CENTRAL DU PORTAIL OUEST DU TUNNEL EURALPIN LYON TURIN (TELT). LES TRAVAUX COMPRENNENT DES SOUTÈNEMENTS DE GRANDE HAUTEUR (20 m ENVIRON) PROVISOIRES ET DÉFINITIFS, UN OUVRAGE CADRE DE 90 m DE LONGUEUR ET 20 m DE LARGEUR ENVIRON PERMETTANT LE PASSAGE DE DEUX VOIES FERRÉES À GRANDE VITESSE, AINSI QUE LA RÉALISATION DE TERRASSEMENTS ET CHAUSSÉES POUR LE DÉPLACEMENT ET LE RÉTABLISSEMENT DE L'AUTOROUTE A43 ET DE LA DÉPARTEMENTALE 1006.

## PRÉSENTATION DU PROJET

Le tympan Ouest du tunnel de base Lyon Turin est situé sur la commune de Saint-Julien-Montdenis, à Villard-Clément. Les travaux du tunnel vont notamment générer des quantités importantes de matériaux d'excavation

qu'il est prévu d'évacuer vers le bassin de Saint-Jean-de-Maurienne. Afin de faciliter la mise en place de cette logistique, il a été décidé d'anticiper les travaux de la tranchée couverte de Saint-Julien-Montdenis dans un marché de travaux préparatoires (figure 1). Située en face de la gare de Saint-

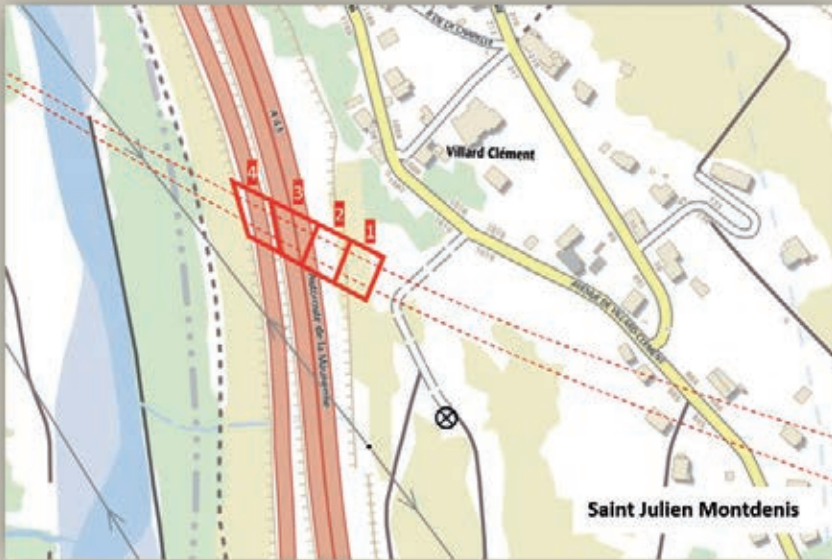
**1- Plot 3 de la tranchée couverte, en cours de réalisation.**

**1- Section 3 of the cut-and-cover, during execution.**

Jean-de-Maurienne en rive droite de l'Arc (figure 2), la tranchée couverte doit ainsi permettre le passage de la bande transporteuse pour l'évacuation des matériaux d'excavation pendant les travaux du tunnel et, à terme, le passage des voies ferrées paire et impaire du tunnel sous l'autoroute



## LOCALISATION DE LA TRANCHÉE COUVERTE À SAINT-JULIEN-MONTDENIS



**2- Localisation de la tranchée couverte à Saint-Julien-Montdenis.**

**3a- RD 1006 déviée.**

**3b- A43 déplacée.**

**3c- A43 rétablie (sens 2).**

**2- Location of the cut-and-cover at Saint-Julien-Montdenis.**

**3a- County road RD 1006 diverted.**

**3b- A43 diverted.**

**3c- A43 restored (direction 2).**

La tranchée couverte passe au-dessous de deux chaussées contiguës en exploitation : l'A43 et la RD 1006, portant des trafics significatifs et gérées par deux exploitants différents, la Société Française du Tunnel Routier du Fréjus et le Conseil Départemental 73. Du fait de contraintes d'exploitation importantes, les chaussées déviées conservent le même nombre de voies que les chaussées existantes (1+1 voies pour la RD 1006, 2+2 voies pour l'A43). Le projet est aussi en interface avec le projet d'enfouissement des lignes aériennes RTE 150/63/42 kV traversant le site de Villard-Clément ; ainsi que le projet de ligne haute tension souterraine Savoie-Piémont (320 kV). ▷

A43 et la route départementale 1006. Ces travaux préparatoires ont donc pour objet la réalisation de la tranchée couverte sous l'A43 et la RD 1006 ainsi que la préparation des plateformes de chantier pour les travaux du tunnel. Démarrés début 2019, ces travaux sont prévus se terminer au second semestre 2021. Ils seront poursuivis

par les travaux du tunnel, notamment le creusement et le génie civil du tunnel, la prolongation de la tranchée couverte jusqu'au tympan du tunnel, et la remise en état finale du site de Villard-Clément.

Cette succession de marchés de travaux sur un même site génère des contraintes particulières :

- La géométrie de la plateforme, des installations et des accès a été définie pour l'ensemble des travaux ;
- Les dispositions de sûreté et de contrôle d'accès ainsi que l'énergie, les réseaux et l'assainissement, les ouvrages de soutènement provisoires, seront transférés d'un chantier à l'autre.



3a

© INGEROP



3b

© INGEROP



3c

© INGEROP



**4- Paroi berlinoise, dernière passe.**

**5- Paroi clouée provisoire et terrassement du plot 3.**

**4- Berlin-type retaining wall, last pass.**

**5- Temporary soil-nailed wall and earthworks on section 3.**

Les emprises travaux s'inscrivent enfin dans un périmètre restreint délimité par les exigences de conservation des espèces protégées (dossier CNPN : présence de Tulipes Précoces, de Tulipes de Maurienne, de Tulipes de Montandré, d'Ail Rocambole) et par les exigences liées à la Loi sur l'Eau et à la rivière l'Arc.

### PHASAGE GÉNÉRAL DES TRAVAUX

Le principal enjeu des travaux est de réussir à réaliser la tranchée couverte en maintenant la continuité du trafic sur l'A43 et la RD 1006, s'agissant d'axes stratégiques pour la vallée de la Maurienne, conduisant aussi au tunnel du Fréjus entre la France et l'Italie. Au niveau du site des travaux, l'autoroute A43 et la RD 1006 sont sur une plateforme commune, entre la rivière Arc en contrebas et la falaise portant le village de Villard-Clément. Les emprises disponibles côté Arc sont tout juste suffisantes au dévoiement à minima des tracés de l'A43 et de la RD 1006, sans empiéter sur le lit majeur de l'Arc sujet à des crues torrentielles de forte intensité. Les contraintes géométriques et d'emprises couplées aux contraintes d'exploitation des chaussées, ont conduit à écarter les solutions de type basculement de longue durée et ouvrage poussé ; passage en taupe, etc.

Le phasage général des travaux défini a donc été le suivant :

- 1-** Déviation de la RD 1006 côté Arc (figure 3a) ;
- 2-** Déplacement de l'autoroute A43 côté Arc le long de la RD 1006 déviée (figure 3b) ;
- 3-** Réalisation des plots 3, 2 et 1 (figure 2) de la tranchée couverte ;
- 4-** Rétablissement de l'A43 sur la tranchée couverte (figure 3c) ;
- 5-** Réalisation du plot 4 de la tranchée couverte (figure 2) ;
- 6-** Rétablissement de la RD 1006 sur le plot 4.



4 © INGEROP

La majorité des ouvrages et travaux élémentaires constituant cette opération est ainsi située sur le chemin critique du planning de réalisation, sans réelle possibilité de découpage en sous-chantier ou de réalisation en

temps masqué. Cet aspect conduit à une forte sensibilité des travaux aux interfaces extérieures et accroît considérablement la complexité ainsi que l'enjeu lié à l'enchaînement des tâches.

### LES SOUTÈNEMENTS

La réalisation de la fouille de la tranchée couverte sur la plateforme chantier nécessite d'excaver environ 250 000 m<sup>3</sup> de déblais. La rampe d'accès, d'une pente maximale de 12 % environ, est constituée d'une chaussée de 7 m de largeur ainsi que par des talus successifs en 3H:2V de 7 à 10 m de hauteur comportant des risbermes de 4 m, et dont les entrées en terre sont calées par rapport aux pylônes électriques et chaussées existantes à proximité.

#### PAROI BERLINOISE

Cette fouille est arrêtée le long du village de Villard-Clément par la réalisation d'un soutènement vertical de type paroi berlinoise tirantée et clouée (figure 4) d'une hauteur de 18 m environ. Cet ouvrage est constitué de micropieux Ø 355 mm espacés de 1 m et de tirants Gewi 43+ de 26 m de longueur complétés par des clous Gewi 40 de longueur 16 à 26 m.

Le blindage est réalisé par un béton projeté de 25 cm d'épaisseur armé de treillis soudé et par une poutre de couronnement en tête. Cette paroi a été effectuée en 12 passes ; la réalisation des micropieux et des tirants étant sur le chemin critique de l'opération, 3 ateliers ont été mis en place simultanément afin d'atteindre les cadences permettant le respect des délais.



5 © INGEROP



L'implantation de l'ouvrage a été définie pour permettre le raccord avec les soutènements provisoires sous l'A43 et par rapport à l'implantation des futurs ouvrages du tunnel de base. Ce soutènement fait l'objet d'un suivi des déplacements par 3 inclinomètres placés dans les micropieux de la paroi et 3 inclinomètres placés dans des forages à l'arrière au niveau des habitations, ainsi que par un ensemble de prismes. Un levé régulier des données issues des inclinomètres, corrélées avec les observations topographiques, permet d'observer des déplacements de l'ordre de 1 cm en tête et 2 cm en ventre vers la fouille, conformes à ceux attendus.

### PAROIS CLOUÉES PROVISOIRES ET DÉFINITIVES

Les terrassements de la fouille au droit de l'autoroute A43 et de la RD 1006 conduisent à réaliser un soutènement périphérique provisoire de type paroi clouée (figure 5) d'une hauteur d'environ 11 m en 1H:6V, permettant le maintien de la chaussée déplacée en circulation et le dégagement à l'intérieur de l'enceinte créée de l'espace suffisant à la réalisation du génie civil

de la tranchée couverte. Ces parois sont clouées avec des ancrages auto-forants Dywidag R38-420 de 7 à 15 m de longueur, tous les 3 m<sup>2</sup> environ. Le blindage est réalisé par béton projeté armé d'un treillis soudé, de 25 cm d'épaisseur.

Une partie de ces parois provisoires étant appelée à être démolie en fonction de l'avancement du phasage, le marché prévoyait la mise en place de clous en fibre de verre, plus faciles à démolir ensuite. Cette solution n'a néanmoins pas été retenue finalement, la réalisation des clous en fibre de verre étant jugée plus longue que la durée nécessaire à la réalisation et au découpage ensuite des clous autoforants en acier.

L'implantation de ces parois étant au plus près des chaussées déplacées en circulation, un suivi continu par théo-

dolite automatique a été mis en place, visant 12 prismes au niveau de la chaussée et 8 sur la surface de la paroi, avec alerte en cas de dépassement. Les seuils de déplacement ont été définis par corrélation avec la note APL (Analyse Profil en Long) exigée dans les pièces du marché pour les chaussées déplacées, en faisant l'hypothèse d'un défaut de longueur d'onde correspondant à la géométrie des ouvrages. Les déplacements observés ont toujours été inférieurs aux seuils ainsi définis.

### LES OUVRAGES DE GÉNIE CIVIL

L'ouvrage principal de la tranchée couverte est un ouvrage cadre de 90 m de longueur environ, découpé en 4 plots en cohérence avec la géométrie des chaussées déplacées suivant les phases et pour limiter la longueur libre de retrait. Ce découpage conduit à un biais prononcé sur les plots 3 et 4 (figures 1 et 2) de 55 gr. La section fonctionnelle (figure 6) permet de dégager une largeur de 17,8 m et une hauteur de 9,1 m nécessaires à la mise en place de deux voies ferrées grande vitesse et des équipements du tunnel (ventilation, drainage, matières dange-

reuses, incendie, énergie, communication). Les voies ferrées convergeant vers la sortie, il n'est pas possible de mettre un pilier intermédiaire séparant la portée en deux.

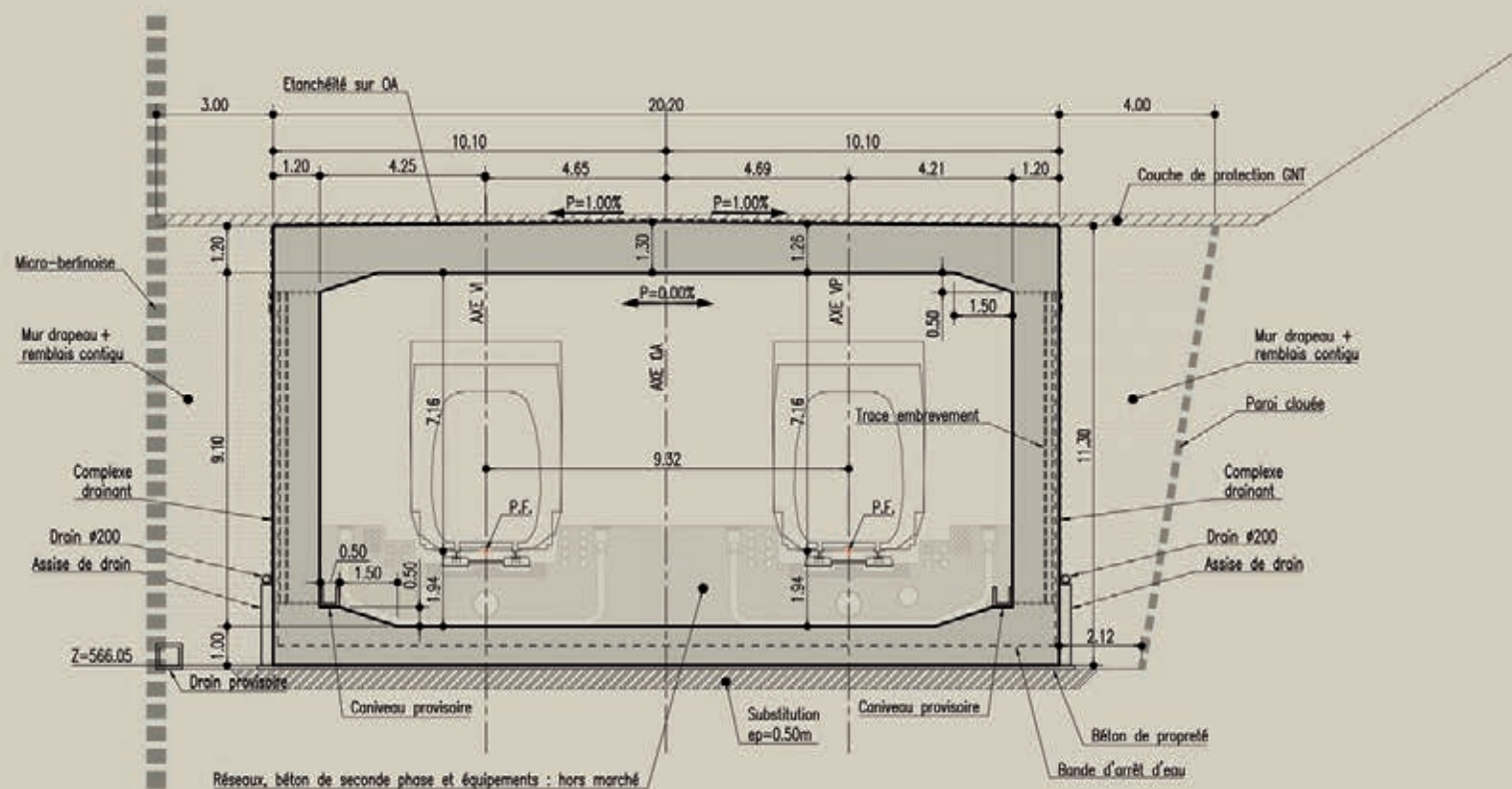
L'épaisseur de la traverse est conditionnée par le profil en long des chaussées rétablies sur l'ouvrage et par le profil en long des voies ferrées et du gabarit fonctionnel (figure 7).

La structure a donc été définie avec une épaisseur d'environ 1,2 m en béton armé C30/37 XC4, XF3, XA1. Cette géométrie, couplée au biais et aux efforts de chaussées et charges permanentes de remblai, a conduit à la mise en place d'un ferrailage important atteignant par exemple 2 lits d'HA 40 espacés de 20 cm dans les angles supérieurs obtus du plot 3 (figure 1). Le béton de la tranchée couverte a été formulé pour résister à un incendie dans le tunnel, sans protection au feu rapportée. La courbe de montée en température retenue correspond à l'enveloppe des courbes RWS 2h (équivalente HCM, avec une montée rapide en température générant l'écaillage) et ISO 834 4h (longue durée, générant les efforts thermiques prépondérants pour une section massive de ce type). ▷

6- Coupe type de la tranchée couverte.

6- Typical cross section of the cut-and-cover.

## COUPE TYPE DE LA TRANCHÉE COUVERTE





**7- Coffrage de la traverse du plot 1, en cours.**  
**8- Température du piédroit d'épaisseur 1,20 m au feu.**

**7- Formwork of the section 1 crosspiece, in progress.**

**8- Temperature of the 1.20m thick side wall in fire.**

Les vérifications ont consisté à :

- 1-** Vérifier la charge thermique sur l'ouvrage à l'ELUA par un calcul de niveau G2 selon le guide du CETU "Comportement au feu des tunnels routiers" ;
- 2-** Vérifier par un modèle linéaire la combinaison fréquente à l'état limite accidentel avec des sections réduites de l'épaisseur du béton ayant dépassé 500°C (5 cm).

Pour la première vérification, l'élévation de température au sein de la section doit être évaluée par un modèle non-linéaire aux éléments finis (figure 8), en réduisant la section de la valeur de l'écaillage. La valeur de l'écaillage a été vérifiée par la réalisation d'un essai au feu au laboratoire Prométhée du Cerib sur une dalle "vraie grandeur" de dimensions 8 m x 1,6 m x ép. 0,5 m. La formulation a été retenue à l'issue d'un essai de sélection au feu sur dalles et comporte 0,9 kg/m<sup>3</sup> de fibres polypropylène permettant de limiter l'écaillage en cas d'incendie. L'écaillage constaté a ainsi été de 0 cm.

Les ouvrages de génie civil concernent aussi la réalisation des murs en retour du plot 4. Ce sont des murs en T-inversé d'une hauteur de 12 m en moyenne ; avec des semelles à la géométrie triangulaire conditionnée par le biais de l'ouvrage, 55 gr, et le biais des parois clouées provisoires soutenant les chaussées. La justification de ces murs au séisme a nécessité le développement de techniques de calcul hybrides mixant modèles aux éléments finis et considérations géotechniques permettant d'appréhender au plus près les efforts se développant ainsi que les contraintes au sol.

### TERRASSEMENTS, CHAUSSEES ET ECRAN ACOUSTIQUE

#### ROUTE DÉPARTEMENTALE 1006

La RD 1006 est déviée sur un linéaire d'environ 700 m (figure 9), puis rétablie sur son tracé initial.

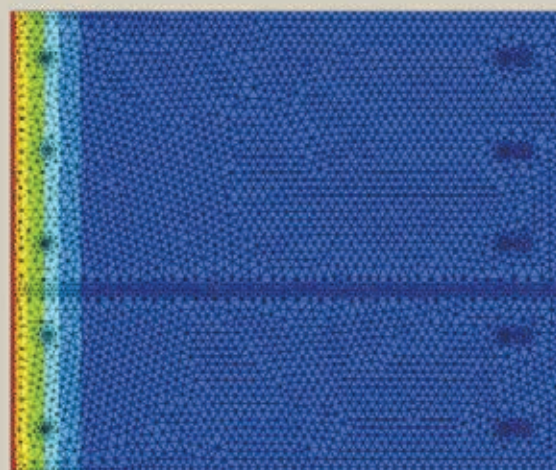


La vitesse de circulation est réduite à 50 km/h sur le tracé de la déviation (80 km/h existant). Le profil en long de la déviation est abaissé au maximum au droit de la tranchée couverte, puis

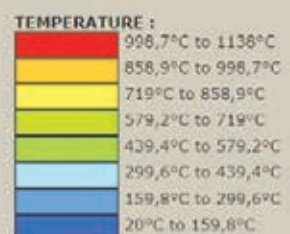
réhaussé de 50 cm pour le passage sur la tranchée couverte lors du rétablissement. Le profil en travers de la RD 1006 existante est maintenu sur la déviation, à l'exception des bandes multifonction-

nelles. Le profil en travers est constitué de deux voies de 3,5 m et d'une bande multifonctionnelle de 1,5 m. Situés en zone inondable, les remblais de la déviation de la RD 1006 sont pro-

### TEMPÉRATURE DU PIÉDROIT D'ÉPAISSEUR 1,20 m AU FEU



TIME : 14400 sec



7  
© INGEROP

8  
© TELT, BRIF TP, CERIB





9

© INGEROP



10

© INGEROP

tégés en partie basse par des géotextiles et matériaux adéquats depuis le lit vif jusqu'au niveau Q30 (cruie trentennale avec effet cinétique).

#### AUTOROUTE A43

L'autoroute A43 est déplacée sur un linéaire d'environ 800 m de part et d'autre de la tranchée couverte, puis rétablie sur son tracé initial avec quelques ajustements permettant notamment d'améliorer la visibilité par rapport à la situation initiale (figure 10). La vitesse de circulation est réduite à 90 km/h sur le déplacement.

Le profil en travers de l'autoroute existante est maintenu sur le déplacement,

**9- Finition de la chaussée RD1006 déviée.**

**10- Chaussée de l'A43 rétablie sur la TC et écran acoustique.**

**9- Finishing of the diverted RD1006 pavement.**

**10- A43 pavement restored on cut-and-cover, and noise barrier.**

à l'exception du terre-plein central (TPC) qui est réduit. Ainsi le profil en travers déplacé est constitué d'une BDD de 1,0 m, de deux voies de 3,5 m et d'une BAU de 3,0 m. Le profil en long du déplacement est légèrement plus bas que l'autoroute existante au droit de la tranchée couverte, afin d'en faciliter la réalisation en réduisant les hauteurs de soutènement.

Le rétablissement de l'autoroute A43 sur la tranchée couverte est effectif depuis fin 2020. Ces travaux sur l'A43 ont été réalisés en partie en coactivité avec les entreprises mandatées par RTE pour le passage de la ligne Savoie-Piémont sous la tranchée couverte puis sous la chaussée. Ils ont aussi permis la réalisation du génie civil des futures

lignes souterraines RTE 150/42/63 kV en complément des autres réseaux secs et humides classiques.

#### ÉCRAN ACOUSTIQUE

Un écran acoustique a été réalisé côté montagne afin de réduire l'impact acoustique des aménagements sur le village de Villard-Clément. Cet écran est implanté au plus près du dispositif de retenue de l'A43 tout en garantissant la circulation des personnes à l'arrière du dispositif (largeur libre de 1,7 m).

La hauteur du mur est de 4,5 m par rapport au terrain naturel sur une longueur de 210 m. Les panneaux ont des propriétés acoustiques de type double-absorbant. □

## PRINCIPALES QUANTITÉS

**BÉTON DE STRUCTURE : 9 000 m<sup>3</sup>**

**ACIER HA : 1 700 t**

**SURFACE DES SOUTÈNEMENTS : 7 000 m<sup>2</sup>**

**TUBES POUR MICROPIEUX : 300 t**

**VOLUME DES TERRASSEMENTS : 250 000 m<sup>3</sup>**

**ENROBÉS BITUMINEUX : 25 000 t**

## PRINCIPAUX INTERVENANTS

**MAÎTRE D'OUVRAGE : TELT (Tunnel Euralpin Lyon Turin)**

**MAÎTRE D'ŒUVRE : groupement Ingerop (mandataire), Geos, Geodata**

**ENTREPRISE DE TRAVAUX : groupement Bouygues Travaux Publics Régions France (mandataire), Maia Sonnier, Colas Rhône-Alpes-Auvergne**

## ABSTRACT

### LYON-TURIN TUNNEL CUT-AND-COVER OF SAINT-JULIEN-MONTDENIS

SÉBASTIEN ARNAUD, INGEROP

The works for the Saint-Julien-Montdenis cut-and-cover involved the construction of a reinforced concrete frame structure about 90 metres long and 20 metres wide, divided into 4 sections with a slant of 55 gons. This structure will allow placing of the two railway tracks of the Lyon-Turin Euralpine Tunnel. To execute the frame structure and maintain traffic continuity during the works, the motorway and county road were diverted and then restored. This work sequencing required the execution of very high temporary and permanent retaining structures of up to 20 metres, and earthworks involving about 250,000 cu. m of materials. □

### TELT - EL FALSO TÚNEL DE SAINT-JULIEN-MONTDENIS

SÉBASTIEN ARNAUD, INGEROP

Las obras del falso túnel de Saint-Julien-Montdenis consisten en realizar una construcción marco de hormigón armado de unos 90 m de longitud y 20 m de ancho, dividido en 4 plots con una inclinación de 55 grados. Esta obra permitirá el paso de las dos vías férreas del Túnel Euralpin Lyon Turin. Para realizar la construcción marco y mantener el tráfico durante las obras, la autopista y la carretera departamental se han desplazado sucesivamente, para restablecer finalmente su recorrido. Esta ejecución por fases ha precisado la realización de muros de contención provisionales y definitivos de gran altura (hasta 20 m), así como el movimiento de unos 250.000 m<sup>3</sup> de materiales. □





1  
© DEMATHIEU BARD

# LIGNE 17 - LANCEMENT DU PREMIER TUNNELIER RÉUTILISÉ SUR LE GRAND PARIS EXPRESS

AUTEURS : NAZIH SEDIRA, ADJOINT RESPONSABLE MARCHÉ TRAVAUX, INGÉROP - ALBÉRIC DU CHÉNÉ, DIRECTEUR TECHNIQUE, DEMATHIEU BARD - RODOLPHE PAPIN, INGÉNIEUR TRAVAUX, DEMATHIEU BARD - VINCENT MICHAUX, RESPONSABLE MÉTHODES, DEMATHIEU BARD - MATTEO MANTOVANI, DIRECTEUR ÉTUDES, PIZZAROTTI

L'AMPLEUR ET LA DURÉE DE RÉALISATION DU PROJET DU GRAND PARIS EXPRESS INCITE À LA RÉUTILISATION DES MATÉRIELS QUAND CEUX-CI SONT RENDUS DISPONIBLES APRÈS UN PREMIER CHANTIER. APRÈS UN CREUSEMENT SUR UN PREMIER TRONÇON DE LA LIGNE 15 SUD, LE TUNNELIER S-1078 D'HERRENKNECHT A AINSI PU ÊTRE RÉUTILISÉ SUR UN TRONÇON DE LA LIGNE 17, AU MOYEN D'ADAPTATIONS NÉCESSITÉES PAR LA GÉOLOGIE SPÉCIFIQUE DE CE CHANTIER ET DE MÉTHODES INNOVANTES SPÉCIALEMENT ADAPTÉES POUR TENIR UN PLANNING TRAVAUX AMBITIEUX.

## PRÉSENTATION GÉNÉRALE DU PROJET :

La Ligne 17 du Grand Paris Express est une ligne nouvelle qui reliera à terme les gares de Saint-Denis-Pleyel et du Mesnil-Amelot. Elle comporte deux tronçons :

→ Un tronçon commun avec la Ligne 16 d'environ 6 km entre les gares Saint-Denis-Pleyel et Le-Bourget-RER ("Ligne 17 Sud") ;

→ Un tronçon reliant les gares Le-Bourget-RER (gare exclue) et Le-Mesnil-Amelot, appelé "Ligne 17 Nord", d'une longueur d'environ 20 km. Elle desservira 3 départements (la Seine-Saint-Denis, le Val d'Oise et la Seine-et-Marne) et traversera 10 communes.

La Ligne 17 Nord sera majoritairement souterraine, avec une partie aérienne d'environ 5,4 km, elle comportera à

**1- Portique de  
grutage du bou-  
clier (BigLift).**

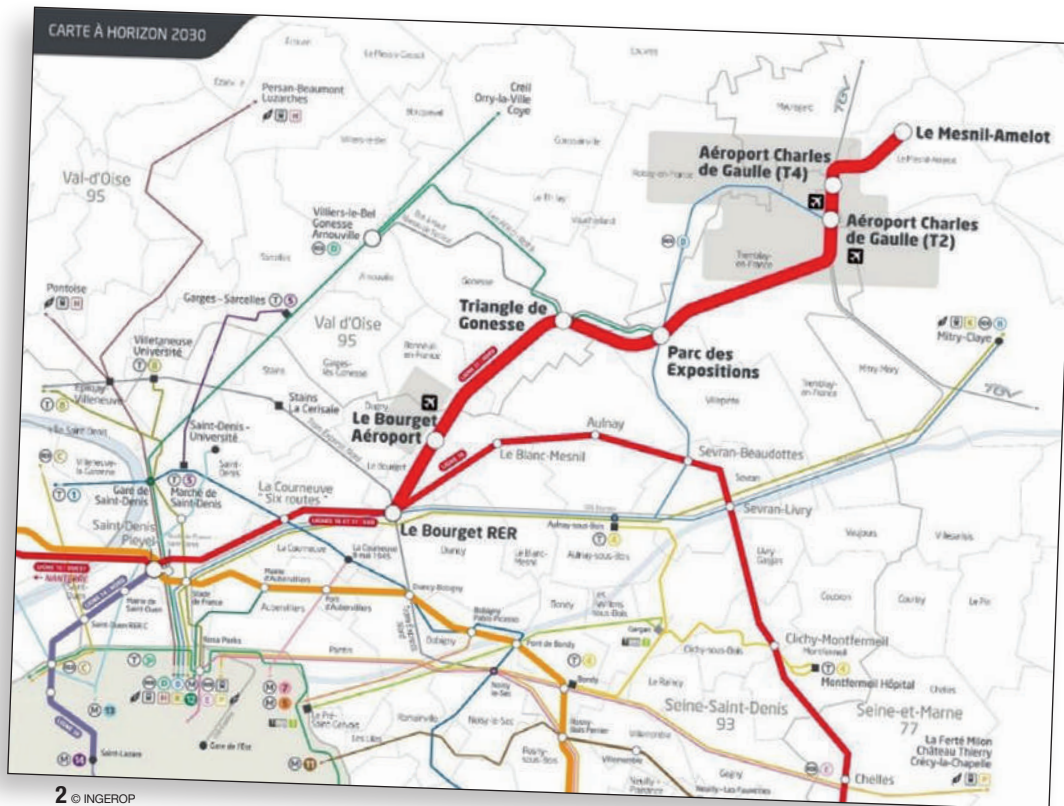
**1- Shield gantry  
crane (BigLift).**

terme, six nouvelles gares de métro et 14 ouvrages de sécurité (ouvrages annexes d'aération et de secours).

Le projet de la Ligne 17 Nord se compose donc de plusieurs types d'ouvrages : tunnels, gares, ouvrages annexes, ouvrages en terre, viaducs, etc.

Cette future ligne de métro aura des rames plus courtes que celles du métro existant (54 m au lieu de 108 m) et sera entièrement automatisée. À l'horizon 2030, la mise en service de la totalité de la ligne permettra de propo-





2 © INGEROP

ser une offre de service de l'ordre de 7500 à 10000 voyageurs par heure et par sens (figure 2).

### PRÉSENTATION DU LOT 1

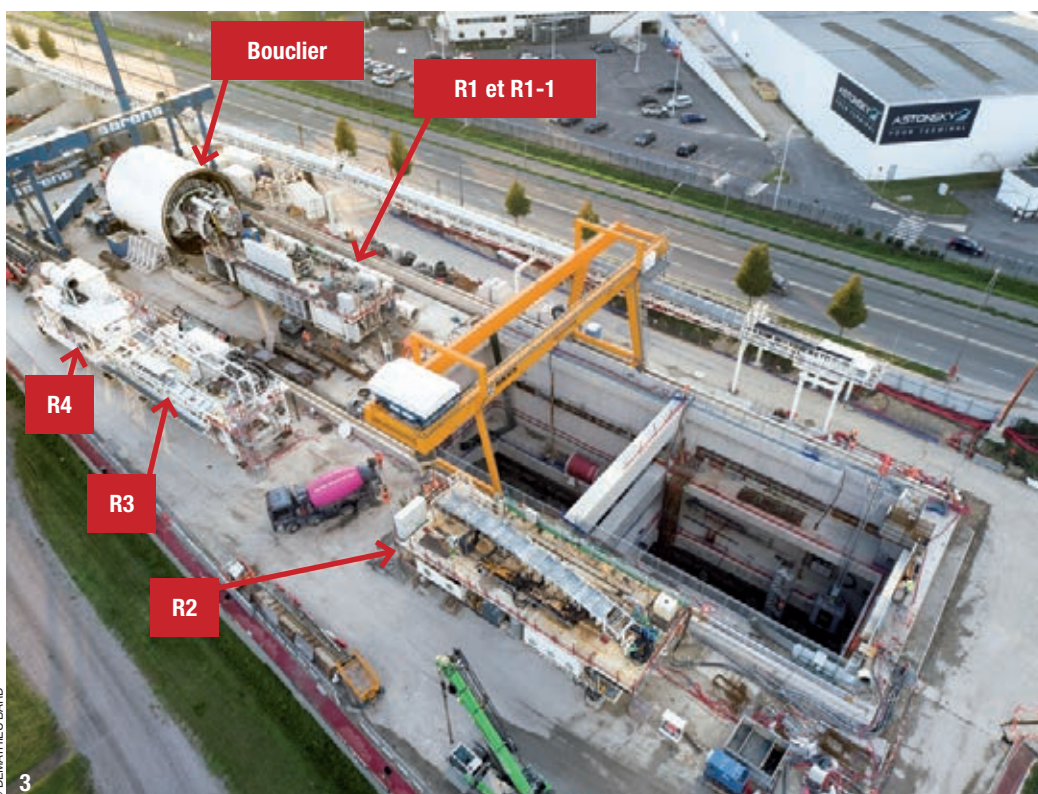
Les travaux de génie civil de l'infrastructure de la Ligne 17 Nord sont décomposés en 4 lots.

Le lot 1 correspond aux travaux de génie civil entre l'OA 3406P exclu et la tranchée couverte de Gonesse

- 2- Tracé de la Ligne 17 du GPE.
- 3- Équipements du tunnelier après prémontage.

- 2- Alignment of GPE Line 17.
- 3- TBM equipment after preassembly.

incluse. Ce marché de travaux, attribué au groupement Avenir, a été notifié en janvier 2019, il consiste en la réalisation du tunnel du secteur Sud de la ligne sur une longueur de 6 km environ en créant deux nouvelles gares : Le-Bourget-Aéroport (LBA) et Triangle-de-Gonesse (TDG), et à la réalisation de sept ouvrages annexes. L'un de ces sept ouvrages se trouve sur le chemin critique, il s'agit de l'ou-



3 © DEMATHIEU BARD

vrage annexe OA3502. Cet ouvrage de secours et de ventilation, implanté le long de la route de Flandres (RD317) sur la commune de Bonneuil-en-France, servira de point d'attaque et de sortie du TBM, le tunnelier mécanisé. C'est depuis ce puits rectangulaire, d'une section utile de 20 m de largeur et 46 m de longueur, que cette machine longue d'une centaine de mètres, baptisée Florence, entamera son creusement.

Le tunnel qui relie ces gares est un ouvrage monotube à deux voies de 8,7 m de diamètre utile, foré au tunnelier, il sera construit en deux tirs.

Un premier tir de 3419 m de longueur, formé par 1688 anneaux de voussoirs préfabriqués de 2 m de largeur.

Le montage et le lancement du tunnelier se réalisent dans l'ouvrage annexe OA3502P, il traversera la gare LBA déjà excavée, et terminera cette première course dans l'ouvrage annexe OA3406P de la Ligne 16 début 2022 où il sera démonté afin d'être transporté vers l'ouvrage de la future gare de Triangle-de-Gonesse (figure 2), en vue d'être remonté à nouveau pour la mission de creusement du tir 2. La longueur de ce second tir est de 2653 m, il s'agit de la distance entre la fosse de départ de la gare TDG et l'ouvrage annexe 3502 servant comme puits de sortie.

Cette configuration de creusement, en deux tirs, proposée par le maître d'œuvre dans ses études de conception, permet un gain de planning et une optimisation financière sur le coût du projet dans l'objectif de mettre en service la gare Le-Bourget-Aéroport pour les Jeux Olympiques de 2024.

À la suite de l'attribution du marché et au cours de la période de préparation du chantier, la temporalité des projets réalisés par les membres du groupement a permis d'envisager la réutilisation du tunnelier Steffie Orbival ayant servi à réaliser un des deux tunnels du projet T2C de la Ligne 15 Sud (tronçon de liaison au site de maintenance et de remisage de Champigny). Avec son parcours de seulement 2,6 km, il avait la capacité de répondre au besoin de réaliser les six kilomètres du Lot 1 de la Ligne 17. Le tunnelier Steffie a finalisé son trajet dans l'ouvrage 807 de la Ligne 15 Sud en juin 2019, en pleine terre. Après une phase de terrassement, il a pu être démonté et transporté sur un site de stockage temporaire sur lequel une série de contrôles et de vérifications ont pu être réalisés avant qu'il soit





4 © DEMATHIEU BARD



5 © INGEROP

transporté pour montage sur le site du puits de Flandres, à Bonneuil-en-France, au démarrage du premier tir du projet.

Cette étape a mis en exergue la nécessité de diverses réparations et adaptations à entreprendre pour que le tunnelier soit opérationnel dans la configuration du nouveau projet. Le groupement a alors notamment décidé de remonter le tunnelier en surface afin de pouvoir réaliser des essais en grandeur nature.

Cette méthodologie permet en outre de limiter la durée de la préparation en fond de puits, ce qui représente un gain sur le planning d'environ six semaines sur le chemin critique du projet.

**MONTAGE À BLANC DU TUNNELIER EN SURFACE DE L'EMPRISE DU CHANTIER**

Les objectifs de cette phase sont les suivants :

- Assemblage des composants du tunnelier à une taille compatible avec les dimensions des trémies d'accès du puits de lancement ;
- Vérification des systèmes du tunnelier, assemblés comme en situation de creusement, pour s'assurer de la parfaite fonctionnalité de tous les composants et de leur ensemble, et éviter ainsi toute possibilité de mauvais fonctionnement et perte de temps une fois le tunnelier assemblé en fond du puits.

Les pièces du tunnelier ont été livrées sur le site de lancement à partir du début de l'année 2020. L'assemblage des remorques 1 et 2 a été réalisé entre février et juin 2020, celui des éléments du bouclier a été réalisé entre juin et août. L'ensemble des organes du tunnelier ont pu être contrôlés et testés. Sur 69 tests à effectuer, 40 ont pu être réalisés en surface dans des conditions optimales, ce qui a permis de gagner du temps au démarrage une fois le tunnelier au fond du puits. En phase de prémontage, les portiques

**4- Sas de décompression.**

**5- Pompe TAP.**

**6- Berceaux de roulement pour remorques.**

**4- Décompression chamber.**

**5- Mucking pump.**

**6- Roller cradles for trailers.**

R1 et R1-1 sont alignés au bouclier afin de permettre la réalisation du précâblage et les essais de fonctionnement de la plupart des dispositifs du tunnelier (figure 3). R2 a ensuite été déplacé en surface à côté du puits, en position pour démarrage du TBM.

**MODIFICATIONS APPORTÉES SUR LE TUNNELIER**

**AJOUT D'UN SAS DE DÉCOMPRESSION POUR LES INTERVENTIONS HYPERBARES**

La coupe géologique du projet prévoit un creusement majoritairement dans

**BERCEAUX DE ROULEMENT POUR REMORQUES**



berceaux de ripage pour bouclier

Longrines support de la cloche

Massifs d'appui du bâti de poussée

Berceaux de roulement pour remorques

6 © DEMATHIEU BARD





7

© DEMATHIEU BARD

les Sables de Beauchamp, sous nappe. Le groupement prévoit donc la réalisation d'interventions hyperbares hebdomadaires pour le contrôle et le remplacement des outils de la roue de coupe. Le nombre de ces interventions est donc largement augmenté par rapport à ce qui a été fait sur la Ligne 15 Sud pour lequel le creusement était principalement hors nappe. Le deuxième caisson permet de réaliser des interventions plus longues en autorisant le travail successif de deux équipes, l'une se décompressant pendant que l'autre entre pour finaliser le changement des molettes dans la roue de coupe (figure 4).

**7- Descente du bouclier au fond du puits.**

**8- Grutage de la cloche.**

**9- Vue du TSP alimentant les voussoirs.**

**7- Lowering the shield to the bottom of the shaft.**

**8- Crane handling of the cover.**

**9- View of train on road supplying segments.**

#### MODIFICATIONS DE LA ROUE DE COUPE

La géologie particulière de la Ligne 17 (Sables de Beauchamp, Marnes et Caillasses) a nécessité également d'adapter les outils de la roue de coupe. Notamment le remplacement de rippers par des molettes de 18 pouces sur la partie centrale de la roue a été réalisé, portant à 90 % la part des molettes 18 pouces dans la partie centrale de la roue de coupe.

#### POMPE TAP

Une autre adaptation majeure du tunnelier a consisté en l'installation d'une

pompe de marinage spécifique pour le creusement des cent premiers mètres en mode dégradé (sans les troisième et quatrième remorques du train suiveur). Cette pompe TAP (figure 5) s'est révélée bien adaptée à la gestion du marin constitué principalement de sables fins et a permis d'éviter l'utilisation de bennes mobiles, améliorant ainsi la cadence de la séquence de démarrage. Des essais de cette pompe ont été réalisés afin d'affiner les réglages de fonctionnement, notamment de la pression à laquelle était envoyé le marin liquide qui venait se déposer sur le tapis convoyeur en surface. ▷



8

© DEMATHIEU BARD



9

© DEMATHIEU BARD



## DESCENTE ET INSTALLATION EN FOND DE PUIITS

Une fois l'ensemble des modifications du tunnelier et les tests réalisés, le baptême a pu avoir lieu en surface, un nouveau nom a été donné à Steffie : Florence était fin prête pour descendre dans son puits. Elle a été accompagnée des premières remorques nécessaires à son fonctionnement, et de la cloche permettant de garantir l'étanchéité de la traversée des parois moulées.

Les berceaux de ripage pour le bouclier et les blocs de roulement pour les remorques ont été préinstallés avant la descente du bouclier. Les blocs de roulement ont été récupérés du projet de la Ligne 15 Sud, et adaptés en hauteur sur les derniers mètres (figure 6).

Étant donné l'état d'assemblage avancé et les dimensions et poids considérables de ces éléments, des moyens de levage particuliers ont été employés, et notamment un portique d'une capacité de 1 000 t. Ce portique, installé sur les mêmes longrines - renforcées - que celle du portique du chantier, a permis la descente du bouclier, de la remorque R1 et de la cloche de démarrage.

Le portique se déplace en glissant sur les longrines au moyen de cylindres hydrauliques. Le levage est assuré par vérins à câbles installés au-dessus des poutres transversales (figure 1).

La remorque R1 (230 t) a profité également du portique mille tonnes pour descendre le bouclier sur ses berceaux de roulement (figure 7).

Une fois le bouclier posé sur son berceau, la cloche (150 t) a été descendue à son tour et posée autour du bouclier (figure 8).

Le portique mille tonnes ayant terminé ses méga-levées, il est démonté pour laisser la place à la finalisation du départ du tunnelier (installation complète du bâti de poussée, masque, porte-joint de cloche, remplissage de la cloche). Les ultimes essais et préparatifs peuvent prendre place et, le 22 décembre 2020, soit huit semaines après la mise à disposition du radier aux équipes tunnel, les premiers tours de roue peuvent alors avoir lieu et la saga de Florence peut enfin commencer (figure 9) !

## INSTALLATIONS SPÉCIFIQUES POUR LE DÉMARRAGE DU CREUSEMENT

### CLOCHE D'ENTRÉE EN TERRE

Le dispositif d'entrée en terre du tunnelier consiste en une cloche étanche. Cette cloche conçue par le groupement a une forme en "fer à cheval", elle est



© DEMATHIEU BARD

constituée de six éléments métalliques pliables, ce qui permet d'en faciliter l'installation, tout en étant réutilisable pour les différentes entrées et sorties de terre du projet (3 entrées et 3 sorties au total pour le Lot 1). Cette disposition a, en outre, l'avantage de moins interférer avec les opérations de montage du tunnelier, car la cloche n'a pas de partie basse sur laquelle reposerait le bouclier.

Les adaptations au niveau du radier se font par des longrines en béton spécifiques à chaque ouvrage.

L'interface entre cloche et paroi moulée se fait par un masque en béton d'environ quarante centimètres d'épaisseur. L'interface entre cloche et bâti de pous-

sée, interface d'étanchéité uniquement, est réalisée par un porte-joint comprenant un joint Omega, permettant de s'adapter aux déformations de bâti de

**10- Cloche pré-montée en surface.**

**11- Cloche et porte-joint en fond de puits.**

**10- Cover pre-assembled on surface.**

**11- Cover and seal holder at bottom of shaft.**

poussée lors du creusement, de l'ordre de 1 à 2 cm en tête (figures 10 et 11). Cette cloche est précontrainte au radier afin de ne pas permettre d'ouverture de joint une fois sous pression (2 à 2,5 bar à l'axe tunnel).

### LE BÂTI DE POUSSÉE

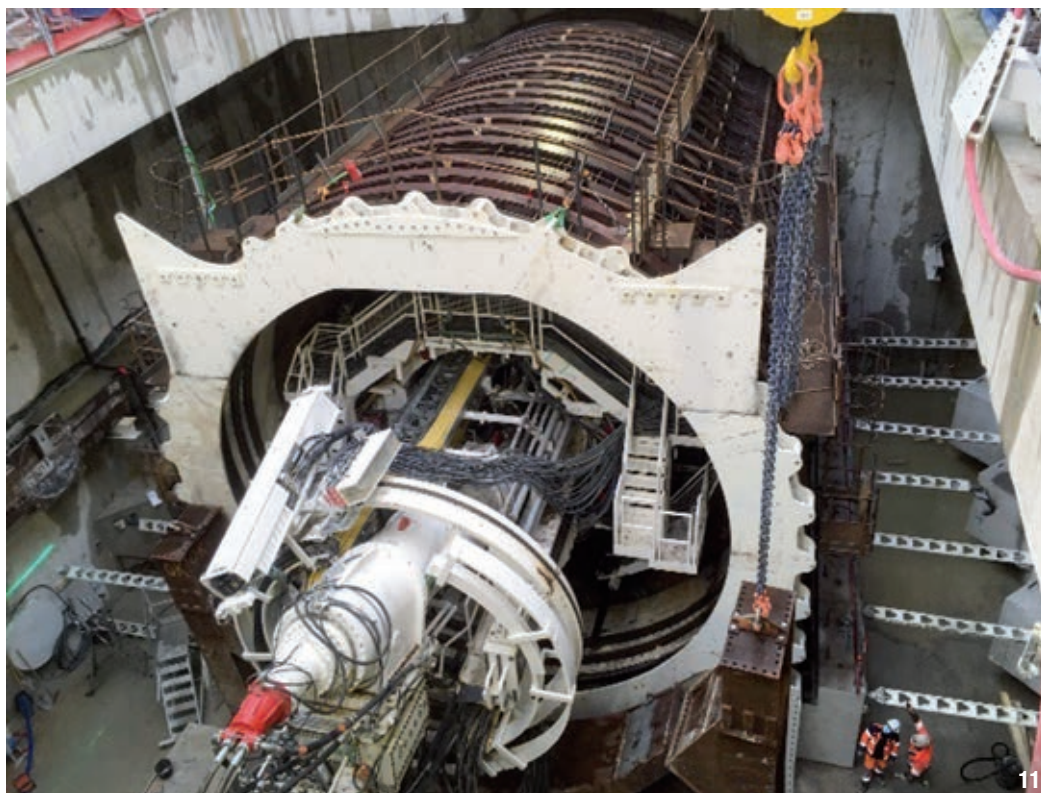
Une fois la cloche et le porte-joint en place, le bâti de poussée peut être monté et servir d'appui au tunnelier pour le creusement. Il reprend les efforts de creusement et la pression intérieure de la cloche sur l'espace annulaire entre bouclier et cloche.

Ce bâti est récupéré du projet de la Ligne 15 Sud d'où vient Steffie. Moyennant quelques adaptations dans le radier (réservations d'une vingtaine de centimètres de profondeur), il sert de nouveau pour le démarrage de Florence (figure 12).

### ALIMENTATION VOUSOIRS

Le creusement des 50 premiers mètres se fait uniquement avec la 1<sup>re</sup> remorque : l'alimentation des voussoirs se fait au moyen d'extensions de la structure de cette remorque jusque dans le puits, sous le portique, qui alimente les voussoirs un par un (figure 13).

Les 50 m suivants se font avec la deuxième remorque, qui assure les fonctions d'alimentation en voussoirs et de pompage du mortier de bourrage.



© DEMATHIEU BARD





© DEMATHIEU BARD  
12

Dans cette configuration, une partie du puits a pu être libérée pour commencer l'installation des équipements de convoyeurs (station motrice, tour de réserve de bande et convoyeur vertical), en parallèle du creusement.

À la fin des 100 premiers mètres, la machine est de nouveau arrêtée pour que son train suiveur puisse être complété avec les remorques 3 et 4.

La machine est alors au complet. Elle possède maintenant tous les équipements et toutes les fonctionnalités nécessaires à son bon fonctionnement. Cette configuration finale permettra à

**12- Vue du bâti de poussée.**

**13- Extension de la remorque R1.**

**12- View of thrust frame.**

**13- Extension of trailer R1.**

Florence d'aller au bout de sa mission. Rendez-vous dans quelques mois pour la traversée de la boîte de la future gare LBA. □



© DEMATHIEU BARD  
13

## PRINCIPALES QUANTITÉS

**DIAMÈTRE EXCAVÉ : 9,8 m**

**CADENCE D'AVANCEMENT PRÉVISIONNELLE : 14 m/jour**

**VOLUME DE TERRES EXCAVÉES : 458 000 m<sup>3</sup>**

**VOLUME DE REVÊTEMENT BÉTON : 70 400 m<sup>3</sup>**

**VOLUME DE REMPLISSAGE DE FOND DU TUNNEL : 49 642 m<sup>3</sup>**

## PRINCIPAUX INTERVENANTS

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

**ASSISTANT MAÎTRE D'OUVRAGE : groupement Artemis**

**MAÎTRE D'ŒUVRE INFRASTRUCTURES : groupement Hub 17 (Sweco, Ingerop, Aia Ingénierie)**

**LOT 1 : groupement Avenir (Demathieu Bard, Pizzarotti, Implenia, Bam)**

**TRAVAUX SPÉCIAUX : Trevi, Keller, Herrenknecht**

## ABSTRACT

### LINE 17 - LAUNCH OF THE FIRST RE-USED TBM ON THE 'GRAND PARIS EXPRESS' METRO PROJECT

NAZIH SEDIRA, INGÉROP - ALBÉRIC DU CHÉNÉ, DEMATHIEU BARD - RODOLPHE PAPIN, DEMATHIEU BARD - VINCENT MICHAUX, DEMATHIEU BARD - MATTEO MANTOVANI, PIZZAROTTI

The €440 million works contract for work section 1 of Line 17 of the 'Grand Paris Express' metro project involves the construction of a completely underground section of metro line, about 6 km long, comprising two stations and seven emergency and ventilation structures linked together by a single-tube tunnel driven by a tunnel boring machine. One of the major challenges is the re-use of a TBM already used on another line of the Grand Paris Express (GPE), while providing it with a series of modifications and adaptations, in some cases completely novel, to ensure efficient, optimised functioning of the tunnel driving sequence. This special nature was a real challenge for all those involved in the project. □

### LÍNEA 17 - LANZAMIENTO DE LA PRIMERA TUNELADORA REUTILIZADA EN EL GRAND PARIS EXPRESS

NAZIH SEDIRA, INGÉROP - ALBÉRIC DU CHÉNÉ, DEMATHIEU BARD - RODOLPHE PAPIN, DEMATHIEU BARD - VINCENT MICHAUX, DEMATHIEU BARD - MATTEO MANTOVANI, PIZZAROTTI

El contrato de obras del lote 1 de la Línea 17 del Grand Paris Express, valorado en 440 millones de euros, consiste en la realización de un tramo de línea de metro totalmente subterráneo, de unos 6 km, que incluye dos estaciones y 7 estaciones de emergencia y de ventilación, unidas entre sí por un túnel monotubo perforado con tuneladora. Uno de los principales desafíos es la reutilización de una tuneladora ya empleada en otra línea del Grand Paris Express, aplicando una serie de modificaciones y adaptaciones, en ocasiones inéditas, para lograr un funcionamiento eficaz y óptimo de la secuencia de perforación. Esta particularidad supone un gran reto para todos los actores del proyecto. □





© SPIE BATIGNOLLES 1

# PROLONGEMENT DE LA LIGNE 11 DU MÉTRO PARISIEN : TUNNEL DES LILAS

AUTEURS : JEAN-PIERRE JANIN, RESPONSABLE CELLULE "OUVRAGES SOUTERRAINS", SETEC TERRASOL - CHARLINE DANO, CHEF DE PROJET, SETEC TERRASOL - VINCENT VILLAIN, DIRECTEUR D'EXPLOITATION, SPIE BATIGNOLLES GÉNIE CIVIL

**RETOUR D'EXPÉRIENCE DU TUNNEL RÉALISÉ EN MÉTHODE TRADITIONNELLE, ENTRE L'ARRIÈRE-GARE DE MAIRIE-DES-LILAS ET LA FUTURE STATION SERGE-GAINSBOURG, EN CONTEXTE URBANISÉ À FAIBLE COUVERTURE, DANS LES ARGILES VERTES.**

## PRÉSENTATION GÉNÉRALE DU PROJET

Le projet s'inscrit dans la première phase de prolongement de la Ligne 11 depuis la station Mairie-des-Lilas jusqu'à la gare RER E de Rosny-Bois-Perrier pour un montant total des travaux de 1,3 milliard d'euros (figure 2). La mise en service est prévue pour 2022. Les 6 km de ce prolongement ont été divisés en cinq lots, dont le

lot GC03, qui correspond à un tunnel de 250 m creusé en méthode traditionnelle entre l'actuel atelier de maintenance de la Ligne 11 (AMT) situé au terminus Mairie-des-Lilas et la future station Serge-Gainsbourg. Le groupement d'entreprises titulaire du marché de construction est composé de Spie Batignolles Génie Civil (mandataire), Parengé et Spie Batignolles Fondations, avec les bureaux d'études Enser

**1- Levé géologique et topographique du front de taille avant confinement.**

**1- Geological and topographic survey of the tunnel face before confinement.**

(BE structure), Setec Terrasol (BE géotechnique et mission G3) et Solexpert (auscultation) pour un montant total de travaux de 20 millions d'euros.

Le tunnel présente une ouverture intrados de 8,1 m et une hauteur intrados de 6,6 m. La section d'excavation varie entre 67 m<sup>2</sup> et 73 m<sup>2</sup> (pour suivre l'inclinaison de la voûte parapluie). Le tunnel a été excavé en méthode traditionnelle sous le boulevard du Géné-



ral-Leclerc-de-Hauteclocque (Les Lilas). La couverture varie entre 9 m environ du côté de l'atelier à 13 m environ du côté de la station Serge-Gainsbourg. Le creusement s'est fait en alternance selon deux attaques, l'une vers l'atelier de Mairie-des-Lilas (AMT), l'autre vers la station Serge-Gainsbourg (SSG), à partir de l'ouvrage Calmette (figure 3). Celui-ci, composé d'un puits et d'un rameau, a été conçu pour étudier la réponse "en grand" du massif, servir de point d'accès pour le chantier et devenir à terme l'ouvrage de ventilation et d'accès aux secours lors de la phase d'exploitation.

Le creusement du tunnel a démarré en mai 2108 et il s'est achevé en octobre 2019. Le revêtement béton du tunnel s'est terminé en juin 2020.

Les travaux de réalisation du local technique en surface et d'équipement sont aujourd'hui en cours de finalisation.

## CONTEXTE GÉOLOGIQUE ET HYDROGÉOLOGIQUE

Le projet se situe sur le plateau de Romainville, composé de deux buttes où le Calcaire de Brie et les Marnes à Huîtres affleurent. Les sondages de reconnaissance ont mis en évidence les formations suivantes :

- Remblai (Quaternaire) : terrain hétérogène de mauvaise qualité ;
- Limon des Plateaux (Quaternaire) : terrain remanié, constitué par une alternance de passages argileux et limoneux ;
- Calcaire de Brie (Sannoisien) : marnes blanchâtres avec des passées



2  
© TERRASOL

**2- Prolongement de la Ligne 11 du métro parisien.**  
**3- Vue en plan du projet GC03.**

**2- Extension of Paris metro Line 11.**  
**3- Plan view of project GC03.**

- plus ou moins sableuses et argileuses et parfois des passées de cailloutis ;
- Argiles Vertes (Sannoisien) : argiles vertes homogènes, plastiques et globalement compactes ;
- Marnes de Pantin (Ludien) : marnes blanchâtres à bleutées-verdâtres, avec des rares passées argileuses noires ;

→ Marnes d'Argenteuil (Ludien) : marnes plus ou moins argileuses gris-vert bleutées avec à la base des passées de gypse saccharoïde.

Comme montré sur le profil en long du DCE (figure 4), il avait été anticipé que le tunnel soit principalement excavé en front mixte Argiles Vertes/Marnes de Pantin et que les Marnes d'Argenteuil soient rencontrées en radier du tunnel, en particulier vers l'arrivée à la station Serge-Gainsbourg.

D'un point de vue hydrogéologique, le site et le projet sont caractérisés par deux aquifères séparés par le niveau imperméable des Argiles Vertes :

- Nappe du Calcaire de Brie : nappe superficielle, de circulations de fissures, soutenue par le niveau imperméable des Argiles Vertes.
- Nappe des Marnes de Pantin : nappe a priori peu puissante et peu alimentée (circulations dans les feuillets).

## ENJEUX PRINCIPAUX DU PROJET

Les enjeux principaux du projet ont été les suivants :

- La présence de deux aquifères, l'un dans le Calcaire de Brie et l'autre dans les Marnes de Pantin, avec un impact sur les travaux de creusement du tunnel.
- La maîtrise des tassements induits sur les différents avoisinants (voirie, bâtiments et atelier de maintenance).
- La logistique complexe des travaux impliquée par une double attaque dos-à-dos avec approvisionnements et évacuations via un unique puits.
- Les interfaces, d'une part avec le tympan de l'atelier de maintenance, en exploitation, de la station Mairie-des-Lilas et, d'autre part, avec les travaux concomitants de la station Serge-Gainsbourg (lot GC01).

## GESTION DES NAPPES

Le marché GC03 prévoyait des injections du Calcaire de Brie situé au-dessus de la clé du tunnel, dans la zone à proximité du tympan du côté AMT (figure 5). Le Calcaire de Brie étant le siège d'une nappe, il y avait un risque de venue d'eau lors du creusement du tunnel dans le cas d'un approfondissement local du toit des Argiles Vertes ou lors du forage de la voûte parapluie. Après la réalisation d'un plot d'essais, les injections ont démarré en mars 2018 et elles ont été arrêtées au bout d'un mois et demi.

## VUE EN PLAN DU PROJET GC03



3  
© TERRASOL



En effet, ces injections ont provoqué des soulèvements importants et imprévus en surface. Ces soulèvements mettent en évidence la difficulté de réaliser des injections à faible couverture et dans un sol ayant une perméabilité relativement faible, de surcroît encadré par des horizons quasi-étanches ("effet piston"). La nappe dans les Marnes de Pantin, comme prévu, s'est montrée peu puissante. De faibles arrivées d'eau ont parfois été observées sous forme de suintements avec accumulation d'eau en pied de front, nécessitant la mise en place d'un système de pompage.

### MAÎTRISE DES TASSEMENTS

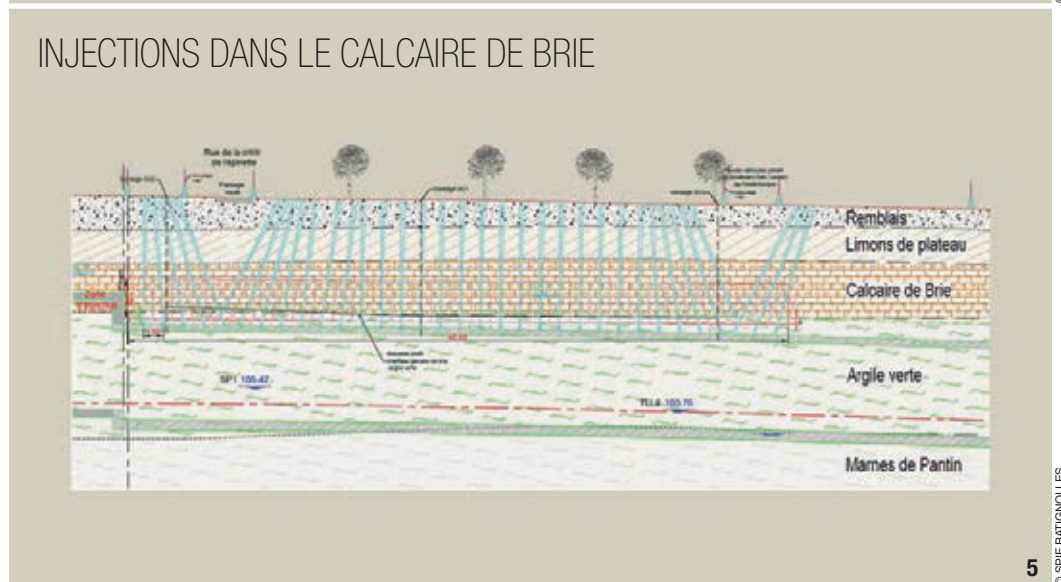
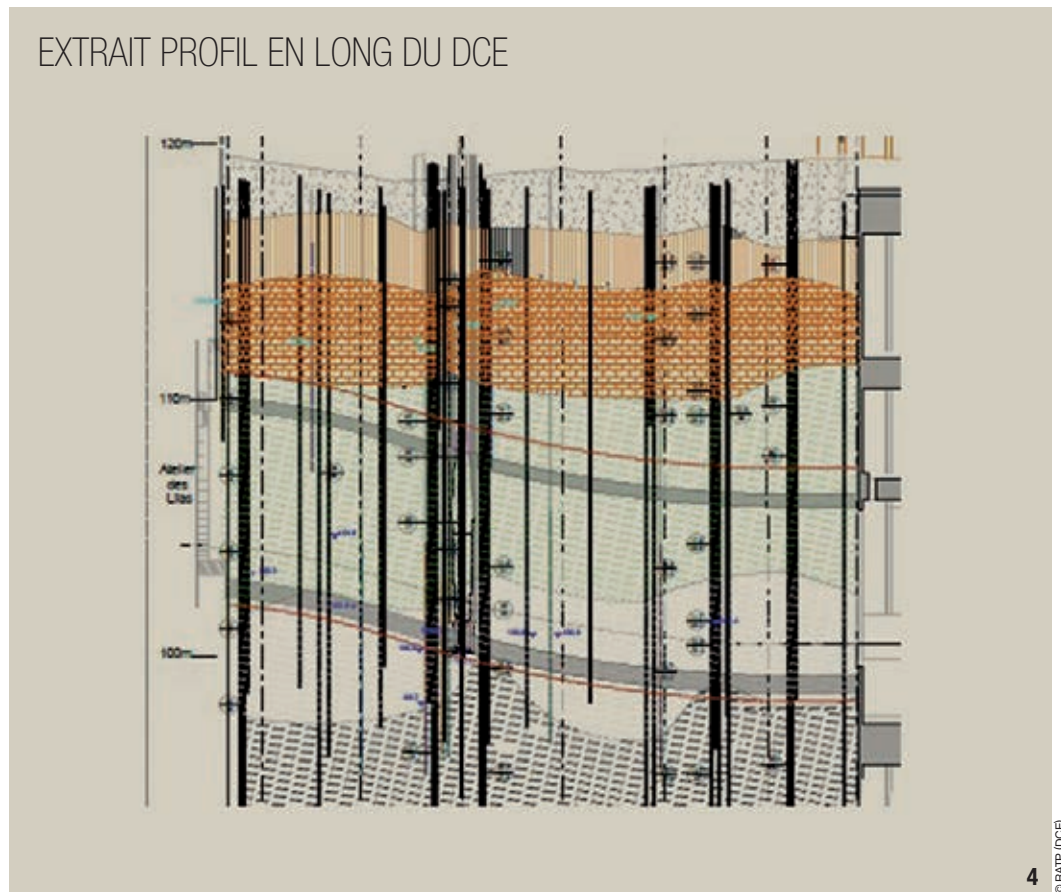
La faible couverture du tunnel, le milieu fortement urbanisé et les faibles caractéristiques géotechniques du massif encaissant ont conditionné la conception du tunnel et sa réalisation.

### CALCULS NUMÉRIQUES AVANCÉS DÈS LA PHASE D'ÉTUDE

Dans le cas d'un tunnel réalisé en méthode traditionnelle, la mise en place des présoutènements, suivie par un soutènement rigide installé à proximité du front, permet de limiter les tassements générés en surface. En particulier, le boulonnage au front joue un rôle essentiel dans la maîtrise de la stabilité du front et de son extrusion, auxquelles les tassements sont strictement liés. Afin de dimensionner le boulonnage au front, une démarche d'étude progressive a été adoptée en phase EXE :

- 1- Approche analytique à l'équilibre limite, permettant d'évaluer le besoin de confinement vis-à-vis de la stabilité du front.
- 2- Approche analytique en contraintes-déformations, développée par Wong & al (2000) et implémentée dans Tunren (logiciel interne de Terrasol), permettant de déterminer l'extrusion du front en fonction de différentes densités du boulonnage sous l'hypothèse d'une adhérence parfaite sol-boulon.
- 3- Approche numérique tridimensionnelle, avec modélisation explicite du boulonnage au front, permettant d'évaluer l'impact du boulonnage sur les tassements générés en surface (figure 6).

L'approche numérique 3D adoptée, en utilisant le code Plaxis 3D, se base sur le concept de la "cuvette instantanée longitudinale" de tassement, générée par un pas de creusement (Zapata Franco & al, 2020). Le boulonnage au front est modélisé de façon discrète, par le biais d'éléments de type *embedded*



*pile* (Janin, 2017). Cet élément peut résister à des efforts axiaux et de flexion et il interagit avec le sol environnant par le biais d'une loi d'interface. En faisant varier la raideur globale du boulonnage, une densité optimale a pu être définie afin de respecter les seuils de tassement définis au marché. En outre, cette approche a permis de définir des courbes prévisionnelles d'extrusion et de tassement dans la direction longitudinale du tunnel, qui ont été très utiles ensuite en phase travaux (figure 7).

4- Extrait profil en long du DCE.  
5- Injections dans le Calcaire de Brie.

4- Longitudinal profile excerpt from the tender documents.  
5- Grouting in Brie Limestone.

### MÉTHODE DE CREUSEMENT AVEC PRÉSOUTÈNEMENTS ET SOUTÈNEMENT LOURD

Le creusement a été rythmé par des cycles composés d'une phase de pré-soutènements (longueur de 16 m pour la voûte parapluie et 17 m pour le boulonnage au front en fibres de verre), réalisés par l'entreprise Ilesp, suivie d'une phase de creusement de 12 m, avec des passes d'excavation de 1 m afin de permettre un recouvrement suffisant des présoutènements.



6- Modèle numérique 3D avec simulation explicite du boulonnage au front.

7- Exemple des résultats obtenus avec le modèle 3D, profil en long des tassements.

6- 3D digital model with explicit simulation of rockbolting on the face.

7- Example of results obtained with the 3D model, longitudinal profile of subsidence.

TABEAU 1 : CARACTÉRISTIQUES DES PRÉSOUTÈNEMENTS

Voûte parapluie	Tubes pétroliers Ø 94/114, entraxe 0,4 m, longueur 16 m, renouvellement chaque 12 m, forage à l'air.
Boulonnage au front	Durglass trilame 40 mm x 4 mm, diamètre du forage à l'air de 110 mm, longueur de 17 m, renouvellement chaque 12 m (5 m de recouvrement), densités : <ul style="list-style-type: none"> <li>• Argiles Vertes : 0,6 b/m<sup>2</sup>,</li> <li>• Marnes de Pantin : 0,4 b/m<sup>2</sup>.</li> </ul>

Les caractéristiques des pré-soutènements mis en place sont listées dans le tableau 1.

Par la suite, la passe de creusement de l'attaque vers SSG a pu être augmentée à 1,2 m. Une passe d'avancement complète devait être achevée dans un délai d'une journée ouvrée, soit en deux postes, afin, d'une part, de sécuriser

l'excavation vis-à-vis d'éventuelles instabilités et, d'autre part, de bloquer rapidement les déplacements du massif et limiter ainsi les tassements. Chaque passe suivait la séquence suivante :

- Excavation du front de taille ;
- Évacuation des déblais ;
- Levé géologique et topographique (figure 1) ;

- Confinement du front de taille et des parements en béton projeté fibré (5 cm) ;
- Mise en place et réglage du cintre contre-voûté HEB180 ;
- Vérification d'implantation par le géomètre ;
- Remplissage en béton projeté fibré sur l'épaisseur du cintre (18 cm).

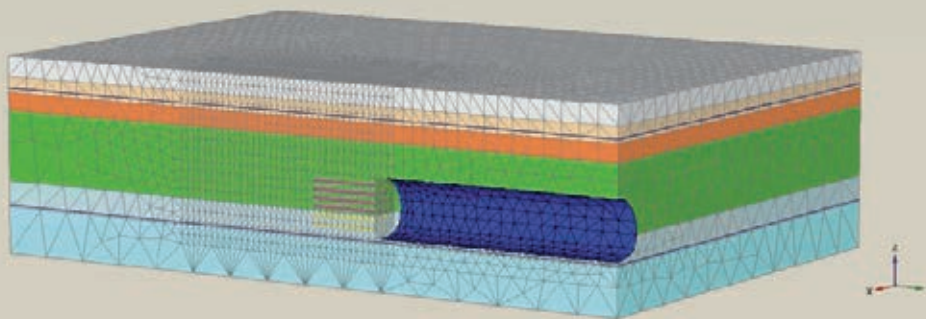
**AUSCULTATION JOURNALIÈRE**

Afin de garantir la correcte maîtrise des tassements générés sur les avoisinants, un important système d'auscultation a été mis en place, composé principalement par :

- Suivi topographique automatisé de cibles placées sur les trottoirs et sur les bâtiments ;
- Extrusomètre au front de 22 m, renouvelé à chaque cycle de creusement (recouvrement de 10 m), relevé à chaque passe ;
- Inclinomètres et déformètres verticaux ;
- Mesures de convergence en tunnel et des efforts dans les cintres ;
- Mesures piézométriques régulières (9 piézomètres).

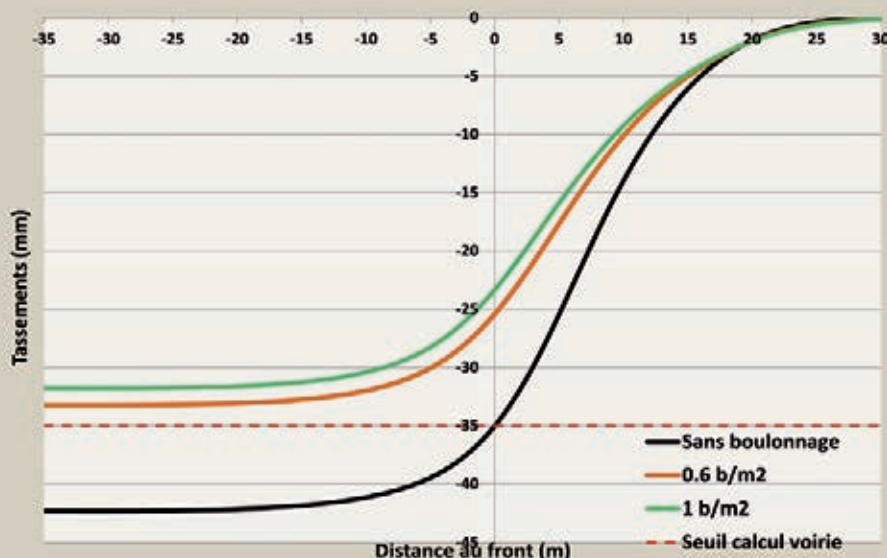
Outre les levés de front permettant de vérifier la conformité des conditions géologiques attendues et le comportement du massif, une analyse journalière des mesures d'auscultation a été réalisée. En particulier, en s'appuyant sur les profils en long prévisionnels de tassement obtenus numériquement, des courbes de seuils et des courbes prévisionnelles ont pu être tracées (figure 9). Ceci a permis de vérifier quotidiennement que l'évolution des tassements était conforme aux seuils travaux fixés au marché. Dans un tunnel en méthode traditionnelle, en effet, il est essentiel d'analyser l'allure des tassements bien au-devant du front de taille afin de pouvoir intervenir, si besoin, en modifiant le processus de creusement (augmentation de la densité du boulonnage, réduction de la passe de creusement). L'extrusion cumulée maximale du front a été d'environ 1 cm. Les tassements finaux engendrés par le creusement de la galerie ont été de l'ordre de 2 cm maximum au niveau de la voirie et de 1 cm maximum au niveau des bâtiments, respectant les seuils du marché. Les déformètres en forage ont montré que, pour la plupart, ces tassements se sont produits au sein des Argiles Vertes. L'analyse des déplacements en surface et des mesures piézométriques a également mis en évidence une corrélation entre les mouvements des cibles et les variations saisonnières du niveau

MODÈLE NUMÉRIQUE 3D AVEC SIMULATION EXPLICITE DU BOULONNAGE AU FRONT



6

EXEMPLE DES RÉSULTATS OBTENUS AVEC LE MODÈLE 3D, PROFIL EN LONG DES TASSEMENTS



7





8 © SPIE BATHIGNOLLES

phréatique dans le Calcaire de Brie. Le battement de la nappe a engendré des variations verticales des cibles en surface pouvant attendre une dizaine de millimètres, d'où l'importance de faire un suivi piézométrique lors du creusement du tunnel, mais également avant et après les travaux.

#### MISE EN PLACE DE LA MÉTHODE OBSERVATIONNELLE POUR L'OPTIMISATION DES TRAVAUX

Sur la base du suivi des mesures d'auscultation, montrant des tassements inférieurs aux prévisions et aux seuils du marché, il a été décidé d'augmenter l'espacement des cintres du côté SSG de 1 m à 1,2 m. La justification géotechnique de cette optimisation a pu être réalisée grâce à la modélisation numérique 3D présentée ci-avant, dans laquelle seule la longueur de la passe d'excavation et l'espacement des cintres ont été modifiés. L'incrément de tassement estimé était inférieur à 5 mm et l'optimisation a été ainsi acceptée par le MOE.

#### LOGISTIQUE DU CHANTIER

Une des difficultés principales de cette opération réside dans l'exiguïté de l'espace disponible qu'autorise la galerie et le puits existant.

La réalisation des deux attaques depuis le rameau a tout d'abord obligé les équipes à faire rentrer et sortir par le puits, et ce pour chaque tâche d'un cycle, les engins nécessaires à sa réalisation (excavation, marinage, béton projeté, pose du cintre) car la place disponible ne permettait pas de disposer de l'ensemble en fond de puits.

Par la suite, lorsque les linéaires des tronçons dos-à-dos ont été suffisamment avancés, le chantier a organisé les différents ateliers de façon à assurer un avancement continu alternativement sur les deux fronts, dans les meilleures conditions de sécurité possibles, et d'optimiser ainsi les cadences.

Les cycles de pré-soutènement ont ainsi été programmés sur des périodes de travail intégrant le samedi afin de pouvoir intervertir les travaux de pré-soutènement avec ceux de creusement d'un front à l'autre à la même date. Le marinage était effectué par le seul

**8- Charge-et-roule mobilisé sur site.**

**9- Exemple du suivi journalier des tassements des cibles voiries côté SSG en fonction de la distance au front.**

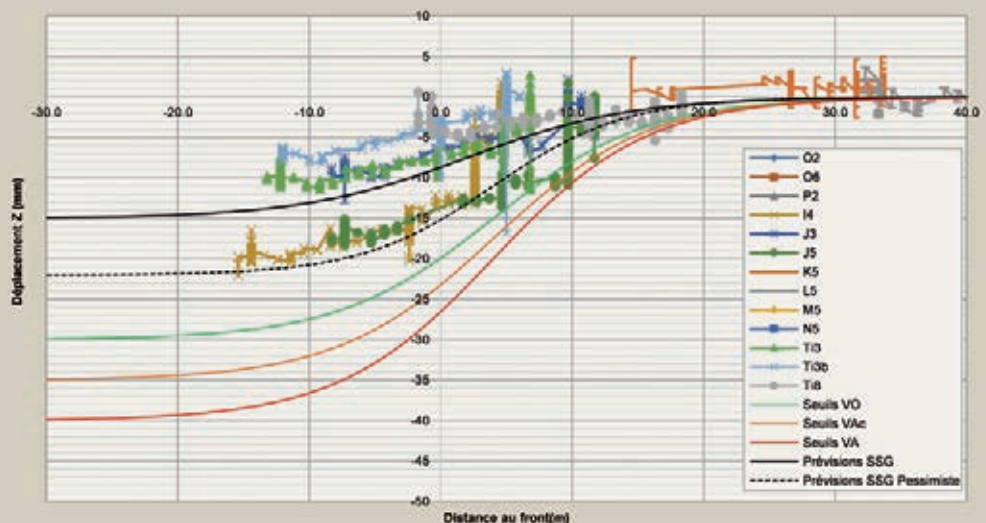
**8- Mobile loader deployed on site.**

**9- Example of daily monitoring of the subsidence of road targets on SSG station side according to distance from tunnel face.**

point de sortie possible : le puits. Celui-ci a tout d'abord été effectué par la grue à tour. Le chantier a mobilisé un charge-et-roule, matériel utilisé dans les mines, pour transférer les déblais des fronts de taille vers le puits.

Lorsque le creusement coté AMT a été terminé, celui côté Serge-Gainsbourg était toujours en cours. Le revêtement béton côté AMT devant débiter sans interruption, le chantier a alors mis en place un convoyeur dans le rameau et un élévateur à godet. Ceci a permis de libérer la grue des tâches de marinage et permettre les approvisionnements liés au génie civil.

### EXEMPLE DU SUIVI JOURNALIER DES TASSEMENTS DES CIBLES VOIRIES CÔTÉ SSG EN FONCTION DE LA DISTANCE AU FRONT



9

© TERRASOL



## INTERFACE AVEC LA STATION MAIRIE-DES-LILAS

Une phase sensible des travaux consistait dans le raccordement du tronçon AMT à l'atelier de maintenance existant. Cet ouvrage ancien constitué partiellement de parements en meulière est resté en exploitation pendant toute la durée des travaux car une interruption aurait engendré un arrêt du trafic des rames de la Ligne 11.

Un soin tout particulier devait donc être apporté pour minimiser l'impact des travaux sur les travailleurs RATP de ce site. À l'approche du tympan de l'AMT, les travaux de forage des présoutènements ont été réalisés en minimisant la pression d'air car cette pression exercée dans le terrain créait des venues d'eau dans les locaux.

Des carottages de reconnaissance et une attention particulière lors de l'implantation des forages ont permis de faire affleurer les tubes pétroliers de la voûte parapluie et les boulons en fibre de verre au tympan existant. Une fois celui-ci dégagé, sa démolition a été réalisée à l'abri d'un contre-mur, par sciages successifs.



10  
© SPIE BATIGNOLLES

### 10- Interface avec le tympan AMT.

### 10- Interface with the front wall of the train maintenance workshop.

## ENSEIGNEMENTS PRINCIPAUX

Les enseignements principaux tirés du REX du chantier sont les suivants :

- Les tassements générés en surface ont été correctement maîtrisés (globalement inférieurs à 2 cm), grâce en particulier :
  - à des analyses numériques 3D avancées en phase d'étude qui ont servi aussi en phase travaux pour l'application de la méthode observationnelle ;
  - à la maîtrise du phasage de construction (voûte parapluie, boulonnage au front, béton projeté au front et sur les parements, calage des cintre) ;
  - au suivi journalier attentif des mesures d'auscultation et les levés du front.

- Les sols encaissants, renforcés par le boulonnage au front, ont montré une bonne stabilité générale lors du creusement.
- Des soulèvements importants ont été observés lors des injections de traitement du sol et de la réalisation des voûtes parapluies. Ce phénomène est principalement lié à la faible couverture et à la nature peu perméable des sols, nécessitant une attention particulière lors du choix des paramètres d'injection.
- Une corrélation significative entre les battements saisonniers de la nappe et les tassements/soulèvements mesurés en surface a été observés, d'où l'importance de mettre en place un suivi piézométrique régulier, débutant bien en amont des travaux.
- L'importance de bien concevoir une logistique et une organisation des différentes activités du chantier pour optimiser les cadences tout en respectant la sécurité des travailleurs.
- L'interaction entre le tunnel et l'atelier de la station Mairie-des-Lilas maintenu en exploitation pendant les travaux a été correctement maîtrisée grâce à des reconnaissances à l'avancement et à une implantation précise de la dernière volée des pré-soutènements. □

## PRINCIPALES QUANTITÉS

### CARACTÉRISTIQUES DU TUNNEL :

- Longueur totale de 250 m, dont 90 m du côté AMT et 140 m du côté SSG
- Section excavée variable entre 67 m<sup>2</sup> et 73 m<sup>2</sup>
- Section utile intrados : 8,1 m de large et 6,6 m de hauteur
- Couverture minimale : 9 m (coté AMT)
- Couverture maximale : 13 m (coté SSG)

### PRÉ-SOUTÈNEMENTS MIS EN PLACE :

- Linéaire des VP : 8 222 m
- Linéaire des boulons au front : 12 654 m

### AUSCULTATION :

- Points de nivellement en trottoir ou chaussée : 52 u
- Cibles 3D sur structures existantes : 48 u

## PRINCIPAUX INTERVENANTS

**MAÎTRISE D'OUVRAGE :** RATP

**MAÎTRISE D'ŒUVRE :** RATP Ing

**ENTREPRISES :** Groupement Spie Batignolles Génie Civil - Parengé - Spie Batignolles Fondations

**ENTREPRISE POUR PRÉSOUTÈNEMENTS :** Ilesp

**BE ET MISSION G3 :** Setec Terrasol

**BE STRUCTURE :** Enser

**AUSCULTATION :** Solexpert

## ABSTRACT

### EXTENSION OF LINE 11 OF THE PARIS METRO: LILAS TUNNEL

JEAN-PIERRE JANIN, SETEC TERRASOL - CHARLINE DANO, SETEC TERRASOL - VINCENT VILLAIN, SPIE BATIGNOLLES GÉNIE CIVIL

As part of extension work on Line 11 of the Paris metro between Mairie-des-Lilas and Rosny-Bois-Perrier stations, a 250-metre tunnel was driven by a conventional technique between the existing Mairie-des-Lilas terminus and the future Serge-Gainsbourg station. Given the small overburden, the urbanised environment and the weak geotechnical properties of the surrounding ground, one of the main challenges of the project was the control of surface subsidence. The worksite logistics and management of the interface with the existing station also required special attention during the works. □

### PROLONGACIÓN DE LA LÍNEA 11 DEL METRO DE PARÍS: TÚNEL DE LILAS

JEAN-PIERRE JANIN, SETEC TERRASOL - CHARLINE DANO, SETEC TERRASOL - VINCENT VILLAIN, SPIE BATIGNOLLES GÉNIE CIVIL

En el marco de la prolongación de la línea 11 del metro de París entre las estaciones de Mairie-des-Lilas y Rosny-Bois-Perrier, se ha perforado un túnel de 250 m por el método tradicional entre la actual estación final de Mairie-des-Lilas y la futura estación de Serge-Gainsbourg. Dada la baja cobertura, el medio urbanizado y las débiles características geotécnicas de los suelos circundantes, la gestión de los asentamientos generados en superficie ha constituido uno de los principales desafíos del proyecto. Asimismo, la logística de la obra y la gestión de la interfaz con la estación existente han exigido una atención particular durante las obras. □





1- Terrassement à ciel ouvert pour l'agrandissement d'une issue existante pour y disposer un escalier mécanique.

1- Surface earthworks for the enlargement of an existing exit to install an escalator.

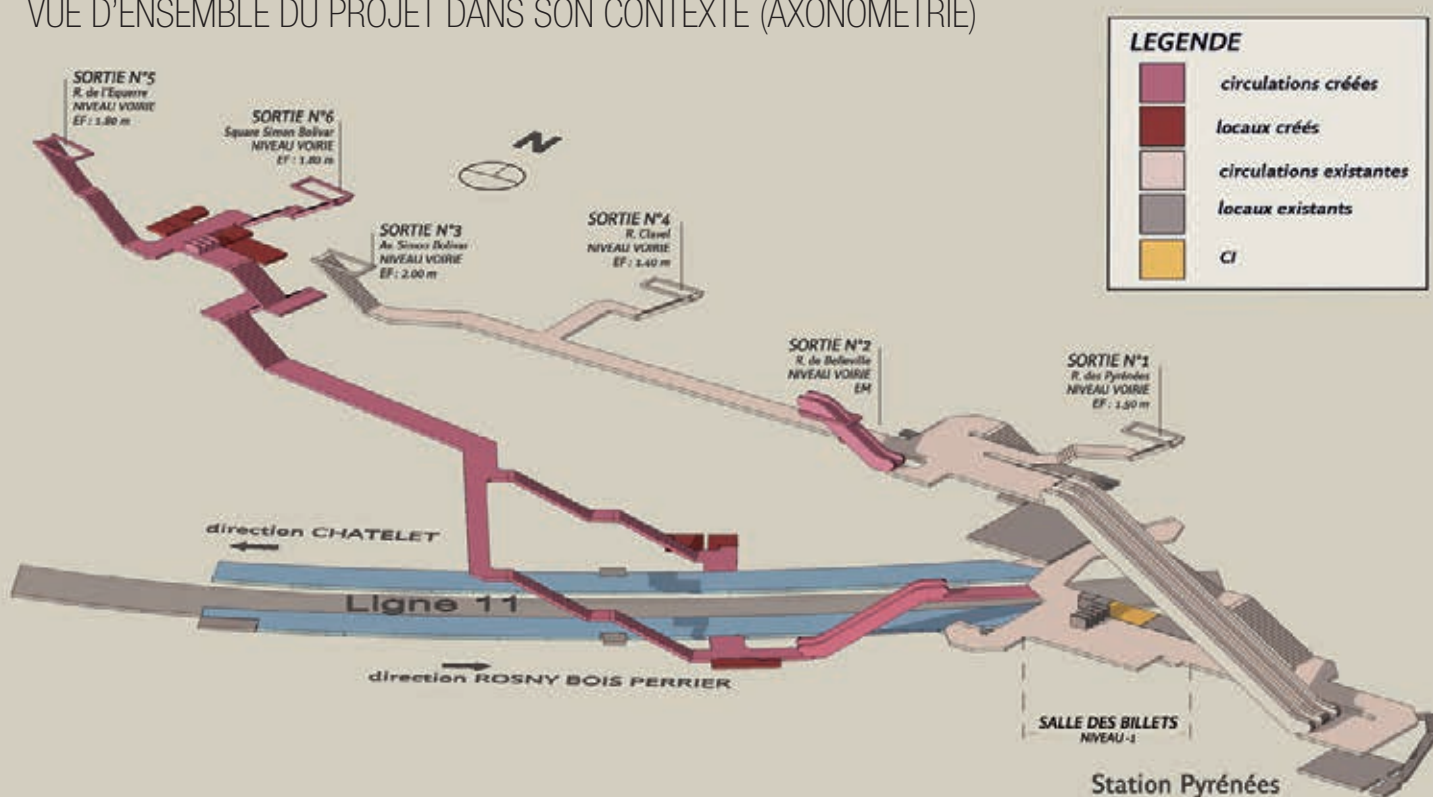


# MÉTRO LIGNE 11 - ACCÈS SUPPLÉMENTAIRES À LA STATION PYRÉNÉES

AUTEURS : ARMAND GAUVIN, VINCI CONSTRUCTION FRANCE, DIRECTEUR TRAVAUX, CHANTIERS MODERNES CONSTRUCTION -  
HOUSSINE ZEDIRH, CHEF DE PROJETS, BET ISC, VINCI CONSTRUCTION FRANCE - MARIELLE PRUVOST, MAÎTRE D'ŒUVRE, RATP-INFRASTRUCTURES

AVEC UN TISSU URBAIN QUI NE CESSE DE SE DENSIFIER, LA MOBILITÉ EST UN ENJEU QUI OCCUPE UNE PLACE CENTRALE DANS LA STRATÉGIE D'AMÉNAGEMENT DE L'ESPACE. AMÉNAGER DES STATIONS EXISTANTES AFIN D'ACCUEILLIR PLUS DE VOYAGEURS ET D'AMÉLIORER LEUR CONFORT EST AUJOURD'HUI UNE NÉCESSITÉ. LES PROJETS DU PROLONGEMENT DE LA LIGNE 11 DU MÉTRO PARISIEN VERS L'EST DE LA CAPITALE ET DE RÉAMÉNAGEMENT DE LA STATION PYRÉNÉES (XX<sup>e</sup> ARRONDISSEMENT) S'INSCRIVENT DANS CETTE OPTIQUE.

VUE D'ENSEMBLE DU PROJET DANS SON CONTEXTE (AXONOMÉTRIE)



2  
© RATP

## CONTEXTE DU PROJET

Comportant actuellement 13 stations reliant Châtelet, au centre de Paris, à Mairie-des-Lilas en Seine-Saint-Denis, la Ligne 11 est en cours de prolongement dans sa partie Est jusqu'à la station Rosny-Bois-Perrier pour absorber un nombre croissant d'usagers. Cette extension permettra également d'établir une connexion entre le réseau

2- Vue d'ensemble du projet dans son contexte (axonométrie).

2- General view of the project in its environment (axonometry).

historique du métro parisien et le nouveau réseau actuellement en construction du Grand Paris Express (connexion en gare de Rosny-Bois-Perrier avec la future Ligne 15 - ligne circulaire de 75 km autour de Paris).

L'augmentation de la fréquentation induite par ce prolongement entraîne une adaptation dans l'exploitation même de la Ligne 11 du métro qui verra

ses rames passer de 4 à 5 voitures. Cet allongement des rames requiert d'adapter les infrastructures existantes pour garantir le respect des obligations de sécurité liées à la gestion des flux de voyageurs.

La mise aux normes impérative représente aussi, pour la RATP, une opportunité d'améliorer "l'expérience voyageur" en ajoutant et modernisant des accès, ▷



mais aussi en les mécanisant lorsque les conditions le permettent.

Les travaux d'adaptation des stations existantes diffèrent en fonction de la configuration de chaque site. Pour la station Pyrénées, datant de 1935, ils consistent (figure 2) à créer des accès supplémentaires et des linéaires de galeries souterraines, mais également à remplacer un escalier fixe par un escalier mécanique.

La réalisation de ce projet a été confiée au groupement mené par Chantiers Modernes Construction, filiale de Vinci Construction France, associé aux entreprises Franki Fondation et Sefi-Intrafor pour les fondations profondes et confortements de terrain.

Les études de structures du génie civil, de l'excavation et du soutènement des puits et galeries sont assurées par le bureau d'études Isc (Ingénierie des Structures et des Chantiers), BET de la direction opérationnelle Travaux Publics Île-de-France de Vinci Construction France.

Les études des fondations profondes du puits principal sont conduites par le bureau d'étude interne de Franki Fondation.

#### ADAPTATION NE RIME PAS AVEC INTERRUPTION

L'enjeu principal des travaux d'adaptation de la station Pyrénées était le maintien de l'exploitation de la station ainsi que la minimisation des impacts des travaux vis-à-vis de la circulation urbaine en surface et des riverains. Ainsi la réalisation des ouvrages s'est effectuée avec une très faible emprise au sol pour le chantier (9 m x 70 m - figure 3) mais nécessitant tout de même l'interruption de la circulation routière dans un sens, pendant la durée des travaux, eu égard à l'étroitesse de l'avenue Simon-Bolivar sur laquelle est implanté le puits d'accès principal du projet. Ce dernier sert de point d'entrée et de sortie unique pour les approvisionnements comme pour les évacuations de déblais.

Cette emprise chantier extrêmement réduite a d'ailleurs constitué un des principaux défis du chantier conduisant l'équipe projet à planifier quotidiennement l'organisation et la gestion des livraisons, le stockage des matériaux et des terres excavées.

Le puits principal étant positionné quasiment dans l'axe de la voirie (figure 2), un platelage lourd provisoire métallique a été mis en place sur une partie de sa superficie afin de restaurer une largeur circulaire suffisante sur la chaussée



3 © CMC

(figure 3). Cette disposition a eu pour conséquence de réduire l'espace disponible en surface pour la réalisation des travaux (terrassement, flux de matériel et matériaux).

Afin de vérifier que les travaux n'altéraient pas l'intégrité des ouvrages avoisinants, à savoir les immeubles et leurs sous-sols - le plus proche n'étant situé qu'à 1,4 m du bord des fouilles -, des opérations d'auscultation de structure ont été menées en permanence pour prévenir tout désordre lors des creusements, en particulier liés à des tassements. Les éventuels mouvements ont

**3- Vue illustrant l'emprise réduite et le platelage provisoire (à gauche) de couverture du puits principal.**

**4- Vue en plan du puits principal.**

**3- View illustrating the small available land and the temporary decking (on the left) covering the main shaft.**

**4- Plan view of main shaft.**

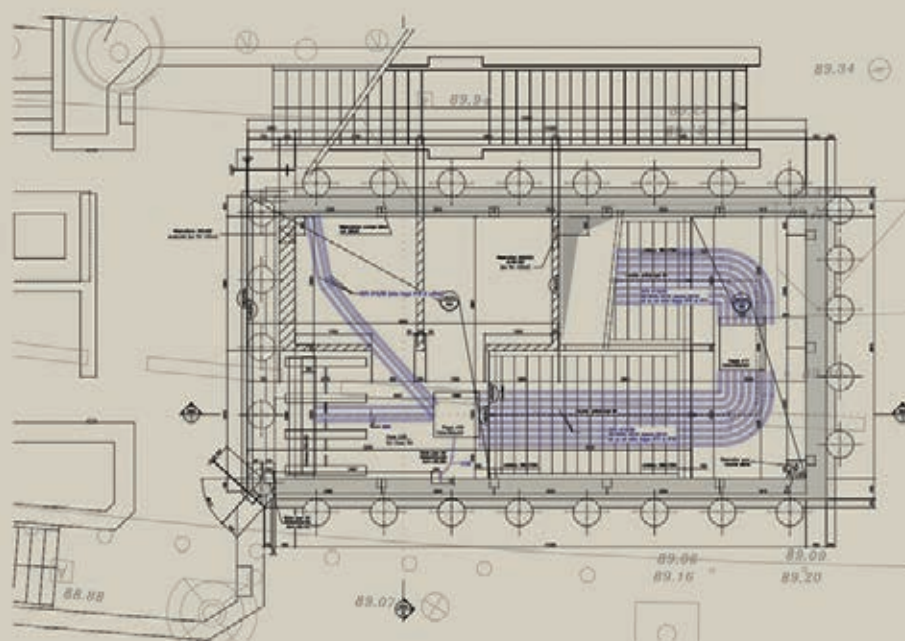
été monitorés par auscultations automatiques et permanentes, générant des alertes aux différents seuils définis par la RATP.

Par ailleurs, des sonomètres et des caméras ont été installés autour des emprises de chantier afin de maîtriser les nuisances pouvant affecter les riverains.

#### UNE LUTÉCIENNE À LA FOIS PROVISOIRE ET DÉFINITIVE

La création des accès supplémentaires de la station Pyrénées a commencé par le passage à travers deux puits d'accès

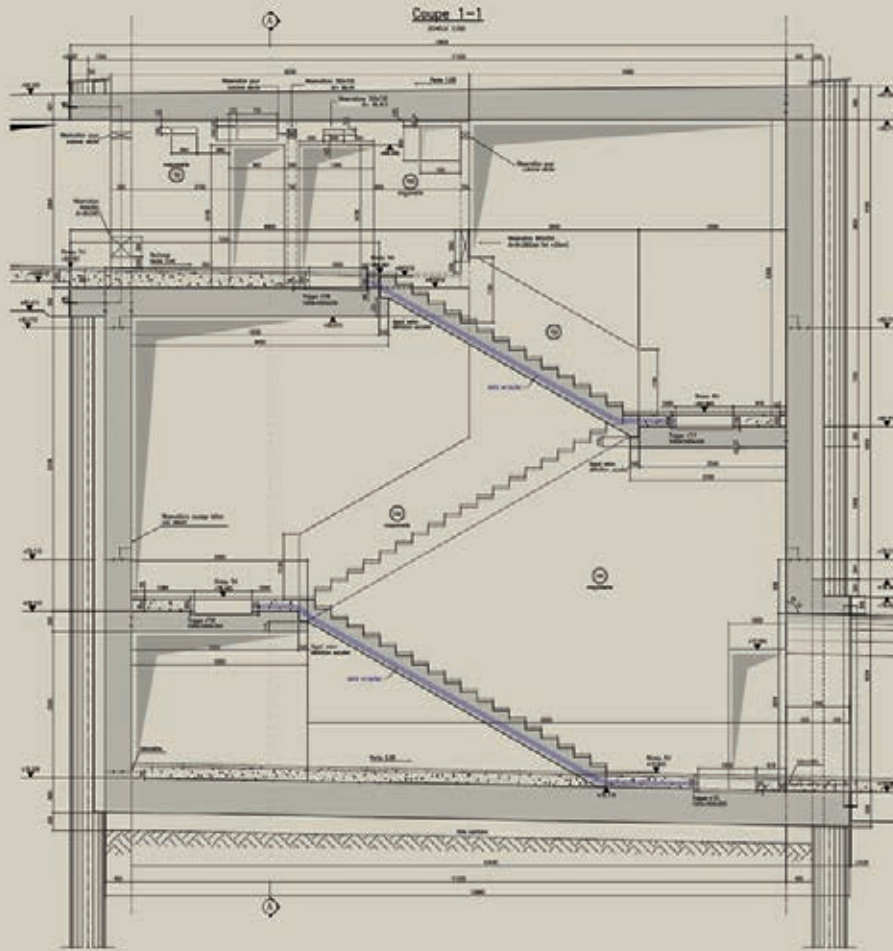
VUE EN PLAN DU PUITS PRINCIPAL



4 © ISC



## COUPE LONGITUDINALE DU PUITTS PRINCIPAL



**5- Coupe longitudinale du puits principal.**

**6- Vue du puits principal avec ses bracons métalliques provisoires depuis le fond de fouille.**

**7- Terrassement et soutènement des puits d'accès au puits principal.**

**5- Longitudinal section of main shaft.**

**6- View of the main shaft with its temporary steel braces, from bottom of excavation.**

**7- Earthworks and supporting structure for the access shafts to the main shaft.**

qui relie la surface au puits principal enterré et à l'intérieur duquel des escaliers permettent d'atteindre les niveaux souterrains (figure 2).

Le puits principal est une boîte rectangulaire sous la voirie de 13 m de longueur par 7 m de largeur et de 13 m de profondeur (figures 4 et 5).

Cette boîte est construite à l'abri d'une paroi lutécienne coiffée par une paroi berlinoise sur les 2 premiers mètres depuis la surface. Cette dichotomie s'explique par le fait que la dalle de couverture du puits se situe à cette jonction, à 2 m de profondeur. Le soutènement de la paroi lutécienne est constitué d'un rideau de pieux de 0,6 m de diamètre et espacés de 1,5 m. Un voile en béton d'une épaisseur de 20 cm ayant comme fonction de soutenir la terre entre les pieux est projeté pour ramener les efforts de poussée à ces derniers.

Les voiles de revêtement définitif ont une épaisseur de 45 cm. Cette dimension rend la boîte creuse relativement souple - étant donné les portées et l'intensité des efforts de poussée -, ce qui a nécessité l'utilisation des pieux provisoires de la paroi lutécienne comme structure de renfort définitive. Les deux structures ont été solidarisées par des barres de scellement sur les 13 m de profondeur du puits.

La réalisation du revêtement définitif s'est effectuée au fur et à mesure du creusement pour les voiles définitifs, avec des passes consécutives de 4 m de profondeur.

© ISC

5



6

© CMC



7

© CMC



Cette contrainte, imposée par les données géotechniques, visait à limiter les déplacements et donc les éventuels tassements associés pour protéger l'intégrité des structures existantes avoisinantes.

Néanmoins, cette alternance entre phase de creusement et phase de bétonnage a nécessité une remobilisation de moyens spécifiques tous les 4 m, complexifiant ainsi les travaux (diminution des cadences par rapport à un fonctionnement non alterné).

Les paliers de retournement entre les volées d'escaliers permettent de butonner la boîte en phase définitive. Cependant, pour maintenir des conditions d'approvisionnement suffisantes pour les travaux des galeries, ils n'ont pu être réalisés qu'en fin de chantier. Des bracons en profilés métalliques ont ainsi été installés en phase provisoire au fur et à mesure du creusement du puits pour garantir la stabilité de l'ouvrage (figure 6). Ces butons ont été disposés directement sur le revêtement définitif une fois la passe en cours réalisée.

Les puits d'accès, quant à eux, ont été réalisés à l'abri d'un soutènement en puits blindés creusés par la méthode traditionnelle. Étant donné le contexte urbain dense et la faible emprise de chantier, la réalisation de ces puits blindés a dû se faire en deux temps avec la mise en place d'une circulation alternée en surface.

Les deux phases de construction ont permis la réalisation de deux escaliers d'accès menant à la salle des billets (figures 2 et 7).



8

© CMC



9

© CMC

### GALERIES SOUTERRAINES : LA TERRE POUSSE PLUS FORT

Le puits principal débouche sur un réseau de galeries souterraines creusées par méthode traditionnelle.

Une galerie, dite principale (figure 8), d'une longueur de 50 m connecte le puits à deux galeries, dites secondaires (figure 9), d'une longueur de 20 et 50 m et longeant la station (figures 2 et 10). Les galeries secondaires Châtelet et Mairie-des-Lilas débouchent chacune sur les quais de la station. Les galeries secondaires comportent également des locaux techniques de 9 m<sup>2</sup> de surface.

Des joints de dilatation sont prévus pour dissocier le fonctionnement des galeries avec la station.

Les galeries principales et secondaires ont été soutenues par des cintres lourds et du béton projeté fibré.

Les galeries principales et les tronçons moins profonds des galeries secondaires ont été creusés en pleine section. Tandis que les tronçons les plus profonds et les plus grands des galeries secondaires étaient creusés en section divisée : d'abord la partie supérieure

**8- Galerie principale (terrassement et soutènement réalisé - en attente de la résiliation du génie civil).**

**9- Galerie secondaire (escalier) avec son revêtement définitif.**

**10- Vue d'ensemble des galeries (principale et secondaires) avec le soutènement.**

**8- Main gallery (earthworks and supporting structure completed - pending execution of civil works).**

**9- Secondary gallery (stairway) with its permanent lining.**

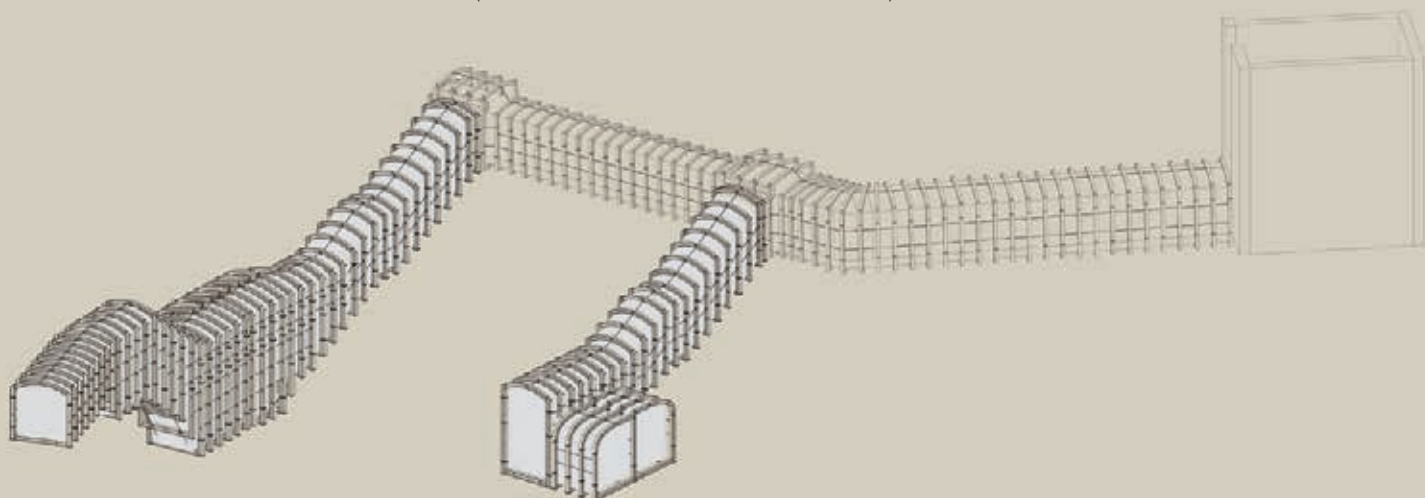
**10- General view of the galleries (main and secondary) with supporting structure.**

puis la partie inférieure (figure 11). Le choix de la section divisée s'est imposé lorsque les contraintes géométriques de terrassement (hauteur de front de taille) n'étaient plus compatibles avec les engins utilisables dans le contexte du projet (voir plus loin). L'enjeu géotechnique majeur du creusement de ces galeries était la traversée d'un horizon de sol à fort potentiel gonflant. En effet, les Marnes d'Argenteuil, que l'on retrouve au niveau des galeries, présentent cette caractéristique particulière de gonflement générant une poussée latérale d'une valeur de 300 kPa en moyenne.

Cette forte poussée a dû être reprise en phase provisoire de travaux par le soutènement, avec notamment la mise en place d'un contre-cintre de radier, ainsi qu'en phase définitive par le revêtement béton armé.

Du fait qu'elle constitue l'accès unique vers les galeries secondaires (notamment pour l'approvisionnement en soutènement et l'évacuation des déblais d'excavation), la galerie principale et ses faibles dimensions transversales (2 m de largeur par 2,75 m de hauteur

## VUE D'ENSEMBLE DES GALERIES (PRINCIPALE ET SECONDAIRES) AVEC LE SOUTÈNEMENT







11

© RATP



12

© CMC

pour une longueur de 50 m) ont eu un impact conséquent sur le planning. Les méthodes d'exécution ont ainsi mené à l'utilisation de mini-engins de terrassement capables de manœuvrer dans les faibles sections (figure 11). La dureté extrême du Calcaire Gros-sier rencontré a par ailleurs largement affecté les cadences du fait de la puissance limitée de ces engins.

Un important système de ventilation double flux a été mis en place afin d'évacuer l'air chargé en particules de poussière et d'apporter l'air pur nécessaire aux compagnons affectés aux postes les plus profonds. Le soutènement a, quant à lui, été constitué de pièces de petites dimensions nécessitant un plus grand nombre d'assemblages à réaliser dans un milieu restreint par rapport à une configuration plus classique.

Les débouchés des galeries secondaires (figure 12) sur les deux quais de la station existante en exploitation ont fait l'objet d'un phasage minutieux et d'une exécution millimétrée pour ne

**11- Section divisée de galerie avec la partie supérieure réalisée et la partie inférieure en cours de terrassement/soutènement.**

**12- Pénétration dans la station existante avec soutènement de la voûte de la station au niveau de son piedroit d'appui.**

**11- Partial-face of gallery with the upper part completed and the lower part undergoing earthworks/supporting structure.**

**12- Penetration into the existing station with supporting structure of the station roof at the level of its supporting column.**

créer aucun désordre sur la voûte de la station. En l'absence d'emprise côté quai (environ 1 m de profondeur), les pénétrations ont été attaquées depuis l'extérieur avec la pose d'un soutènement lourd de la voûte existante de la station, à l'avancement de sa démolition. La géométrie du soutènement a dû s'adapter à celle de l'existant telle que découverte in situ car elle peut différer des plans théoriques de récolement de la station réalisée il y a 85 ans...

#### DU MOUVEMENT DANS L'ESCALIER FIXE

Dans une issue existante, située rue des Pyrénées, l'ancien escalier fixe a été remplacé par un escalier mécanique pour améliorer le confort des usagers (figure 1). Ses dimensions plus importantes que celles d'un escalier fixe (une plus grande épaisseur, une inclinaison

plus faible générant une sur-longueur, la nécessité d'une fosse en pied) ont conduit à agrandir la section de génie civil existante. Pour ce faire, la sortie actuelle a été entièrement détruite pour en reconstruire une nouvelle.

Le nouvel ouvrage fait 15 m de longueur, 3 m de largeur et 5 m de profondeur. De forme rectangulaire en plan, il a été réalisé à l'abri d'un puit creusé à ciel ouvert par méthode conventionnelle. Une fois le génie civil terminé, la partie de l'ouvrage ayant une dalle de couverture a été remblayée.

Cette structure donnant accès à la station existante est dissociée de celle-ci par un joint de dilatation.

Certaines adaptations des ouvrages de soutènement et de revêtement ont dû être pensées après la découverte de canalisations existantes empiétant sur les ouvrages à réaliser. □

## PRINCIPAUX INTERVENANTS

**MAÎTRE D'OUVRAGE :** RATP (Régie Autonome des Transports Parisiens)

**MAÎTRE D'ŒUVRE :** RATP (Régie Autonome des Transports Parisiens)

**ENTREPRISES GÉNIE CIVIL :** Chantiers Modernes Construction (mandataire) / Franki Fondation / Sefi Intrafor

**BET STRUCTURE :** Isc (Vinci Construction France) / BET de Franki Fondation

## PRINCIPALES QUANTITÉS

**COÛT TOTAL DE L'OPÉRATION :** 9,8 millions d'euros

**DURÉE TOTALE DU CHANTIER :** 36 mois (2018-2021)

**DIMENSIONS EN PLAN DU PUIT PRINCIPAL :** 13 m x 7 m

**PROFONDEUR DES OUVRAGES :** 6 m à 22 m

**LINÉAIRE DE GALERIES SOUTERRAINES :** 150 m

**QUANTITÉ DE TERRASSEMENT/DÉMOLITION :** 5 200 m<sup>3</sup>

**QUANTITÉ DE BÉTON DE STRUCTURE :** 1 700 m<sup>3</sup>

**QUANTITÉ DE BÉTON PROJETÉ :** 1 600 m<sup>3</sup>

**QUANTITÉ D'ARMATURES :** 222 t

**QUANTITÉ DE SOUTÈNEMENT MÉTALLIQUE :** 252 t

## ABSTRACT

### METRO LINE 11 - ADDITIONAL ENTRANCES AND EXITS FOR PYRENEES STATION

ARMAND GAUVIN, CHANTIERS MODERNES CONSTRUCTION, VINCI CONSTRUCTION FRANCE - HOUSSINE ZEDIRH, BET ISC, VINCI CONSTRUCTION FRANCE - MARIELLE PRUVOST, RATP-INFRASTRUCTURES

**It is in a fairly dense urban environment with little available land for the works that the new entrances and exits of Pyrénées station are being constructed. These entrances/exits will be commissioned in 2022 after 36 months of works (end of civil works in 2021). They will make it possible to receive more users while ensuring greater user comfort and safety. □**

### METRO LÍNEA 11 - ACCESOS ADICIONALES A LA ESTACIÓN DE PYRÉNÉES

ARMAND GAUVIN, CHANTIERS MODERNES CONSTRUCTION, VINCI CONSTRUCTION FRANCE - HOUSSINE ZEDIRH, BET ISC, VINCI CONSTRUCTION FRANCE - MARIELLE PRUVOST, RATP-INFRASTRUCTURES

**Los nuevos accesos de la estación de Pyrénées se han realizado en un contexto urbano bastante denso, con escaso espacio disponible para las obras. Estos accesos entrarán en servicio en 2022 al término de 36 meses de obras (final de la ingeniería civil en 2021) y permitirán acoger a más usuarios, garantizando a la vez más confort y seguridad. □**





1  
© YVES CHANOIT

# LIGNE 15 SUD DU GRAND PARIS EXPRESS - LE RAMEAU DE L'OAP12

AUTEURS : VICTOIRE HUBERT, INGÉNIEURE TRAVAUX, BOUYGUES TRAVAUX PUBLICS - AURÉLIE GILLET, INGÉNIEURE TRAVAUX, SOLETANCHE BACHY FRANCE - IBRAHIM ASRI, INGÉNIEUR TRAVAUX, SOLETANCHE BACHY FRANCE - BENOÎT GIRARD, INGÉNIEUR GÉOTECHNIQUE, BOUYGUES TRAVAUX PUBLICS

LES PROJETS DU GRAND PARIS EXPRESS RÉSERVENT QUELQUES DÉFIS TECHNIQUES DONT LE RAMEAU DE L'OUVRAGE OAP12 FAIT PARTIE. RÉALISER UN RAMEAU DE 55 m<sup>2</sup> DE SECTION EXCAVÉE, DE 44 m DE LONG, DANS LES CRAIES ALTÉRÉES SOUS 30 m DE COUVERTURE ET 26 m DE CHARGE D'EAU EN VOÛTE, LE TOUT EN BORD DE SEINE, N'EST PAS CHOSE AISÉE. CET ARTICLE DÉCRIT LES TRAVAUX ENTREPRIS POUR MENER À BIEN CET OUVRAGE DANS UN CONTEXTE OÙ SA CONNEXION AVEC LE TUNNEL DU PROJET ÉTAIT NÉCESSAIRE POUR ASSURER L'ACCÈS POMPIER EN PHASE DE CREUSEMENT AU TUNNELIER.

## CONTEXTE GÉNÉRAL

L'ouvrage OAP12 se situe sur le lot T3A de la Ligne 15 Sud du Grand Paris Express, le long de la Seine, sur la commune de Boulogne-Billancourt (92) (figure 2).

Il s'agit d'un ouvrage annexe qui assure, en phase service, les fonctionnalités suivantes :

- Accès pompiers.
- Ventilation/désenfumage du tunnel.

→ Épuisement : fosse de relevage des eaux d'infiltration du puits, de la structure faiblement enterrée et des eaux de pluie des grilles en surface.

→ Poste de redressement double du tunnel.

Cet ouvrage permet, en phase travaux, de garantir une issue de secours, notamment lors de la phase de creusement du tunnelier, puisqu'un accès tous les 2000 m doit être respecté.

1- Vue aérienne du site de l'OAP12.

1- Aerial view of the site of OAP12.

La connexion entre le tunnel principal et la surface au niveau de l'ouvrage OAP12, s'est avérée être sur le chemin critique de l'avancement du tunnelier.

L'ouvrage se compose :

- 1- D'un puits circulaire de 9,8 m de diamètre intérieur, réalisé en paroi moulée, excentré par rapport au tracé du tunnel. Ce puits a été réalisé et terrassé en 2015-2016 dans le cadre du marché SGP du puits d'essai de Boulogne (*Travaux* n°924).
- 2- De structures de subsurface et de surface abritant les locaux techniques et l'usine de ventilation du tunnel.



3- Et d'un unique rameau de 44 m de longueur assurant la liaison avec le tunnel de la L15 Sud et les fonctions combinées décrites précédemment. En zone courante, les dimensions à l'extrados génie civil du rameau sont de 8,15 m de largeur et 6,85 m de hauteur. Au raccordement avec le tunnel, la section est élargie à 10,8 m de largeur et 9,5 m de hauteur. En clé de voûte, la couverture de terrain naturel est d'environ 30 m, pour une charge d'eau de 26 m (figure 3).

### CONTEXTE GÉOLOGIQUE ET HYDROGÉOLOGIQUE

L'ouvrage se situe dans la plaine alluviale de la Seine où, sous une épaisseur de remblais anthropiques, se trouvent les alluvions modernes (AM - dépôts argilo-sableux), puis anciennes (AA -

dépôts érosifs sablo-graveleux) reposant sur la craie Campanienne. La partie superficielle de cette craie présente un front d'altération d'épaisseur variable, ici environ 15 à 20 m ; au-delà de ce front d'altération se trouve la craie saine (Cs) correspondant au rocher non altéré. L'analyse des données pressiométriques a permis de diviser ce front d'altération de la craie en 2 sous-parties :

- Craie altérée dite Ca1 :  $pl^* < 1,5 \text{ MPa}$  et  $Em < 20 \text{ MPa}$ .
- Craie altérée dite Ca2 :  $1,5 \text{ MPa} < pl^* < 4 \text{ MPa}$  et  $20 \text{ MPa} < Em < 100 \text{ MPa}$ .

La stratigraphie alors proposée est tabulaire et prévoit un creusement du rameau dans la craie altérée Ca2 sur les deux tiers supérieurs et dans la Cs dans le tiers inférieur du rameau (figure 4). Les sondages carottés, réalisés depuis la surface, mais aussi depuis le fond de puits, en horizontal, sur le linéaire du rameau, ont permis d'affiner la connaissance du massif de craie et de proposer une classification selon la méthodologie décrite dans le guide du CIRIA (Construction Industry Research and Information Association) "Engineering in Chalk" : ▷

2- Localisation de l'ouvrage OAP12 - T3A L15 Sud.

2- Location of structure OAP12 - T3A L15 South.

## LOCALISATION DE L'OUVRAGE OAP12 - T3A L15 SUD





→ Le faciès d'altération Ca1 apparaît alors comme une craie très altérée, sans structure rocheuse et où des fragments de craie se trouvent pris dans une matrice de craie broyée pâteuse, appelée gangue (figure 5). Certains blocs, voire bancs, de craie rocheuse peuvent y être retrouvés, mais restent minoritaires. Ce faciès au comportement de sol présente un état globalement décomprimé.

→ Le faciès Ca2 se présente comme un état de craie intermédiaire entre le niveau très altéré Ca1 et le faciès de craie rocheuse saine (Cs). On y retrouve une alternance de fragments de craie agencés en bancs plus ou moins continus avec des niveaux plus altérés à gangue (figure 6). Sur les blocs de craie, des traces d'oxydations sont fréquemment identifiées, témoignant de la circulation de la nappe à travers cette formation.

→ Le faciès Cs, quant à lui, apparaît comme une roche de craie saine, marquée par une stratification sub-horizontale et une fissuration plus ou moins intense (figure 7). Localement, le massif rocheux est impacté par des failles dégradant alors la craie en fragments, voire en cas extrême, en gangue. Ces passages de faille n'ont été retrouvés dans la craie saine que très ponctuellement et sur de faibles épaisseurs (infra métriques).

Concernant l'aspect hydraulique, l'ouvrage OAP12 se trouvant dans la vallée de la Seine, il est impacté par la nappe des alluvions de la Seine qui se confond avec la nappe de la craie. Le niveau EB (Eaux Basses) s'établit à +26,50 NGF, conduisant à une charge d'eau en voûte du rameau d'environ 2,6 bars. Les craies Ca2, composées de fragments de craie et dont l'ensemble est relativement décomprimé, présentent

des perméabilités élevées avec une légère anisotropie :  $3 \cdot 10^{-4}$  m/s en vertical à  $10^{-3}$  m/s en horizontal. La craie saine Cs, massive, rocheuse et compacte, présente des perméabilités faibles, de l'ordre de  $10^{-6}$  m/s, voire moins, rendant la Cs, hors zone de faille, quasiment étanche. Compte tenu du contexte dans lequel le rameau devait être réalisé, une campagne de traitement de terrain préalable aux travaux de creusement a été menée afin :

→ En section courante : d'abaisser la perméabilité des craies altérées à  $10^{-6}$  m/s et d'homogénéiser les pressions limites à 1,5 MPa ou plus.

→ En section de raccordement : d'augmenter la résistance au cisaillement des craies altérées à un Rc équivalent à 1,4 MPa et d'abaisser la perméabilité à  $10^{-6}$  m/s.

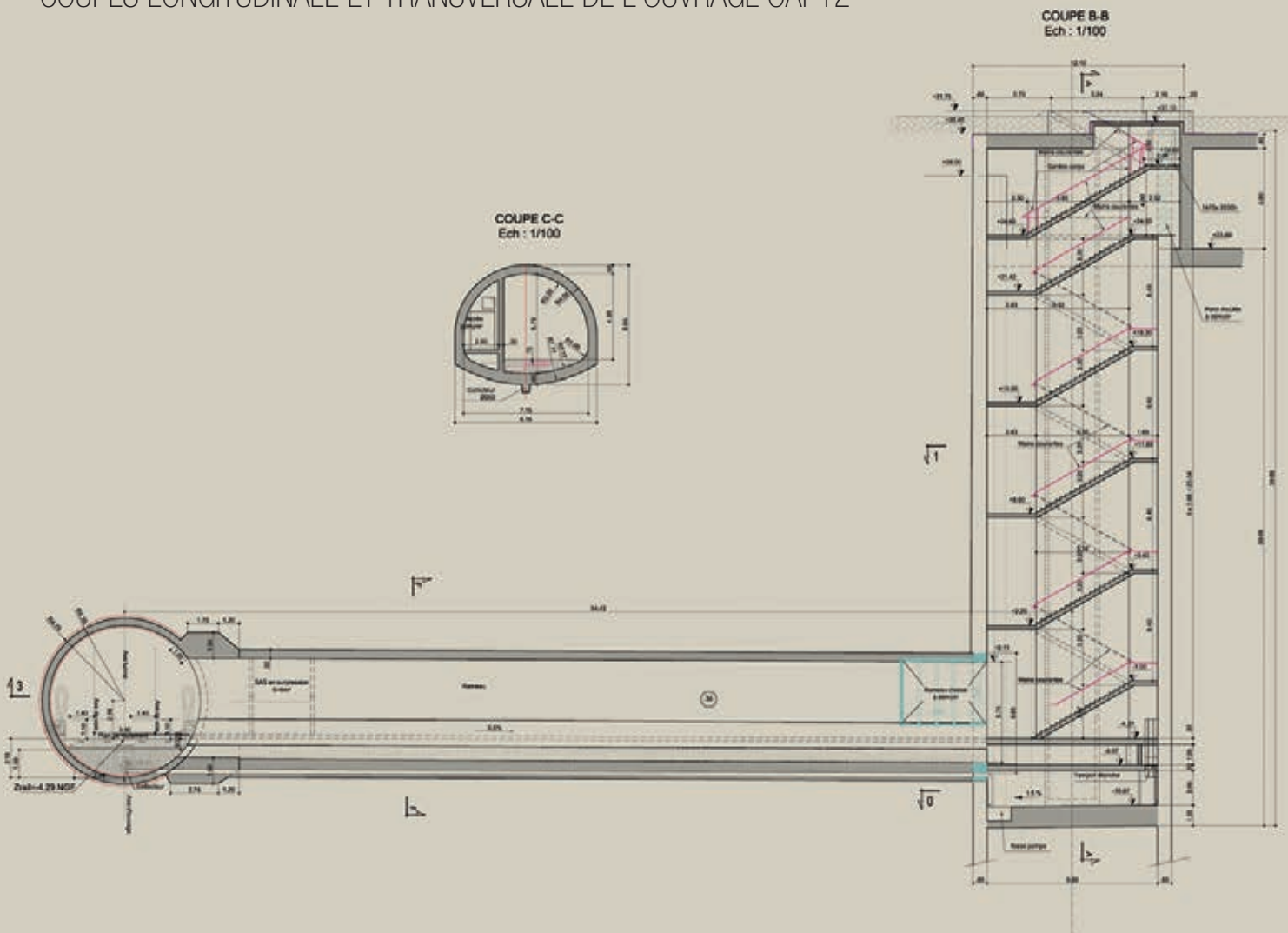
### MÉTHODOLOGIE TRAVAUX DE TRAITEMENT DE TERRAIN PHASE DE TRAITEMENT PAR INJECTION

L'objectif de ce traitement était d'abaisser la perméabilité en grand du massif injecté à  $10^{-6}$  m/s ou moins et d'obtenir des pressions limites dans les terrains injectés supérieures à 1,5 MPa. Compte tenu de la forte charge d'eau au droit du futur creusement et de la sensibilité de l'ouvrage, les épaisseurs d'injection ont été calées à 4,5 m dans les

#### 3- Coupes longitudinale et transversale de l'ouvrage OAP12.

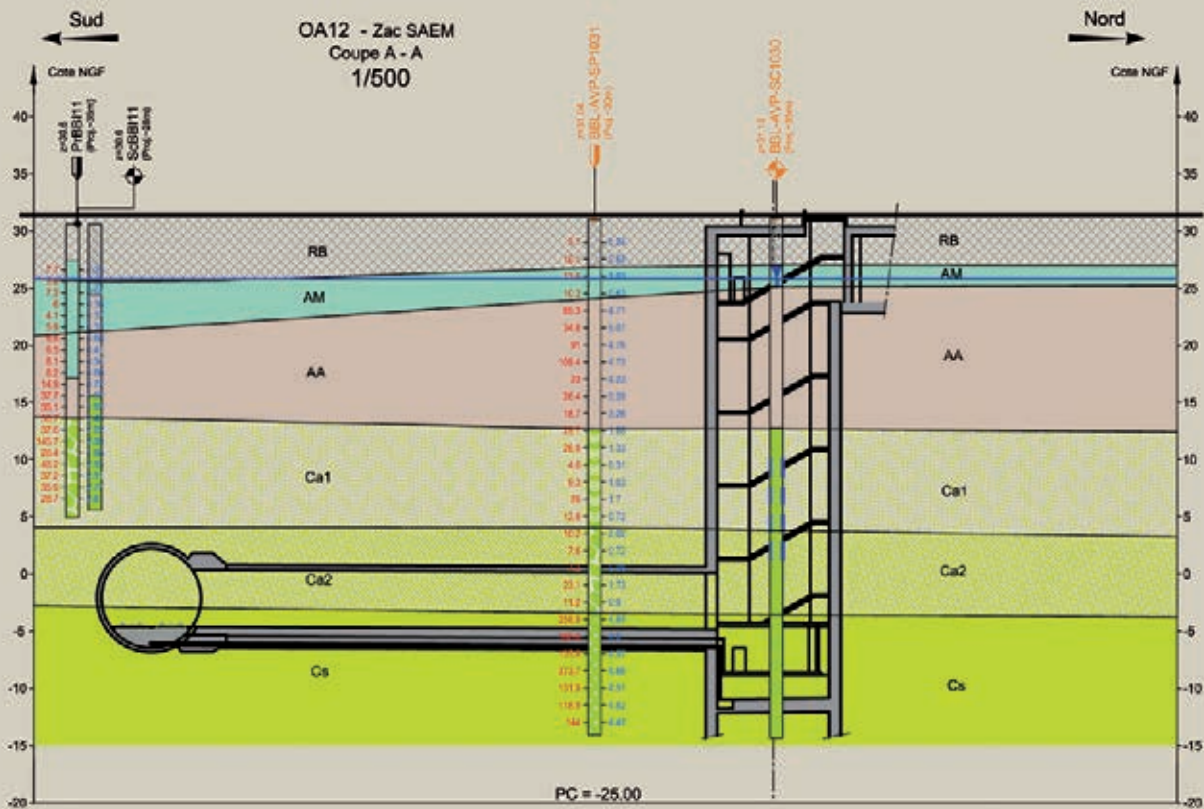
#### 3- Longitudinal and transverse sections of the OAP12 structure.

## COUPES LONGITUDINALE ET TRANSVERSALE DE L'OUVRAGE OAP12





## COUPE GÉOLOGIQUE LE LONG DU RAMEAU OAP12



© SGP  
4

craies altérées et 3 m dans les craies saines, afin de limiter les gradients hydrauliques théoriques dans l'anneau injecté à respectivement 7 et 10.

Le front du rameau a été injecté à cœur en extrémité à l'interface avec le tunnel et à mi-longueur permettant de cloisonner le rameau en deux zones (figure 8). Compte tenu de la variabilité du degré d'altération de la craie au droit du futur rameau et de la sensibilité de l'ouvrage à réaliser, le choix de la méthodologie d'injection s'est porté vers :

- Un maillage dense de forages.
- Une méthodologie d'Injection Répétitive et Sélective (IRS) par tubes à manchettes.
- La mise en œuvre de deux suspensions cimentaires stabilisées de deux types différents :
  - un coulis de type bentonite ciment pour traiter la porosité/fissuration grossière ;
  - un coulis de mouture plus fine pour traiter la porosité/fissuration plus fine.

### LA PHASE FORAGE

Les forages ont été réalisés depuis deux emprises réduites conduisant

### 4- Coupe géologique le long du rameau OAP12.

#### 4- Geological section along connecting gallery OAP12.

à organiser les forages en auréoles s'épanouissant avec la profondeur. La maille dans les craies Cs était d'environ un forage pour 2 m<sup>2</sup>. Elle était d'environ un forage pour 1,5 m<sup>2</sup> dans les craies altérées Ca1.

Le volume de terrain à traiter représentait près de 10000 m<sup>3</sup>. Près de 500 forages d'environ 40 m de longueur moyenne ont été nécessaires pour couvrir le massif à injecter.

Les forages ont été exécutés au moyen de foreuses équipées de la tête Hi'Drill®, à la couronne ouverte. Cette technologie a été sélectionnée, car elle permet une bonne maîtrise des déviations au forage, ainsi que l'équipement des tubes à manchettes à l'abri du tubage, sans risquer l'éboulement du forage. Après récolement, une large majorité des forages présentait des dévia-

tions inférieures à 1° en extrémité. Là où cela a été jugé nécessaire, des forages additionnels ont pu être réalisés.

### LA PHASE D'INJECTION

Les injections se sont déroulées en deux phases successives :

- Une phase d'injection des forages primaires (un forage sur deux) au coulis bentonite-ciment fluidifié de viscosité 30 à 35 s et de Rc supérieure à 3 MPa à 28 jours.
- Une phase d'injection des forages secondaires (le reliquat des forages) au coulis à base de ciment ultrafin ( $d_{95} < 10 \mu\text{m}$ ) stabilisé présentant une viscosité de 28 à 32 s et des Rc supérieures à 3 MPa à 28 jours.

Les pompes d'injection étaient pilotées en débit et pression par le système Spice®. Ce système de régulation permet, en temps réel, d'ajuster le débit et la pression d'injection aux mesures faites à la pompe. Il permet ainsi d'éviter les pics de pression lors de l'injection offrant une plus grande maîtrise de la pression d'injection. À l'issue de l'injection des forages primaires, les taux d'incorporation obser-

vés variaient, en moyenne à l'échelle du rameau, de 25% en voûte à 2% en radier. Ces moyennes masquent néanmoins des hétérogénéités locales assimilables aux hétérogénéités du massif à l'état initial et qui ont permis d'esquisser notamment une interface estimée entre les craies saines et altérées.

À l'issue de l'injection des forages secondaires, les taux d'incorporation observés variaient, quant à eux, d'environ 10% en voûte à 1% en radier, contribuant ainsi à parfaire le traitement réalisé par les primaires.

L'écart entre les taux d'incorporation observés sur primaires et secondaires s'explique, d'une part par la densité du maillage, mais aussi probablement par la bonne adéquation entre le coulis bentonite ciment fluidifié utilisé sur les forages primaires et l'état/la nature des craies à injecter.

Au final, 1600 m<sup>3</sup> de coulis de ciment ont été injectés.

### LA PHASE DE RÉCEPTION

Cette phase a consisté en la mesure de la perméabilité et des pressions limites dans le massif injecté au moyen :



- D'essais d'eau ponctuels (Lugeon et Lefranc) : la valeur cible de perméabilité de  $10^{-6}$  m/s était globalement atteinte.
- D'essai en grand : avant le percement de la paroi moulée, des sondages carottés ont été réalisés pour qualifier l'état des craies après injection. Ces sondages carottés ont été utilisés pour évaluer la perméabilité en grand du massif injecté à environ  $10^{-7}$  m/s.
- Des essais pressiométriques : les valeurs de pression limite mesurées dans le massif injecté étaient nettement supérieures aux 1,5 MPa cible, y compris dans les craies Ca1 et Ca2.

### PHASE DE CONFORTEMENT PAR JET GROUTING

Les travaux de jet grouting ont été réalisés alors que les travaux de creusement avaient déjà commencé à l'autre extrémité du rameau.

Au droit du raccordement avec le tunnel, l'objectif des travaux de jet grouting était d'obtenir un massif de terrain traité de résistance Rc de 1,4 MPa et de perméabilité  $10^{-6}$  m/s ou inférieure.

Un plot d'essai préalable a été réalisé en jet double standard et en jet simple



5

plus afin d'estimer la corrélation entre l'énergie de jetting et le diamètre des dites colonnes au droit de la jonction avec le tunnel. Les diamètres obtenus sur les colonnes d'essai ont été estimés par la méthode géophysique Cyljet®. Compte tenu de la profondeur à laquelle les colonnes devaient être réalisées (près de 35 m) et, afin de minimiser les déviations au forage, un préforage a été réalisé jusqu'en tête de colonne avec la technologie Hi'Drill®.

Le plot d'essai a permis de préciser :

- La bonne maîtrise des déviations au forage : les déviations mesurées étaient inférieures à  $0,65^\circ$  en pied de préforage.
- La bonne maîtrise des remontées de spoils en surface grâce au tubage des terrains de couverture.

→ Une corrélation entre énergie de jetting et diamètre de colonnes dans les craies altérées injectées.

→ Le dosage en ciment du coulis pour obtenir le Rc cible.

→ Et le besoin de stabiliser le coulis de ciment avec de la bentonite afin d'obtenir un mélange coulis/terrain stable.

Sur la base des résultats du plot d'essai, le jet double standard a finalement été retenu dans l'objectif de réaliser un massif de 192 colonnes composé de (figure 9) :

- Colonnes de 1,4 m de diamètre à l'extrados de la voûte avec un maillage centre à centre de 0,9 m.
- Colonnes de 1,2 m de diamètre sur la voûte et les piédroits avec un maillage centre à centre de 0,9 m.

→ Colonnes de 1,1 m de diamètre à l'intrados avec un maillage centre à centre de 1 m.

### PHASE DE PRÉFORAGE

Compte tenu des emprises réduites disponibles en surface, ces forages étaient inclinés entre  $4$  et  $10^\circ$  par rapport à la verticale et azimutés. Un dispositif gyroscopique a été utilisé sur chantier afin de contrôler la mise en station de la foreuse dans chaque configuration.

Avant le lancement de la phase de jetting, le récolement des préforages a permis de confirmer que les déviations en pied de préforages étaient inférieures à  $1^\circ$ . Il a aussi permis de choisir le phasage de réalisation des colonnes les unes par rapport aux

5- Échantillon de craie très altéré (type Ca1 - classée Dm en CIRIA).

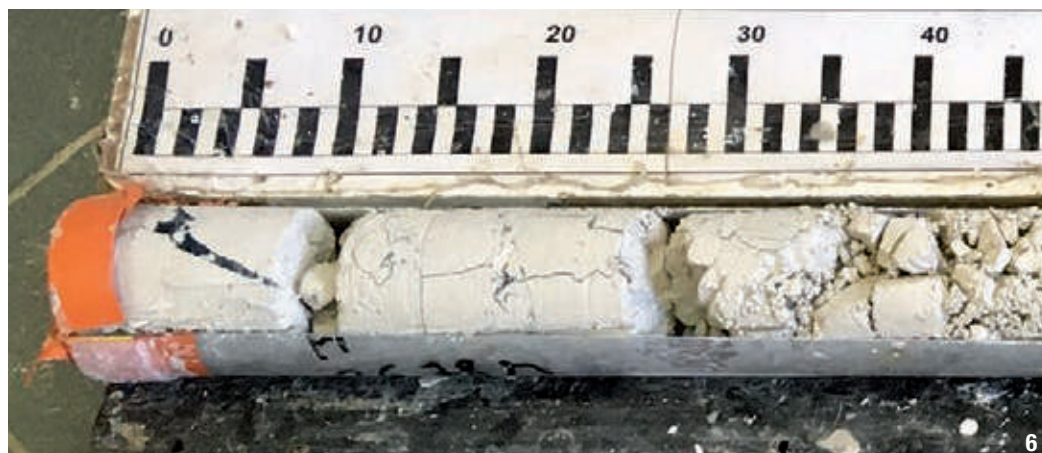
6- Carotte de craie altérée de type Ca2 (échantillon de craie fragmentée classé C3 à Dc au sens du CIRIA).

7- Carotte de craie rocheuse saine, type Cs (échantillon de craie classé B3 au sens du CIRIA).

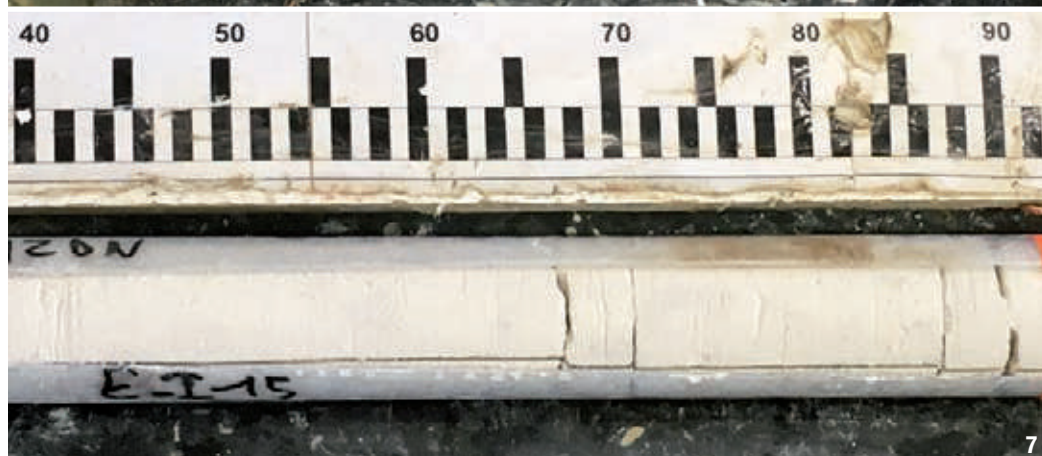
5- Sample of highly weathered chalk (type Ca1 - classified Dm in CIRIA).

6- Core sample of type Ca2 weathered chalk (fragmented chalk sample classified C3 to Dc in accordance with CIRIA).

7- Core sample of healthy rocky chalk, type Cs (chalk sample classified B3 in accordance with CIRIA).



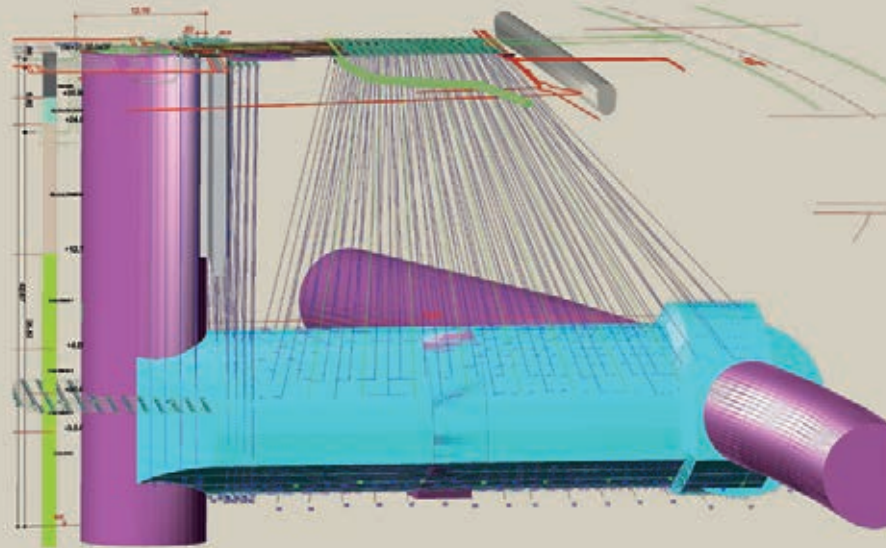
6



7



VUE EN 3D DU MASSIF D'INJECTION (BLEU CYAN)  
DU RAMEAU DE VENTILATION,  
(les puits et tunnels sont représentés en magenta)



8- Vue en 3D du massif d'injection (bleu cyan) du rameau de ventilation, (les puits et tunnels sont représentés en magenta).

9- Vue en coupe du massif de jet grouting avec variation de paramètre selon le diamètre visé.

8- 3D view of the cement grouting mass (cyan blue) of the ventilation connecting gallery (the shafts and tunnels are shown in magenta).

9- Cross-section view of the jet grouting mass with change of parameters according to the targeted diameter.

© HORIZON

8

autres en privilégiant le "fresh-in-fresh" afin de limiter le risque d'effet masque d'une colonne sur l'autre.

**PHASE DE JETTING**

Dans un second temps, les 192 colonnes ont été réalisées. La réalisation du plot d'essai préalable et la systématisation des préforages sur la hauteur des terrains de couverture ont permis une exécution du massif de jet sans aléa notable.

Le massif représente un total de plus de 4200 m de préforages, de près de

1700 m de colonnes de jet grouting avec une hauteur moyenne de colonne de 8,8 m pour une énergie de jetting moyenne d'environ 130 MJ/m.

**PHASE DE RÉCEPTION**

Le massif a été réceptionné via :

→ Des essais Rc sur échantillons de spoils de jet et sur échantillons issus de carottage. Les valeurs obtenues étaient supérieures aux 1,4 MPa cibles à 28 jours.

→ Et des drains réalisés depuis la petite galerie du rameau. Les débits

collectés ont confirmé l'obtention d'une perméabilité en grand inférieure au  $10^{-6}$  m/s cible.

**MÉTHODOLOGIE TRAVAUX TRADITIONNELS**

L'excavation du rameau a été réalisée en méthode traditionnelle en deux phases :

→ Le creusement d'une petite section au centre du rameau définitif de 4,4 m de hauteur et de largeur excavées.

→ Puis son réalésage pour obtenir le rameau définitif de 7 m de hauteur et

8,5 m de largeur excavées en section courante.

**TRAVAUX PRÉALABLES DE DÉCOUPE DE LA PAROI MOULÉE**

Avant le démarrage des travaux d'excavation, la paroi moulée du puits est découpée selon la forme de l'ouverture. Les découpes périphériques sont réalisées à l'aide de la méthode du sciage au câble. La paroi moulée étant contre terre, les câbles la découpent à l'aide de poulies de renvoi à travers des carottages aux extrémités des découpes. Une fois la paroi moulée découpée, celle-ci est démolie à l'aide d'une pelle et d'un BRH.

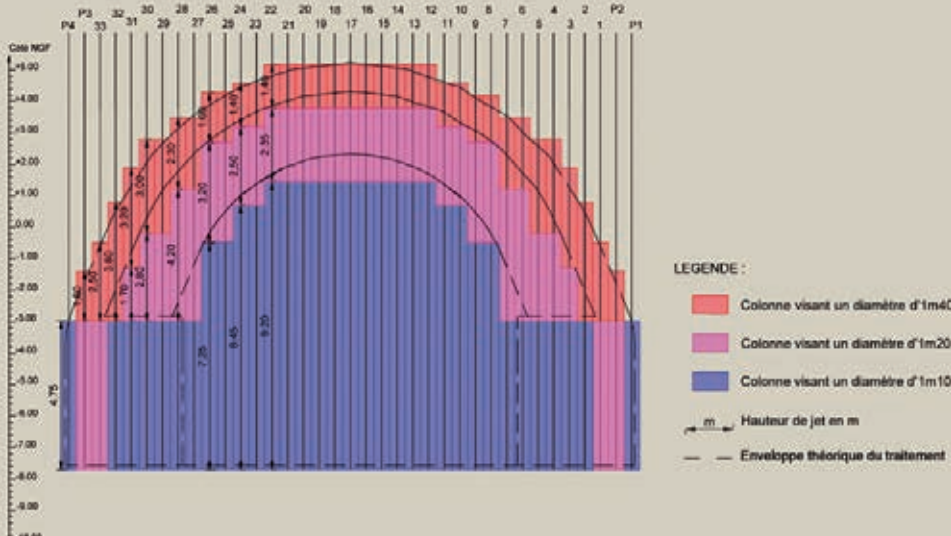
**CREUSEMENT DE LA GALERIE PETITE SECTION**

Le creusement du rameau de petite section a été réalisé en méthode traditionnelle avec un pas d'avancement de 1,5 m.

L'excavation d'un pas est réalisée à l'aide d'une pelle mécanique sur chenille équipée d'une fraise ou d'un BRH en fonction du terrain rencontré.

Une fois la passe excavée, le soutènement est mis en place. Il est constitué de cintres HEB 160 et de béton projeté fibré. Des boulons de front en fibre de verre sont également mis en place à l'avancement pour assurer le maintien du front. Il s'agit de boulons trilames de 15 m renouvelés tous les 10 m avec une densité au front de 0,6 boulons/m<sup>2</sup>.

VUE EN COUPE DU MASSIF DE JET GROUTING  
avec variation de paramètre selon le diamètre visé



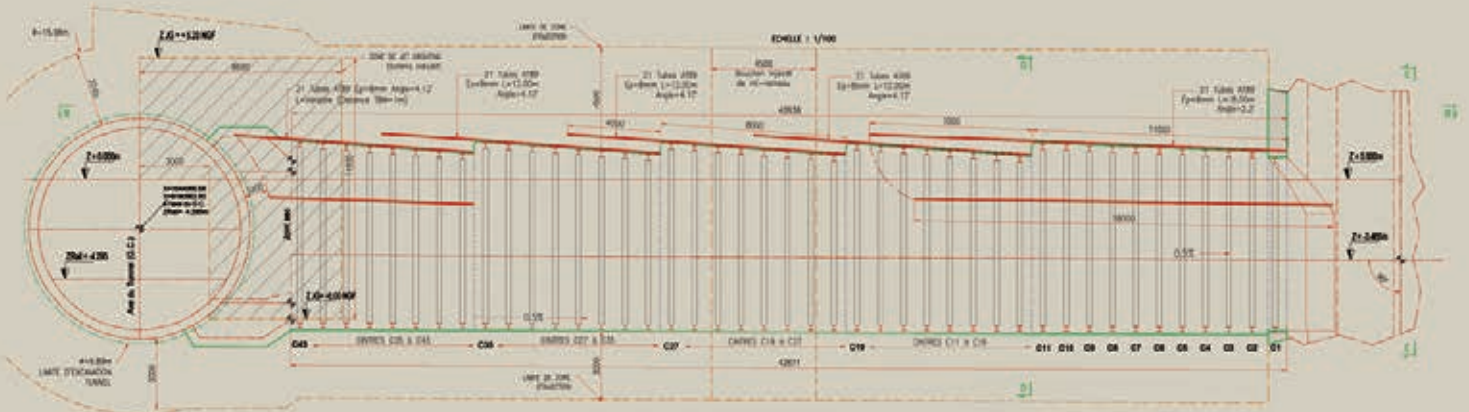
© HORIZON

9



## COUPES LONGITUDINALE ET TRANSVERSALE DES SECTIONS DE CREUSEMENT

Élévation du rameau OA P12



10- Coupes longitudinale et transversale des sections de creusement.

10- Tunnel driving longitudinal and transverse sections.

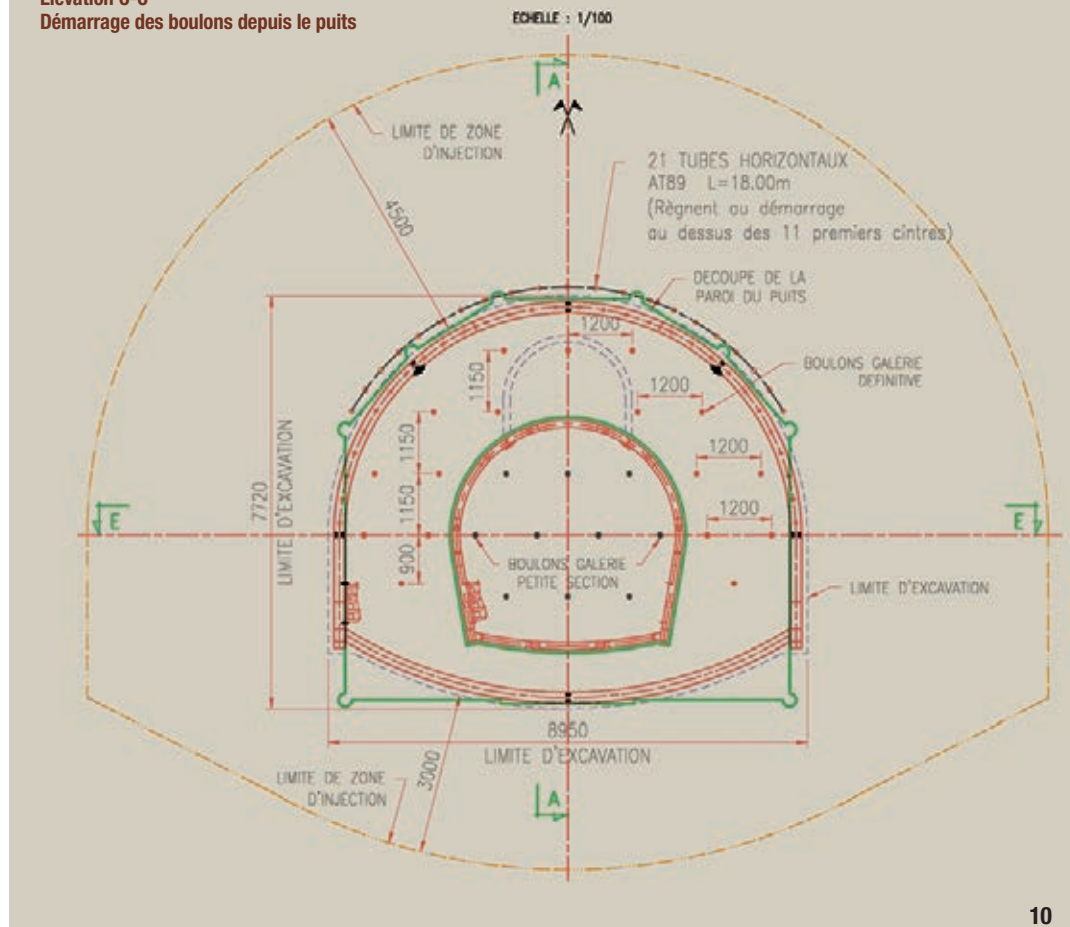
### RÉALÉPAGE À LA SECTION DÉFINITIVE

Le creusement de la section définitive est réalisé sous voûtes parapluies. Cinq voûtes parapluie divergentes sont réalisées sur la longueur du rameau. Elles sont constituées de tubes pétroliers de diamètre 89 mm remplis de coulis de ciment. Afin de permettre le renouvellement de ces voûtes divergentes, les cintres de soutènement sont de dimensions variables. Cela permet d'élargir la galerie afin de rendre possible la formation des tubes de voûtes parapluies. Le creusement conventionnel est réalisé avec un pas d'avancement de 1 m. Le soutènement est constitué de cintres HEB 220 et de béton projeté fibré. Les cintres de la petite section sont déposés à l'avancement. Des boulons de front sont également mis en œuvre. Il s'agit, là aussi, de boulons trilames de 15 m renouvelés tous les 10 m avec une densité au front de 0,6 boulons/m<sup>2</sup> (figure 10).

### RÉALISATION DU RACCORDEMENT TUNNEL/RAMEAU

Pour la réalisation du cadre au niveau de la connexion tunnel/rameau, s'ajoute au contexte hydrogéologique complexe une contrainte géométrique : la hauteur d'excavation de la zone de raccordement est de 9,5 m, alors que le

Élévation C-C  
Démarrage des boulons depuis le puits



10

© HORIZON

diamètre intérieur du tunnel foré est de 8,7 m. Ainsi, des dispositions constructives particulières ont été prises pour cette zone sensible en plus du traitement des terrains en jet grouting :

- Renforcement intérieur du tunnel à l'aide d'un cintrage de 6 HEM 400 et d'une poutre en béton armé.
- Phasage de la connexion différent de la section courante.

Cette zone est en effet excavée en section divisée : la partie supérieure est terrassée et soutenue, puis le génie civil

du cadre supérieur est réalisé, avant de reprendre le terrassement de la partie inférieure, et enfin le revêtement de celle-ci.

### PHASAGE TRAVAUX ET TUNNEL

La réalisation de ce rameau est particulièrement liée à l'avancement et aux contraintes du tunnelier.

Le creusement de la petite section, puis son réalésage, ont d'abord été réalisés jusqu'à 10 m du plot de jet grouting (figure 11), alors qu'il était en cours

d'exécution. Une fois celui-ci terminé, le creusement de la petite section, puis son réalésage, ont repris jusqu'à 8,5 m du tunnel en attendant le passage du tunnelier. Une fois le tunnelier passé, le rameau petite section a été excavé jusqu'aux voussoirs. Une ouverture dans les voussoirs et un double sas ont été réalisés afin de garantir un accès pompier au tunnel. En effet, le rameau OAP12 constitue un des accès de secours au tunnel en phase travaux. Afin de ne pas arrêter le tunnelier,





© YVES CHANOT  
11

ce sas devait donc être opérationnel avant que le tunnelier n'atteigne son puits de démarrage + 2000 m. L'OAP12 garantit une issue de secours jusqu'à ce que le tunnelier arrive à la gare d'Issy-les-Moulineaux et qu'un autre accès pompier soit alors réalisé. Pendant ce temps, les travaux d'excavation du rameau sont suspendus et les travaux de revêtement définitifs de la section courante sont réalisés. À la date de rédaction de cet article, les travaux de réalésage de la section courante sont achevés et la réalisation de la structure génie civil permanente du rameau est en cours. Le creusement de la section élargie à la jonction avec le tunnel est prévu dans la continuité.

**11- Vue du creusement.**

**11- View of tunnel driving.**

### SUivi des auscultations

Dans ce contexte géologique sensible, il a été décidé de mettre en place un plan d'instrumentation au-delà des simples relevés de convergence et contrôles de débits courants. Ceci afin de mieux appréhender le comportement des craies altérées injectées. Ces instruments ont permis le suivi et l'analyse :

- De la déformation du terrain :
  - au front afin de vérifier la convergence du terrain, grâce à des extrusomètres ;
  - des terrains sus-jacents au creusement, grâce à des extensomètres en forage.
- De la déformation et des efforts dans les soutènements via :
  - des contrôles topographiques de convergence sur cintres ;
  - des jauges de contrainte posées dans les cintres ;
  - des cellules de pression totale

posées en sandwich dans le béton projeté.

- Des caractéristiques hydrauliques du massif :
  - permettant d'appréhender le gradient hydraulique dans l'auréole injectée par la mise en place de cellules de pression interstitielle dans la craie à différents niveaux en voûte ;
  - permettant d'appréhender la perméabilité globale du massif par des contrôles de débits d'exhaure.

L'analyse des mesures collectées depuis le démarrage des travaux de creusement indique une très bonne réponse du terrain, avec notamment des déformations du terrain et des contraintes dans les soutènements compatibles avec les valeurs déterminées par le calcul.

De plus, l'observation des débits collectés lors des travaux de creusement confirme que la perméabilité en grand du massif injecté est d'un ordre de grandeur plus faible que ce que montraient les mesures ponctuelles, témoignant d'un traitement efficace des craies altérées par les injections. □

### PRINCIPALES QUANTITÉS

**INJECTION** : 20000 m de forage, 1600 m<sup>3</sup> de coulis injectés dans les craies

**JET GROUTING** : 192 colonnes de jet Ø 1,1 à 1,4 m, hauteur moyenne 8,8 m.

**CINTRE** : 38 cintres pour la petite section et 45 cintres pour la grande section, soit 137 t d'acier.

**BÉTON PROJETÉ** : 1000 m<sup>3</sup>

**DÉBLAIS** : 3000 m<sup>3</sup>

### PRINCIPAUX INTERVENANTS

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

**ENTREPRISES DE GÉNIE CIVIL** : groupement Horizon composé de : Bouygues Travaux Publics Régions France (mandataire), Soletanche Bachy France, Bessac, Soletanche Bachy Tunnels

**MAÎTRE D'OEUVRE** : groupement Setec tpi (mandataire) - Ingerop (co-traitant) - Geos (sous-traitant géotechnique) - Agence Duthilleul (architecte PDS et Passerelle) - Brunet Saunier Architecture (architecte ISS)

**AMO** : Artemis (Artelia - Arcadis - Bg)

**AUSCULTATION** : Solexpert et Cementys.

**RECONNAISSANCES GÉOTECHNIQUES** : Technosol / Erg / Unisol

### ABSTRACT

#### LINE 15 SOUTH OF THE 'GRAND PARIS EXPRESS' METRO PROJECT - THE OAP12 CONNECTING GALLERY

V. HUBERT, BOUYGUES TRAVAUX PUBLICS - A. GILLET, SOLETANCHE BACHY FRANCE - I. ASRI, SOLETANCHE BACHY FRANCE - B. GIRARD, BOUYGUES TRAVAUX PUBLICS

The connecting gallery of accessory structure OAP12 is executed as part of the T3A project for Line 15 South of the Grand Paris Express. This gallery, 44 m long and more than 55 m<sup>2</sup> in cross section excavated on a standard section, is situated under 30 metres of overburden and 26 metres of water head on the roof, in the weathered chalks on the edge of the Seine. In order to provide security for the conventional tunnel driving work, ground treatment by injection and jet grouting was performed before drilling the diaphragm wall of the OAP12 shaft. A first gallery 4.5 metres in diameter was driven, and was then rebored under an umbrella arch. At the connection with the tunnel, partial-face excavation will be performed with heavy reinforcement to prevent tunnel ovalisation. Monitoring measurements and tunnel-face surveys confirm satisfactory works' performance. □

#### LÍNEA 15 SUR DEL GRAND PARIS EXPRESS - EL TRAMO DE LA OAP12

V. HUBERT, BOUYGUES TRAVAUX PUBLICS - A. GILLET, SOLETANCHE BACHY FRANCE - I. ASRI, SOLETANCHE BACHY FRANCE - B. GIRARD, BOUYGUES TRAVAUX PUBLICS

El tramo de la obra anexa OAP12 se realiza en el marco de proyecto T3A de la Línea 15 Sur del Grand Paris Express. Este tramo, de 44 m de longitud y 55 m<sup>2</sup> de sección excavada en sección corriente, se sitúa bajo 30 m de cobertura y 26 m de carga de agua en bóveda, en la roca caliza alterada a orillas del Sena. Para proteger las obras de perforación tradicional, se ha aplicado un tratamiento del terreno por inyección y jet grouting previamente a la construcción de la pantalla de hormigón del pozo de la OAP12. Se ha perforado una primera galería de 4,5 m de diámetro, que seguidamente se ha reensanchado bajo la bóveda paraguas. En la conexión con el túnel, la perforación se realizará en sección dividida, con refuerzo pesado para evitar la ovalación del túnel. Las medidas de auscultación y los levantamientos de laterales confirman la buena evolución de las obras. □







# APRÈS L'ÉBOULEMENT UN NOUVEAU TUNNEL DANS LES GORGES DE L'ARLY

AUTEURS : CORENTIN BLANDIN, INGÉNIEUR D'ÉTUDES, GEOS INGENIEURS CONSEILS - OLMIER PANNOUX, CHEF DE PROJET, GEOS INGENIEURS CONSEILS - STÉPHANE CURTIL, DIRECTEUR GÉNÉRAL, GEOS INGENIEURS CONSEILS - SÉBASTIEN ARNAUD, DIRECTEUR DE PROJET, INGEROP - JEAN-PAUL CART, CHEF DU SERVICE ETUDES ET TRAVAUX, CONSEIL DEPARTEMENTAL DE LA SAVOIE

LE NOUVEAU TUNNEL DES CLIETS PERMETTRA DE ROUVRIR TRÈS PROCHAINEMENT LA RD1212 EN SAVOIE, AXE DE LIAISON MAJEUR ENTRE LES DÉPARTEMENTS DE SAVOIE ET DE HAUTE-SAVOIE. SITUÉ DANS UNE ZONE RÉGULIÈREMENT SOUMISE À DES ÉBOULEMENTS MAJEURS, LE DERNIER EN DATE AYANT CONDAMNÉ L'ANCIEN TUNNEL EN FÉVRIER 2019, CE TUNNEL FAIT PARTIE DU PROGRAMME DE SÉCURISATION DES GORGES DE L'ARLY.



© GEOS INGENIEURS CONSEILS  
2

## LE TUNNEL DES CLIETS

Cet ouvrage est nécessaire pour une réouverture sécurisée de la RD1212.

## LES GORGES DE L'ARLY

Les gorges sont un passage essentiel entre Savoie et Haute-Savoie dans un contexte géologique et géomorphologique délicat.

Le nouveau tunnel des Cliets (figure 1), situé à quelques dizaines de mètres de son prédécesseur, permettra bientôt de relier à nouveau Ugine à Flumet, itinéraire d'importance pour le trafic régional, avec un flux de 5000 véhicules/

**1- Entrée du tunnel depuis la tête aval.**

**2- Vue aérienne du glissement du 9 février 2019.**

**1- Tunnel entrance from the downstream portal.**

**2- Aerial view of the landslide of 9 February 2019.**

jour en moyenne et des pics à 10000 véhicules/jour lors des chassés-croisés hivernaux.

La vallée de l'Arly, située entre les massifs alpins des Aravis et du Beaufortain, s'étend d'Ugine (Savoie) à Megève (Haute-Savoie). Très encaissée, notamment au niveau des Cliets, elle a été dessinée par son torrent aux crues régulièrement intenses en période de fonte des neiges. Les formations géologiques rencontrées dans le secteur des Cliets sont des micaschistes de la série satinée du rameau externe de Belledonne, roches métamorphiques d'origine sédimentaire,

organisées en feuillets, avec comme minéraux principaux le quartz et la séricite (mica blanc). Les gorges de l'Arly, et plus particulièrement la zone des Cliets, présentent un fort risque d'éboulements et de glissements, du fait de la faible résistance au cisaillement des plans de schistosité des micaschistes, avec des événements régulièrement constatés depuis une vingtaine d'années, causant des fermetures fréquentes de la RD1212. La route fait l'objet d'une surveillance étroite du département par suivis topographiques et inclinométriques des zones les plus instables.

## LE GLISSEMENT DE TERRAINS DU 9 FÉVRIER 2019

8000 m<sup>3</sup> de roches déplacées, un tunnel obstrué et une route à repenser. C'est dans ce contexte qu'est survenu, le 9 février 2019, un éboulement de grande ampleur, condamnant l'ancien tunnel longeant l'Arly avec 8000 m<sup>3</sup> dont quelques blocs de volume estimé à plus de 30 m<sup>3</sup> (figure 2). La surveillance mise en œuvre par le Conseil départemental de la Savoie a permis d'anticiper cet événement et la route avait pu être fermée préventivement au préalable. Pour les usagers, cette fermeture forcée a impliqué une déviation par la RD109 passant par le village d'Héry-sur-Ugine. Située sur le versant Nord-Ouest de la vallée, cette route plus étroite et à flanc de versant rallonge significativement les temps de parcours et elle est interdite à la circulation des poids-lourds de plus de 19 t ou de plus de 15 m de long, sauf desserte locale. Un nouveau tracé de route a dû être envisagé. ▶



## UN TUNNEL SOUS LA ZONE DE GLISSEMENT

### LA SOLUTION TECHNIQUE GLOBALE

À la suite de cet éboulement, le Conseil départemental de la Savoie a mandaté le groupement de maîtrise d'œuvre Ingerop (mandataire) - Geos Ingénieurs Conseils - Antea Group pour étudier un projet de tunnel de 240 m passant sous la zone de glissement, au sein des micaschistes sains.

L'implantation de la tête aval de ce nouveau tunnel a nécessité la construction d'un nouveau pont pour assurer l'entrée dans le massif rocheux et une sécurisation des falaises formant un versant abrupt d'un dénivelé atteignant 120 m au-dessus de l'Arly.

Le département a par ailleurs programmé simultanément des travaux importants de sécurisation sur 7 secteurs avec des solutions actives et passives réparties sur plusieurs kilomètres (ancrages, poses de nouveaux filets, réhabilitation de gabions...) et de remise en état de 26 murs et 5 ponts sur d'autres secteurs des gorges.

### LA CONCEPTION DU TUNNEL ET DE SES TÊTES

Le tracé du tunnel a été dessiné de manière à relier le nouveau pont aval au pont des Essariaux en amont avec une pente moyenne ascendante de 4% et une courbe de rayon minimal de 140 m. L'ensemble du tunnel se situe sous une couverture rocheuse allant de 10 à 30 m de rocher au niveau des têtes et de 30 à 90 m en section courante. Le tunnel a un linéaire total de 236 m et une section d'excavation d'environ 70 m<sup>2</sup>. La hauteur en voûte maximale est de 6,7 m et la largeur maximale en pied est de 8,9 m.

Compte tenu des caractéristiques des terrains, il a été retenu une excavation principalement par méthode traditionnelle à l'explosif et par machine à attaque ponctuelle au niveau des têtes où les terrains étaient plus altérés. Cette altération des terrains plus marquée au niveau des têtes amont et aval a conduit à prévoir un soutènement par voûtes parapluies constituées de tubes pétroliers associées à des cintres HEB 180 pour sécuriser les premiers mètres de l'excavation.

Pour anticiper des différences d'altération et de fracturation du rocher le long du linéaire du tunnel, quatre profils de soutènement différents ont été étudiés : trois profils boulonnés et un profil cintré. Le profil cintré est constitué de cintres HEB 180 mis en œuvre tous les mètres



3 © GEOS INGÉNIEURS CONSEILS

3- Contrefort en béton armé mis en œuvre en tête amont.

4- Vue de la tête aval après travaux de sécurisation.

5- Travaux de sécurisation de la tête amont.

3- Reinforced concrete buttress installed at the upstream portal.

4- View of the downstream portal after work to ensure safety.

5- Work to ensure safety of the upstream portal.



4 © GEOS INGÉNIEURS CONSEILS



5 © GEOS INGÉNIEURS CONSEILS





© GEOS INGÉNIEURS CONSEILS

**6- Nouveau pont enjambant l'Arly.**  
**7- Mise en œuvre des tubes pétroliers de la voûte parapluie aval depuis le nouveau pont enjambant l'Arly.**

**6- New bridge crossing the Arly.**  
**7- Installation of the oil pipes of the umbrella arch downstream of the new bridge crossing the Arly.**

et d'un béton projeté fibré de 18 cm d'épaisseur entre les cintres. Il est destiné aux terrains les plus médiocres. Les profils boulonnés sont constitués de boulons de 3 m de long scellés à la résine et répartis selon un maillage en quinconce variant de 1 m x 1,5 m pour le rocher moyen à 2 m x 3 m pour le bon rocher. Une épaisseur de béton projeté fibré de 15 cm est prévue (5 cm de béton projeté fibré polypropylène avant exécution des boulons pour assurer la sécurité des équipes et la fermeture immédiate des terrains, puis 10 cm de béton de confinement supplémentaire).

À l'issue des études de conception, et compte tenu d'une connaissance limitée de l'état du massif rocheux, il avait été provisionné la mise en œuvre de



© GEOS INGÉNIEURS CONSEILS

profils cintrés sur 100 m (au niveau des têtes de tunnel et à l'aplomb de la zone de glissement) et de profils boulonnés sur 140 m.

La tête amont a nécessité des études et des travaux très importants liés à la géomorphologie du site et aux contraintes structurales du massif rocheux. Celle-ci a été implantée selon le tracé du tunnel, lui-même calé en fonction de la position du pont existant franchissant l'Arly. Le tympan amont est ainsi biais par rapport au versant avec une disposition des premiers cintres partiellement sous le rocher et partiellement à l'air libre. Des contreforts ont ainsi été prévus pour reprendre la dissymétrie des charges sur cette section (bracons et remplissage en béton armé) (figure 3).

### **RÉALISATION DES TRAVAUX PRÉPARATION DES FRONTS DE TAILLE**

Les travaux ont commencé par la sécurisation de la falaise aval pour permettre les terrassements rocheux du front de taille en toute sécurité (figure 4).

Les mêmes travaux ont été réalisés en tête amont simultanément à ceux de creusement du tunnel (figure 5).

Les travaux de terrassement des tympan et des falaises ont consisté en des tirs d'abattage afin d'adapter la géométrie des versants au projet et de purger les principales masses instables. À l'issue de ces tirs, des purges manuelles et un confortement par ancrages et grillages ont été réalisés au droit des dernières zones à risque. ▷



À la tête amont du tunnel, les travaux se sont avérés très délicats en conditions hivernales : démarrés en décembre 2019, les terrassements et confortements rocheux de la falaise, haute de 75 m, ont duré 14 mois au lieu des 6 prévus initialement en raison des aléas géologiques et des conditions météorologiques difficiles. Ils ont conduit à diminuer légèrement la longueur du tunnel par rapport aux études de conception (tunnel de 236 m contre 240 m attendus initialement).

### LE PONT

Une fois le tympan aval terrassé et mis en sécurité, le nouveau pont enjambant l'Arly a été construit (figure 6). D'une longueur de 33 m, celui-ci est de type bipoutre métallique avec un hourdis constitué de dalles préfabriquées. En raison de la géométrie du rocher après excavation en rive gauche (côté tunnel), la culée a dû être réalisée sur une dalle fondée sur micropieux pour asseoir le pont sur le massif.

### LE CREUSEMENT

Le creusement du tunnel s'est déroulé au cœur de l'hiver avec un début d'excavation depuis l'aval à la mi-octobre 2020.

Avant l'entame du creusement, une voûte parapluie côté tête aval a été réalisée afin de conforter le massif dans la zone de faible couverture (figure 7). Cette voûte était constituée de 35 tubes pétroliers de 15 m de long.

Les terrassements ont ensuite débuté au brise-roche hydraulique, mais rapidement, compte tenu de la dureté du rocher, des micro-tirs ont été réalisés sous la voûte parapluie pour améliorer les cadences d'excavation.

Passée la voûte parapluie, l'excavation a été réalisée principalement par tirs à l'explosif, selon des cyclogrammes de 16 à 24h (tableau 1).

Les machines à attaque ponctuelle n'ont été utilisées que pour la traversée de quelques zones faillées.

Les travaux de creusement ont été menés en continu en 3 postes de 8 heures du lundi au samedi, avec une présence permanente des géologues de l'entreprise et du maître d'œuvre pour les levés de front de taille (figure 8).

Le terrain a présenté une géologie relativement constante avec des alternances de micaschistes à majorité tantôt sériciteuse (micas blancs, donnant à la roche un aspect satiné à la teinte gris-acier dans le plan de schistosité,



© GEOS INGÉNIEURS CONSEILS

plissée), tantôt quartzeuse (roche plus résistante au plissement) (figure 9). Des passes graphiteuses ont été également rencontrées ponctuellement notamment au niveau de zones de faille.

Une fois le creusement achevé en partie aval et un dernier tir de bouchon effectué, la foration de la voûte parapluie amont a pu commencer fin février 2021 (figure 10). Cette voûte parapluie amont a pu être optimisée (12 m de longueur avec 26 tubes pétroliers) sur la base du retour d'expérience issu des travaux de tympan de la tête amont. 3 forages ont été réalisés depuis le front d'excavation aval à travers le massif rocheux afin de permettre l'alimentation en air, en eau et en électricité des engins de chantier et des installations électriques de la tête amont.

L'excavation sous cette voûte a été réalisée exclusivement au BRH.

8- Marinage des déblais du tunnel.

8- Mucking of tunnel excavation material.

### LES SOUTÈNEMENTS

Le choix du profil de soutènement à mettre en œuvre était réalisé pour la volée suivante à l'issue de chaque phase de tir, en fonction de l'état de fracturation et d'altération du front de taille sur la base d'un levé contradictoire entre le géologue de l'entreprise et celui du maître d'œuvre (établissement d'une note de type RMR (Rock Mass Rating) qualifiant la qualité globale du rocher selon Bieniawski (1989)).

Le profil cintré n'a été utilisé que sous les voûtes parapluies, aucune zone de faille particulièrement instable n'ayant été rencontrée par ailleurs (figure 11). Le soutènement du tunnel est donc quasi exclusivement constitué de profils boulonnés (4 types de profils au total, un profil boulonné supplémentaire ayant été ajouté en phase travaux).

Les profils de soutènement retenus en fonction de la note RMR attribuée au massif sont présentés sur le tableau 2. La répartition des profils mis en œuvre le long du tunnel est récapitulée dans le tableau 3.

TABLEAU 1 : CYCLOGRAMME D'UNE VOLÉE DE TERRASSEMENT

Phase	Durée indicative de la phase
Foration de la volée	6 à 10 heures
Mise en place du soutènement de la volée précédente	
Chargement de la volée	3 à 5 heures
Tir	-
Ventilation	30 minutes
Marinage et purge	3 à 6 heures
Levés topographiques et géologiques	30 minutes
Béton projeté de confinement de la volée et de soutènement de la volée précédente	3 à 5 heures
Pilotage et traçage du plan de tir suivant	30 minutes

TABLEAU 2 : PROFILS DE SOUTÈNEMENT TYPE MIS EN ŒUVRE LE LONG DU TUNNEL

RMR selon Bieniawski	Soutènement retenu	Description du profil de soutènement	Longueur de volée (m)
Inférieur à 41 (Rocher médiocre à mauvais)	PT3	Cintres HEB 180 disposés tous les 1 m et béton projeté fibré de 18 cm d'épaisseur	1
41 à 50 (Rocher moyen)	PT2	Auréoles de 12 à 13 boulons de 3 m, espacées d'un mètre en quinconce 15 cm de béton projeté	2
51 à 60 (Rocher moyen)	PT1bis	Auréoles de 12 à 13 boulons de 3 m, espacées de 1,5 mètre en quinconce 15 cm de béton projeté	3
Supérieur à 61 et rocher majoritairement sériciteux à schistosité resserrée	PT1 renforcé	Auréoles de 7 à 8 boulons de 3 m, espacées de 1,5 m en quinconce 15 cm de béton projeté	4
Supérieur à 61 avec rocher majoritairement quartzeux, à la fracturation relativement espacée	PT1	Auréoles de 5 à 6 boulons de 3 m, espacées de 2 m en quinconce 15 cm de béton projeté	4





9- Front de taille sous la voûte parapluie aval.

10- Tubes pétroliers de la voûte parapluie amont.

11- Profils de soutènement PT3 mis en œuvre en tête aval.

9- Tunnel face under the downstream umbrella arch.

10- Oil pipes of the upstream umbrella arch.

11- PT3 supporting sections placed at the downstream portal.

Les hors-profil apparus lors de l'excavation ont été comblés par des couches successives de béton projeté tenues par des treillis soudés ancrés.

### L'ÉTANCHÉITÉ

L'étanchéité retenue pour ce projet consiste en un SEPC (Système d'Étanchéité Projetée Confinée). Il s'agit d'une résine liquide appliquée par projection formant une membrane continue après polymérisation. Ce type

d'étanchéité disposant de nombreuses références en Europe est assez peu utilisé en France et le tunnel des Cliets constitue donc une première référence significative. Ce système a été retenu parce qu'il permet des cadences de mise en œuvre importantes, et aussi parce que la projection de l'étanchéité est compatible avec un support constitué d'un béton projeté de soutènement fibré (polypropylène en l'occurrence), en permettant ensuite - une fois une

dureté suffisante atteinte par la membrane - la mise en œuvre d'un revêtement en béton projeté définitif sans recours à d'autres éléments de support ou de coffrage.

Ce système nécessite toutefois une préparation soignée du support permettant d'obtenir une surface "mate, humide, non ruisselante". Il s'agit donc de traiter de façon rigoureuse les venues d'eau rencontrées. Or, après creusement et tarissement des débits de pic, de venues d'eau encore significatives existent sur le tunnel avec un débit total d'exhaure mesuré entre 30 et 70 m³/h à la fin du creusement. Si les venues franches ont pu être canalisées relativement aisément, les venues diffuses de type goutte-à-goutte réparties sur le linéaire ont nécessité

un travail de collecte plus important (figure 12). Sur deux zones intermédiaires correspondant en cumulé à environ 30 % du linéaire, les venues d'eau étant supérieures aux seuils fixés au Plan de Management des Risques, il a été retenu la mise en œuvre d'une membrane DEG comme prévu par le volet "risque" du marché.

### LE REVÊTEMENT

Le revêtement est réalisé par un béton projeté fibré définitif (C30-37 XF3 30-35 kg/m³ de fibres métalliques, classe 2c) de 20 cm d'épaisseur. Ce revêtement est dimensionné selon les prescriptions du Model Code 2010 introduit par la FIB et repris dans les recommandations à paraître du GT6 de l'A "Béton projeté - voie humide" ; ▷

TABLEAU 3 : RÉPARTITION DES PROFILS MIS EN ŒUVRE LE LONG DU TUNNEL

Profil	PT3	PT2	PT1 bis	PT1 renforcé	PT1
Total	30 m	18 m	71 m	70 m	47 m





12

© GEOS INGÉNIEURS CONSEILS

permettant d'exploiter la résistance en traction de ce béton, la classe 2c traduisant une résistance de 2 MPa à la traction après fissuration.

Pour répondre à ces exigences, le programme des études et conventions a été mis au point spécifiquement sur

la base normative existante pour les bétons fibrés coulés, en l'adaptant pour ce béton projeté.

Le programme inclut notamment des essais de flexion 3 points sur des poutres entaillées découpées dans des caisses de béton projeté.

**12- Traitement des venues d'eau : forages de drainage.**

**12- Treatment of water ingress: drainage drill holes.**

### FIN DES TRAVAUX, ÉQUIPEMENTS

Le marché de génie civil se termine en ce mois de juin 2021 afin de permettre une remise en service sécurisée de la RD1212 avant la période estivale. La mise en place des équipements définitifs de ce nouveau tunnel débutera en septembre 2021, pour une durée de 2 mois, avec des travaux de nuit afin de limiter les gênes à la circulation. □

## CHIFFRES CLÉS

### CARACTÉRISTIQUES DU TUNNEL ET DU CREUSEMENT :

- Longueur totale de 236 m
- Volume excavé de 16 000 m<sup>3</sup>
- Gabarit maximum autorisé de 4,6 m de haut
- Pente moyenne entre les deux têtes de 4,25 %
- 71 tirs à l'explosif (charges comprises entre 105 et 382 kg par tir)

### COÛTS ET FINANCEMENTS :

- Montant total du programme Arly : 25 M€ TTC (dont 8 M€ pour les travaux de creusement et de génie civil du tunnel des Cliets)
- À ce jour, le département de la Haute-Savoie participe à hauteur de 2 M€ et l'État apporte 1,6 M€ au titre de la dotation de soutien aux investissements départementaux (DSID)

## PRINCIPAUX INTERVENANTS

**MAÎTRISE D'OUVRAGE :** Conseil départemental de la Savoie

**MAÎTRISE D'ŒUVRE :** Groupement Ingerop (mandataire) / Geos Ingénieurs Conseils / Antea Group

**TRAVAUX DU TUNNEL :** Groupement Campenon Bernard Centre-Est / Dodin Campenon Bernard / Soletanche Bachy Tunnels

**TRAVAUX DE TERRASSEMENTS :** Martoïa TP / Seem / Basso TP

**TRAVAUX DE SÉCURISATIONS ET TERRASSEMENTS DES FRONTS DE TAILLE AVAL ET AMONT :** Citem / Nge

**MISSION G3 :** Sage Ingénierie / Terrasol

## ABSTRACT

### AFTER THE ROCK SLIDE, A NEW TUNNEL IN THE ARLY GORGES

C. BLANDIN, GEOS INGENIEURS CONSEILS - O. PANNOUX, GEOS INGENIEURS CONSEILS - S. CURTIL, GEOS INGENIEURS CONSEILS - S. ARNAUD, INGEROP - J.-P. CART, CONSEIL DEPARTEMENTAL DE LA SAVOIE

On 9 February 2019, an 8,000 m<sup>3</sup> rock slide blocked the Cliets Tunnel in the Savoie region, leading to the closure of county road RD1212, a major road artery between the Savoie and Haute-Savoie departments. The departmental Council therefore urgently commissioned the project management consortium of Ingerop, Geos Ingénieurs Conseils and Antea Group to design and supervise the construction of a new tunnel to restore the road link. This tunnel, 240 metres long, passes through a relatively healthy mica-schist rock mass, under the landslide area. The tunnel driving works were performed from October 2020 to March 2021 in three 8-hour shifts, working six days a week. □

### TRAS EL DESPRENDIMIENTO, UN NUEVO TÚNEL EN LAS GARGANTAS DEL ARLY

C. BLANDIN, GEOS INGENIEURS CONSEILS - O. PANNOUX, GEOS INGENIEURS CONSEILS - S. CURTIL, GEOS INGENIEURS CONSEILS - S. ARNAUD, INGEROP - J.-P. CART, CONSEIL DEPARTEMENTAL DE LA SAVOIE

El 9 de febrero de 2019, un desprendimiento de 8.000 m<sup>3</sup> de tierras bloqueó el túnel de Cliets en Saboya, lo que obligó a cerrar la carretera departamental RD1212, eje básico de conexión entre los departamentos de Saboya y Alta Saboya. El Consejo departamental encargó con urgencia al consorcio de dirección de obras Ingerop (Geos Ingénieurs Conseils - Antea Group) el diseño y la supervisión de la construcción de un nuevo túnel que permitiera restablecer el enlace vial. Este túnel de 240 m de longitud atraviesa un macizo rocoso micaesquistoso relativamente sano, pasando por debajo de la zona de deslizamiento. Las obras de perforación se realizaron entre octubre de 2020 y marzo de 2021 en 3 turnos de 8h, 6 días a la semana. □



PAR NUMÉRO : 15€ AU LIEU DE 25€

**TRAVAUX MARITIMES ET FLUVIAUX**

954

**OUVRAGES D'ART**

955

**TRAVAUX SOUTERRAINS**

956

**SPÉCIAL INNOVATION**

957

**SOLS ET FONDATIONS**

958

**ÉNERGIE**

959

**MAINTENANCE DES INFRASTRUCTURES**

960

**TRAVAUX SOUTERRAINS**

961

**INTERNATIONAL**

962

**TRAVAUX MARITIMES ET FLUVIAUX**

963

**OUVRAGES D'ART**

964

**SOLS ET FONDATIONS**

965

**SPÉCIAL GARES**

966

**ÉNERGIE**

967

**VILLE ET PATRIMOINE**

968

\*Offre valable jusqu'au 31/12/21



### BON DE COMMANDE ■ REVUE TECHNIQUE DES ENTREPRISES DE TRAVAUX PUBLICS

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

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

- |                                |                                |                                |
|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| <input type="checkbox"/> 954 x | <input type="checkbox"/> 959 x | <input type="checkbox"/> 964 x |
| <input type="checkbox"/> 955 x | <input type="checkbox"/> 960 x | <input type="checkbox"/> 965 x |
| <input type="checkbox"/> 956 x | <input type="checkbox"/> 961 x | <input type="checkbox"/> 966 x |
| <input type="checkbox"/> 957 x | <input type="checkbox"/> 962 x | <input type="checkbox"/> 967 x |
| <input type="checkbox"/> 958 x | <input type="checkbox"/> 963 x | <input type="checkbox"/> 968 x |

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

(Pour une commande de plus de 20 numéros le prix passe de 15 € à 13 € l'unité)  
\*Offre valable jusqu'au 31/12/21 et hors frais postaux (exemple pour un numéro : 5,00 € d'envoi France, 10,00 € d'envoi Europe et 12,50 € d'envoi étranger hors Europe). Conformément à la Loi « informatique et des libertés » du 06/01/78, le droit d'accès et de rectification des données concernant les abonnés peut s'exercer auprès du service abonnements. Ces données peuvent être communiquées à des organismes extérieurs. Si vous ne le souhaitez pas, veuillez cocher cette case

**JE VOUS INDIQUE MES COORDONNÉES :**

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

Je joins mon règlement d'un montant de \_\_\_\_\_ € TTC par Chèque à l'ordre de **COM'1 ÉVIDENCE**

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

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

Date, signature et cachet de l'entreprise obligatoire





© DIRECTION PROJET EOLE / SNCF RÉSEAU

# LA GARE DE LA PORTE MAILLOT - UN OUVRAGE SOUTERRAIN ÉVOLUTIF

AUTEURS : DENYS BOUR, DIRECTION TECHNIQUE, BOUYGUES TP - BENOIT BERTRAND, DIRECTION TECHNIQUE, EGIS

LA GARE PORTE-MAILLOT, ENCLAVÉE ENTRE DE NOMBREUX EXISTANTS TRÈS SENSIBLES TELS QUE LA LIGNE 1 DU MÉTRO, LE LIGNE C DU RER ET LE PALAIS DES CONGRÈS DE PARIS, MESURE 220 M DE LONG. ELLE SE COMPOSE D'UNE PARTIE RÉALISÉE À CIEL OUVERT DE 150 m ET D'UNE PARTIE RÉALISÉE EN SOUTERRAIN TRADITIONNEL DE 70 m. LE CONTEXTE GÉNÉRAL DES TRAVAUX A AMENÉ LE MAÎTRE D'ŒUVRE ET LE GROUPEMENT EN CHARGE DES TRAVAUX À FAIRE ÉVOLUER DEUX FOIS EN COURS DE PROJET LA CONCEPTION ET LE PHASAGE DE CETTE PARTIE SOUTERRAINE.

## INTRODUCTION

La gare Porte-Maillot ("GPM" dans la suite) est l'une des trois nouvelles gares du prolongement à l'ouest du RER E. Elle est réalisée par le groupement Bouygues Travaux Publics (mandataire), Eiffage Génie Civil, Eiffage Fondations, Razel-Bec et Sefi-Intrafor dans le cadre du marché de travaux GC-TUN attribué par la maîtrise d'ouvrage (MOA) SNCF Réseau. La maîtrise d'œuvre (MOE) est assurée par le groupement Setec, Egis, Duthilleul (pour le tronçon souterrain du projet EOLE). Ce marché comprend également la réalisation d'un tunnel de 6,1 km de Courbevoie à la gare Hausmann-Saint-Lazare.

GPM, enclavée entre le parking Maillot au nord, la Ligne 1 du métro au sud, le RER C à l'est et le tunnel du Grand Maillot à l'ouest, est, de par sa situation, un ouvrage très particulier : 20 m de large environ pour 225 m de long, à 40 m sous le terrain naturel. 150 m peuvent être réalisés à ciel ouvert entre parois moulées à l'emplacement de l'ancien rond-point de la Porte Maillot. Les 75 m restants à l'est se trouvent sous l'avenue de la Grande-Armée, le RER C et la boucle de retournement de la Ligne 1. Ils doivent être réalisés en souterrain traditionnel. L'environnement est riche en avoisinants sensibles, notamment la boucle de retournement

**1- Réalisation des piédroits après terrassement sur toute la longueur.**

**1- Execution of side walls after earthworks over the entire length.**

en œuvre d'un rabattement de nappe préalable, qui est l'objet du développement ci-après.

## CONTEXTE GÉOLOGIQUE ET RABATTEMENT DE NAPPE

La partie souterraine de la gare Porte-Maillot se trouve dans les Calcaires Grossiers (CG) pour sa partie supérieure et dans les Sables Supérieurs (SS) pour sa partie inférieure. L'interface entre ces deux couches est à environ +13 m NGF, soit le niveau de l'axe du tunnel. Le rabattement de la nappe de l'Yprésien à +5,5 m NGF est impératif pour permettre l'excavation de la demi-section inférieure dans cet horizon (figure 3).

de la Ligne 1, mais également la tranchée couverte du RER C (figure 2). C'est la réalisation de cette partie souterraine de la gare, et surtout son phasage de réalisation intégrant la mise







Le niveau de la nappe se stabilise alors à près de 8 m au-dessus du niveau requis pour la réalisation de la partie inférieure de la gare souterraine qui était prévue plus d'un an plus tard. Dans un premier temps, des puits complémentaires ont été réalisés dans l'enceinte du chantier, mais en prenant en compte les contraintes citées plus haut, les installations de chantier ainsi que leur évolution dans les phases des travaux ultérieures avec les futurs lots tiers, cela ne laissait que peu d'opportunités depuis la surface. Il est apparu que des solutions alternatives devaient être mises au point pour contrôler cet aléa hydrologique et son impact sur la faisabilité du projet et son planning.

### PREMIÈRE REVUE DU PHASAGE

Dans le cadre de la recherche d'optimisations du planning des travaux de la gare souterraine qui était très contraint, le maître d'œuvre et le groupement d'entreprises ont alors analysé les possibilités offertes par la configura-

tion de l'ouvrage à construire, les contraintes de méthodes de réalisation, les interfaces, les enjeux techniques.

L'analyse a convergé vers une solution consistant à réaliser, dans le prolongement de chacune des deux galeries et des escaliers latéraux de la partie

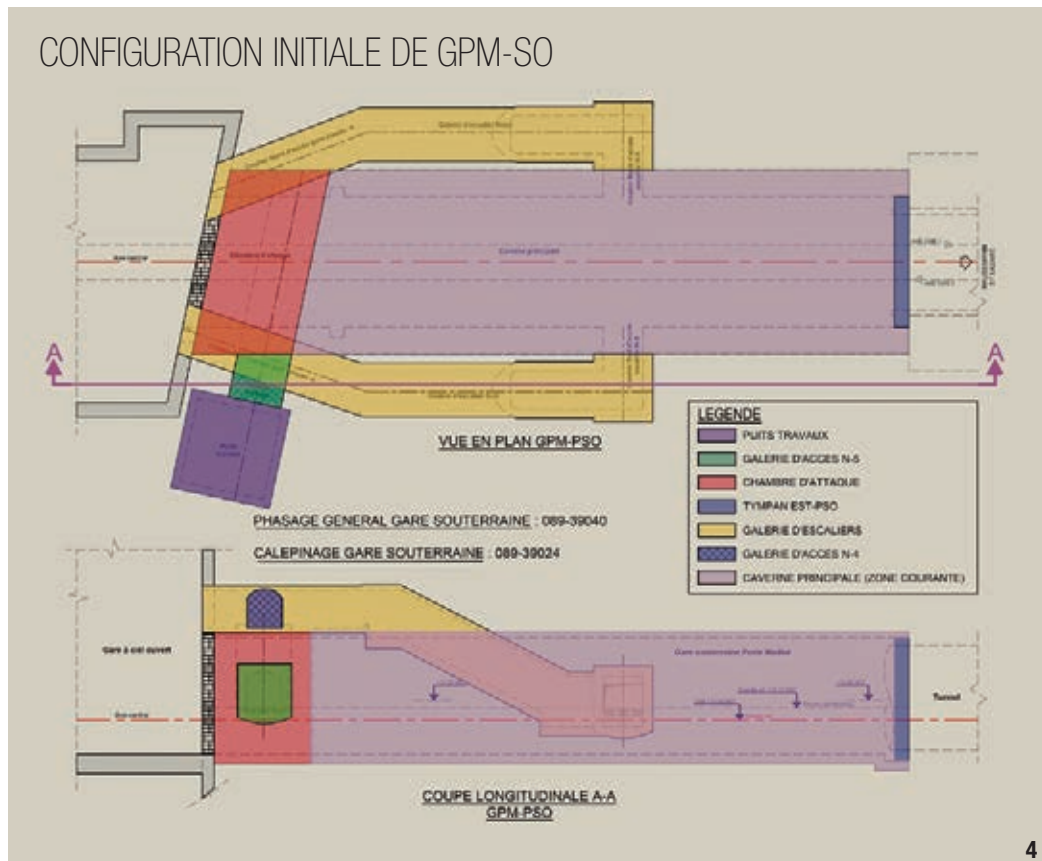
souterraine de la gare, une galerie à profil horizontal jusqu'à l'extrémité Est de la gare. On pourrait alors réaliser, depuis ces galeries, les traitements de terrain (jet grouting et injections), ainsi que des puits de pompage en quantité suffisante et à proximité de la partie souterraine.

#### 4- Configuration initiale de GPM-SO.

#### 5- GPM-SO : Coupe au droit de la chambre d'attaque (configuration initiale).

#### 4- Initial configuration of GPM-SO.

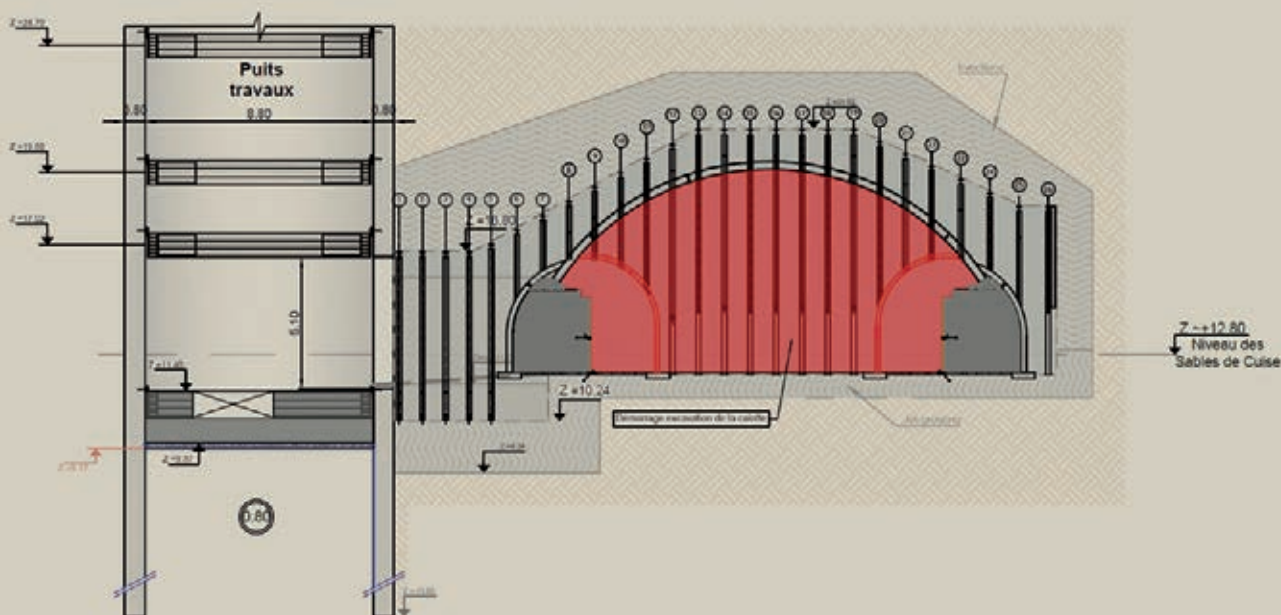
#### 5- GPM-SO: Cross section at the level of the working chamber (initial configuration).



4

© GROUPEMENT GC TUN

### GPM-SO : COUPE AU DROIT DE LA CHAMBRE D'ATTAQUE (configuration initiale)



5

© GROUPEMENT GC TUN



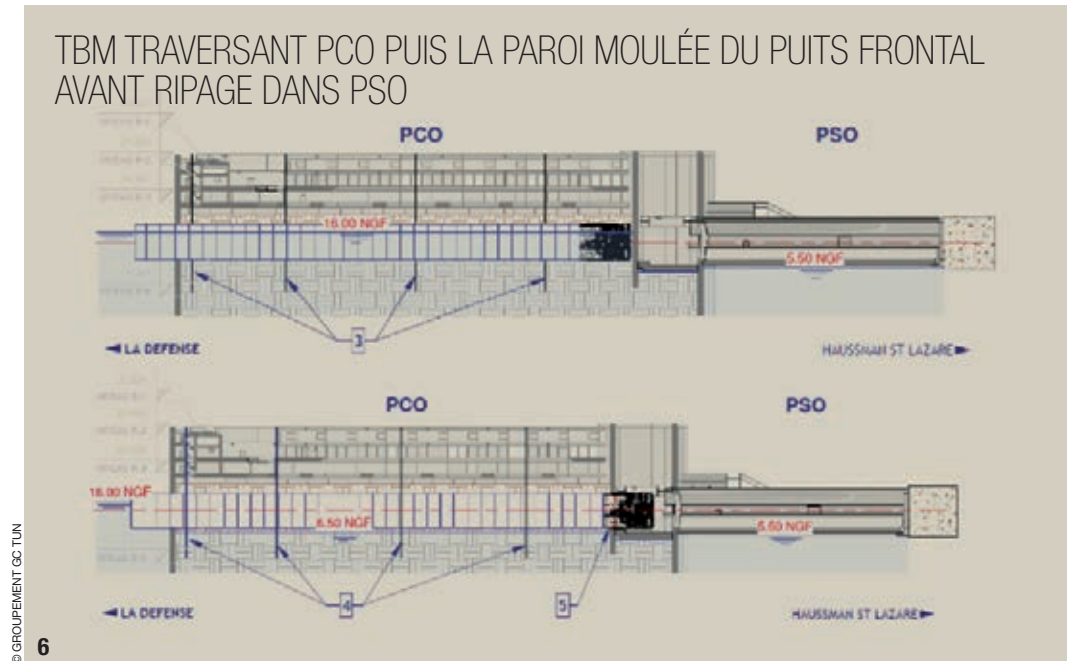
6- TBM traversant PCO puis la paroi moulée du puits frontal avant ripage dans PSO.

7- GPM-SO : Profil en long surbaissé de la galerie transversale.

6- TBM crossing PCO then diaphragm wall of the front shaft before skidding in PSO.

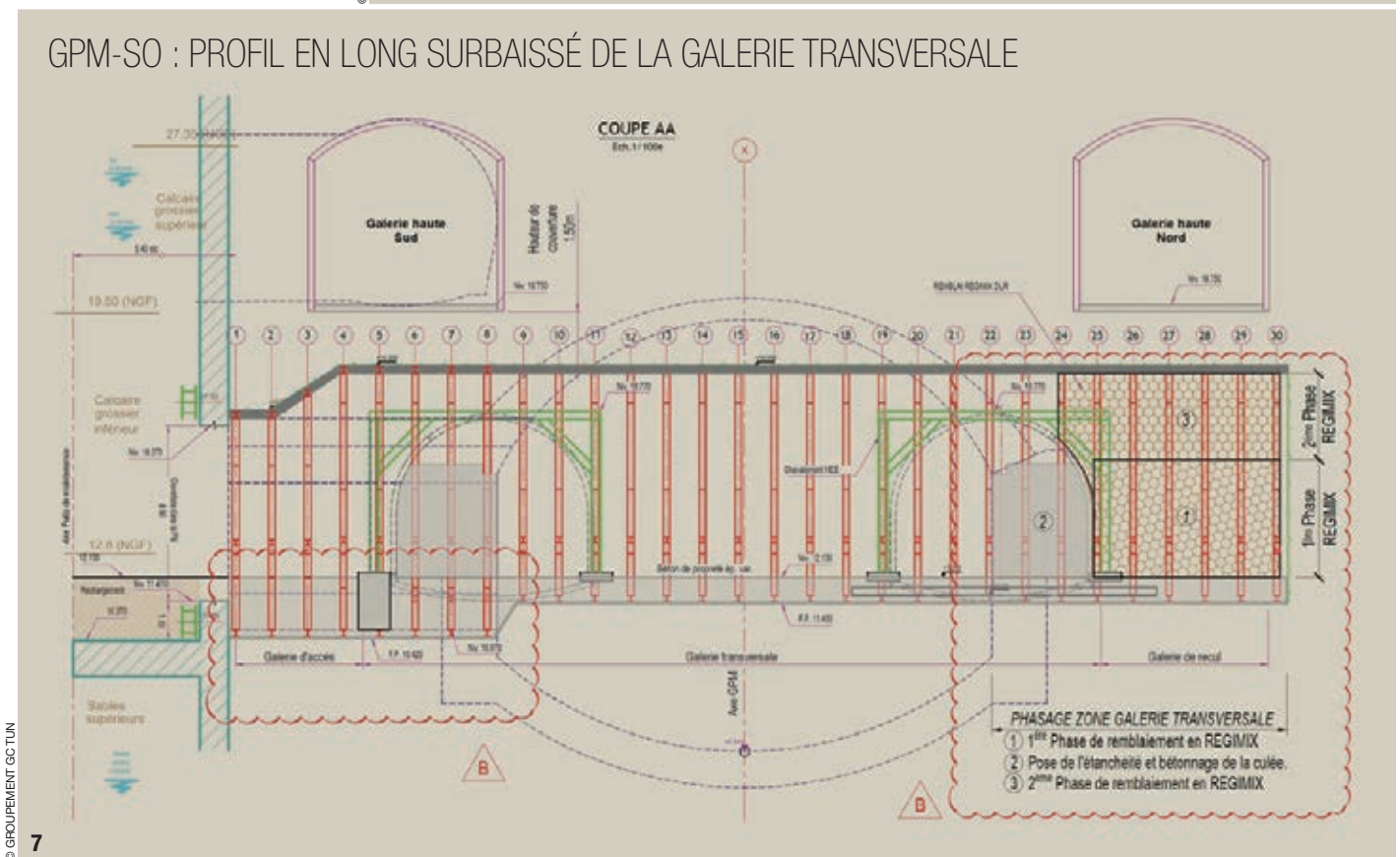
7- GPM-SO: Low-level longitudinal profile of the cross gallery.

### TBM TRAVERSANT PCO PUIS LA PAROI MOULÉE DU PUIS FRONTAL AVANT RIPAGE DANS PSO



© GROUPEMENT GC TUN 6

### GPM-SO : PROFIL EN LONG SURBAISSÉ DE LA GALERIE TRANSVERSALE



© GROUPEMENT GC TUN 7

#### CONFIGURATION ET PHASAGE INITIAUX DE LA GARE SOUTERRAINE

Le phasage initial de la gare souterraine consistait en la réalisation de la gare depuis le puits travaux (futur puits de maintenance lourde (PML) de la gare en phase de service) comprenant :

- Une première galerie transversale d'accès depuis le PML en section dite "cathédrale", formant ainsi la

chambre d'attaque du creusement en méthode conventionnelle des galeries de culées et de la calotte supérieure. Cette chambre intégrait la connexion avec la paroi moulée Est de la gare à ciel ouvert.

- Des galeries de culées, à partir desquelles l'assise des futures culées était traitée par jet-grouting.
- De la calotte supérieure puis de la demi-section inférieure, à partir

desquelles était réalisé le bouchon d'entrée en terre du tunnelier à l'extrémité est de la gare (figures 4 et 5).

#### CONFIGURATION ET PHASAGE DE LA GARE À CIEL OUVERT

La partie souterraine de la gare est en interface avec la partie à ciel ouvert (coté Est) via un puits supplémentaire, dit Puits Frontal, développé en cours de projet pour permettre :

- La création d'une deuxième attaque de la gare souterraine, attaque frontale, après réalisation des culées ;
- La sortie du tunnelier après la traversée pleine terre de la gare ciel ouvert sous le niveau R-3, alors que le génie civil des niveaux supérieurs sera avancé pour permettre aussi la libération de plusieurs locaux stratégiques en termes d'équipements pour la future gare (figure 6) ;



- Le transfert de la logistique du tunnelier à la gare GPM à mi-parcours du tunnel foré, ce qui permet de libérer plus tôt le premier tronçon (Puits Gambetta à Courbevoie/Gare Porte-Maillot) pour démarrer la pose des équipements ferroviaires (marché VCM) ;
- L'évacuation du tunnelier en fin de creusement.

**CONFIGURATION ET PHASAGES ALTERNATIFS DE LA GARE SOUTERRAINE**

La décision de réaliser les galeries hautes, imaginées pour permettre la réalisation des traitements de terrain ainsi que 14 puits de pompage supplémentaires, associés à la création du puits frontal, a remodelé en profondeur le phasage de réalisation de

la gare souterraine prévu à l'origine. La séquence de réalisation devient la suivante :

- Réalisation, depuis les puits travaux, de la galerie transversale avec un profil surbaissé du fait de la proximité du radier des galeries hautes (figure 7) ;
- Réalisation des galeries hautes (Nord et Sud respectivement "GHN" et "GHS" ci-après), attaquées à partir du puits frontal tassé sur 23 m de profondeur, allant jusqu'à l'extrémité Est de la gare où elles se retournent en deux excroissances, G1 et G2 (figure 8) ;
- Réalisation du jet-grouting pour le traitement des Sables Supérieurs sous les futurs plots de culées depuis les galeries hautes (figures 8 et 9) ;

**8- La nouvelle configuration de GPM-SO avec les deux galeries hautes ainsi que G1 et G2, creusement des galeries de culées derrière le jet grouting réalisé depuis les galeries hautes.**

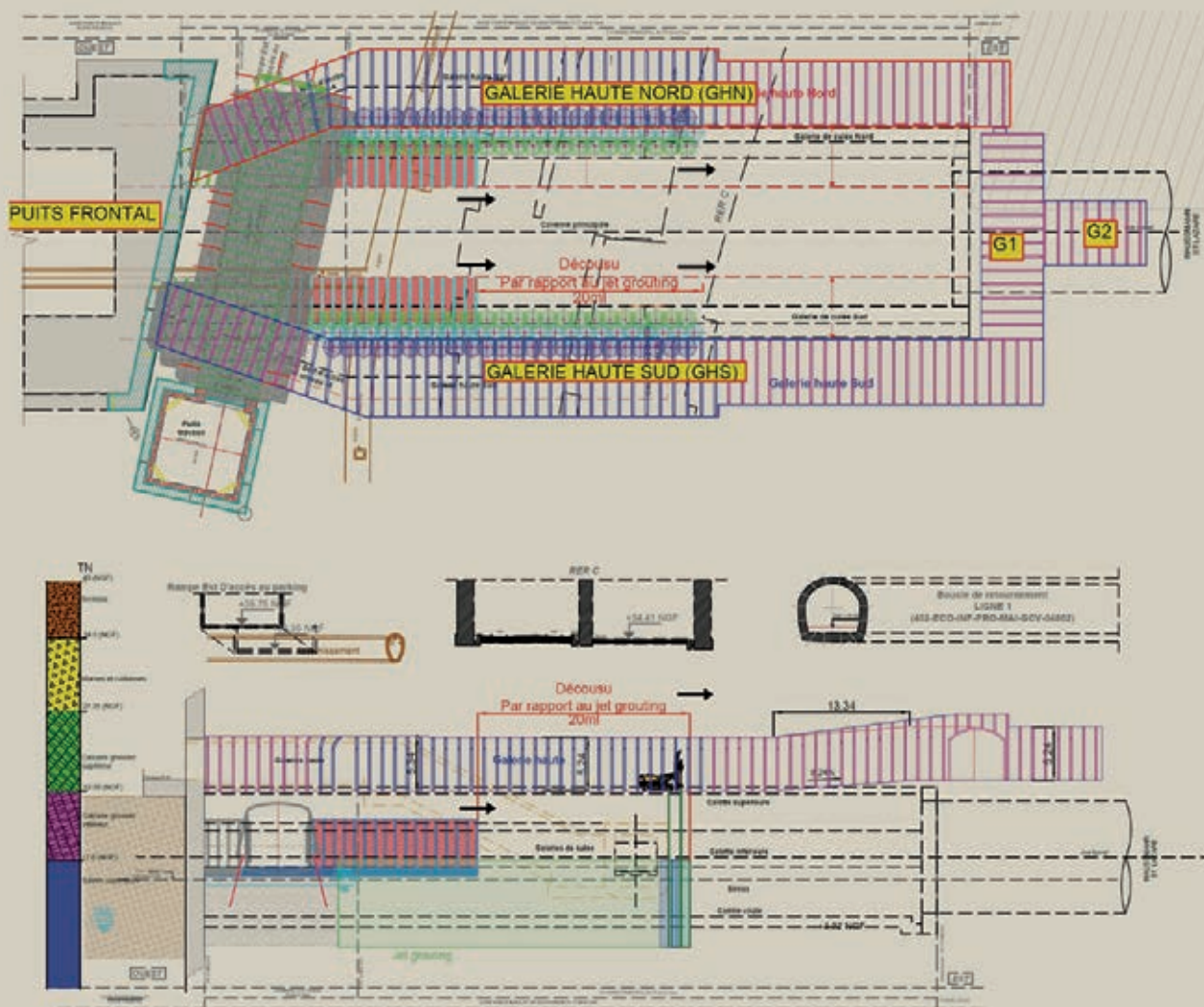
**8- The new GPM-SO configuration with the two high galleries and G1 and G2, excavation of the abutment galleries behind jet grouting performed from the high galleries.**

- Réalisation du bouchon d'entrée en terre du tunnelier à l'extrémité Est de la gare souterraine depuis les galeries G1 et G2 ;
- Réalisation des galeries de culées depuis la galerie transversale et depuis le puits frontal (voir extrait plus haut) ;
- Réalisation de la calotte supérieure puis de la demi-section inférieure depuis le puits frontal.

Cette nouvelle méthodologie de construction a permis de dégager des opportunités pour le planning des travaux :

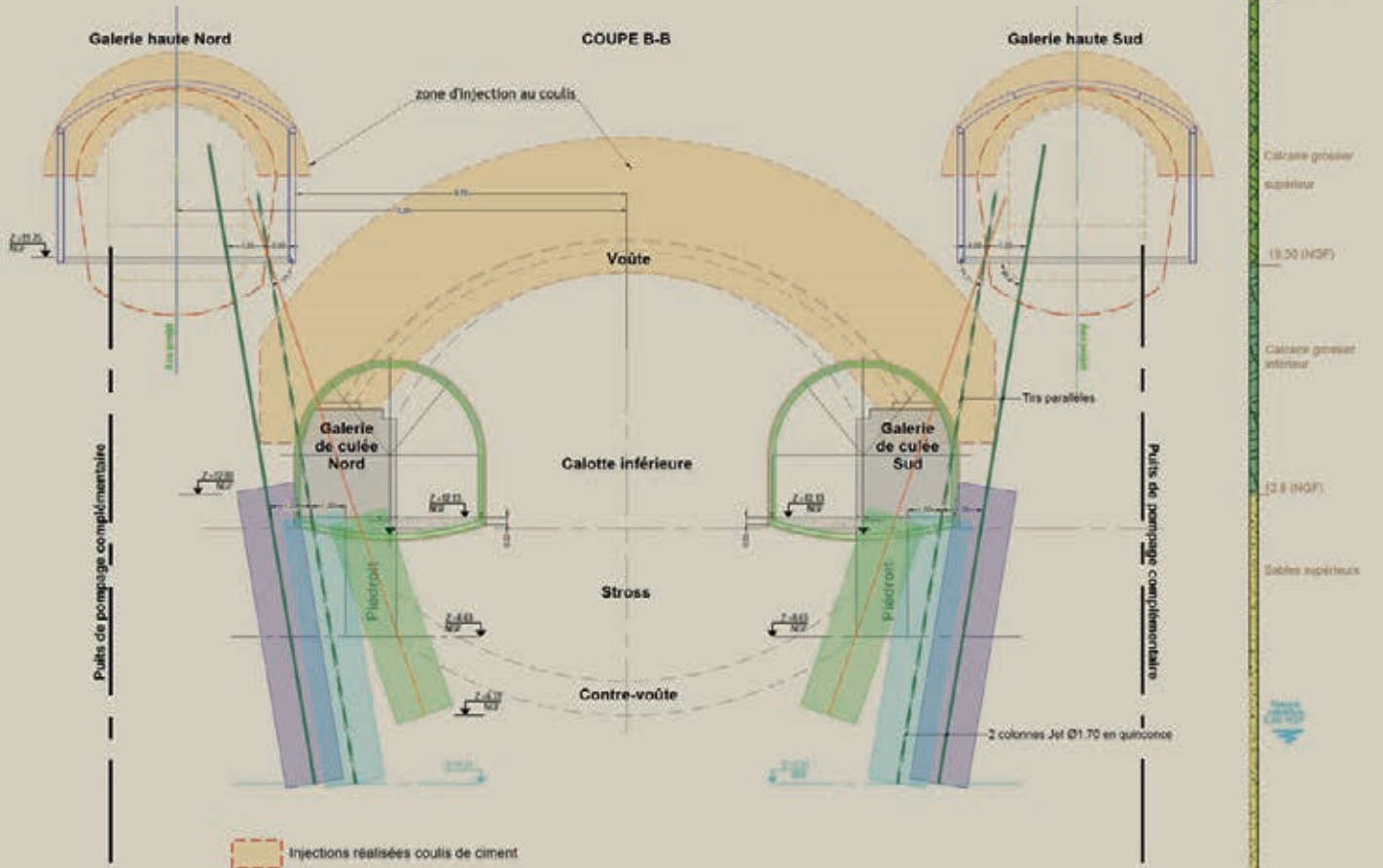
- Disposer de deux attaques, dont une frontale, pour la réalisation de la gare souterraine, ce qui permet d'optimiser les rendements, de doubler les accès et d'ajouter de la flexibilité sur les ateliers de travail.

**LA NOUVELLE CONFIGURATION DE GPM-SO AVEC LES DEUX GALERIES HAUTES AINSI QUE G1 ET G2**  
Creusement des galeries de culées derrière le jet-grouting réalisé depuis les galeries hautes





## VUE EN COUPE DES PUIITS ADDITIONNELS ET DU JET-GROUTING RÉALISÉS DEPUIS LES GALERIES HAUTES



9

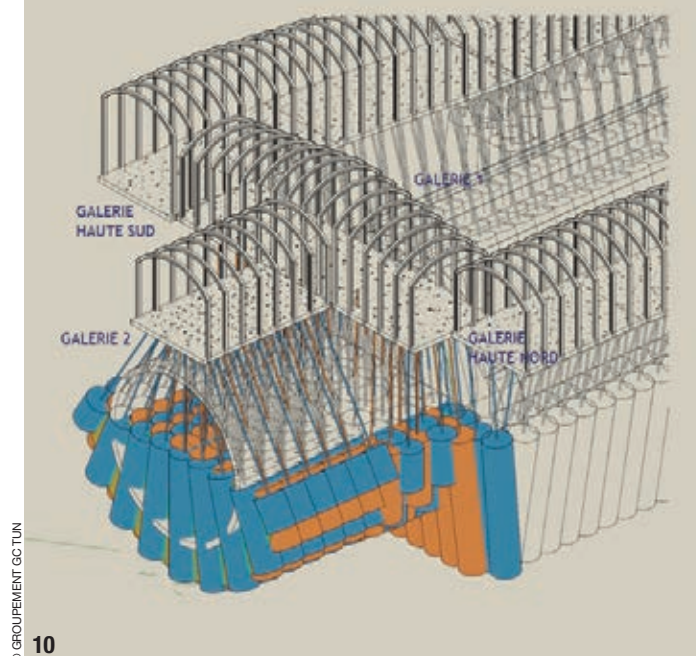
© GROUPEMENT GC TUN

9- Vue en coupe des puits additionnels et du jet grouting réalisés depuis les galeries hautes.

10- 3D des galeries G1 et G2 pour la réalisation du bouchon d'entrée en terre du TBM (injection + jet grouting).

9- Cross-section view of the additional shafts and jet grouting performed from the high galleries.  
10- 3D view of galleries G1 and G2 for execution of the TBM adit plug (grouting + jet grouting).

### 3D DES GALERIES G1 ET G2 pour la réalisation du bouchon d'entrée en terre du TBM (injection + jet grouting)



10

© GROUPEMENT GC TUN

- Réaliser de manière anticipée le traitement en jet-grouting sous les futures cuilées. Le temps de creusement des galeries supplémentaires est masqué en grande partie par le gain de temps de réalisation du jet-grouting sous les cuilées, qui se trouve sur le chemin critique du projet.
- Déconnecter les travaux de réalisation du bouchon de l'avancement des travaux souterrains.

### CONTRAINTES PHASAGE ET ÉTUDES

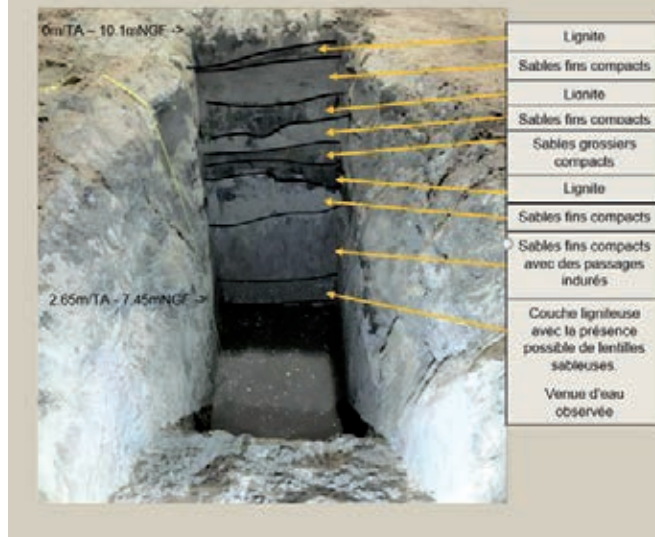
Si elles présentent les opportunités listées plus haut, elles imposent également quelques contraintes :

- Redimensionnement de la voûte du fait que la réalisation des galeries hautes modifie l'état de contrainte du terrain et transmet plus d'effort aux cintres.
- Réalisation des 15 premiers mètres de la calotte de la gare en section divisée puis en section complète jusqu'au tympan Est de l'ouvrage. ▷



- Réalisation d'une galerie transversale en section basse pour attaquer les culées depuis le puits Travaux au lieu d'une section en cathédrale comme prévu initialement. L'objectif étant d'augmenter la distance entre la voûte de la galerie transversale et le radier des galeries hautes qui était trop faible sans changement de géométrie.
- Dimensionnement de deux galeries à l'extrémité Est de la gare (galeries G1 et G2) en forme de "T" pour la réalisation du bouchon d'entrée en terres (figure 10) et prise en compte des impacts de cette partie de l'ouvrage sur le reste de la gare :
  - besoin d'un clouage du front (tympan Est) à cause de la galerie G2 ;
  - besoin de la réalisation d'un radier ferrailé sur la galerie G1 pour finir les 5 derniers mètres de la calotte supérieure ;

### SONDAGE A LA PELLE DEPUIS LA COTE +10NGF



11

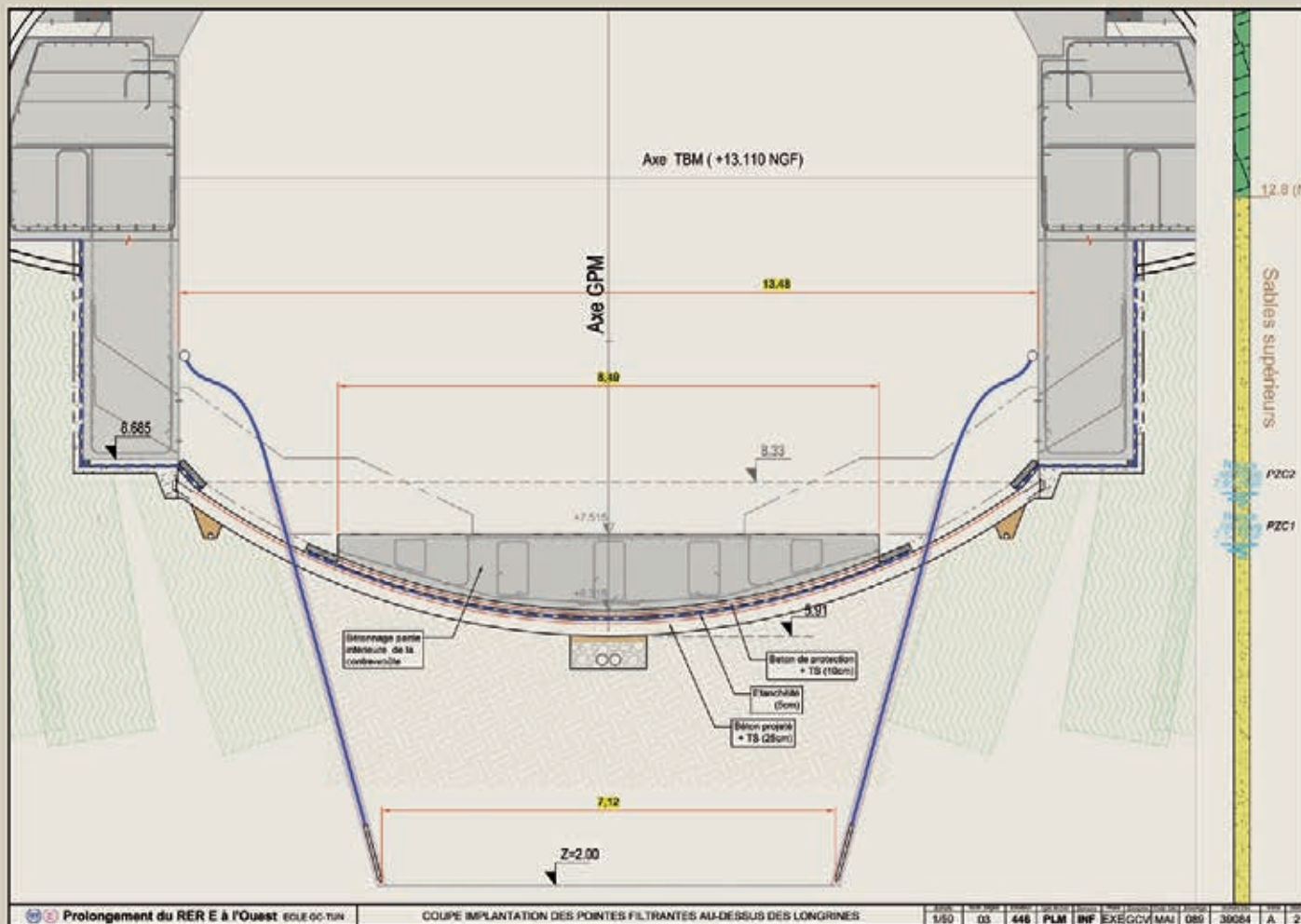
© GROUPEMENT GC TUN

- besoin du remplissage des deux galeries provisoires avant le passage du tunnelier.  
 Cette nouvelle configuration de la partie souterraine a été validée par la maîtrise d'œuvre et la maîtrise d'ouvrage (MOE/MOA).  
 Les études d'exécution ont démarré début 2019.

**11- Sondage a la pelle depuis la cote +10NGF.**  
**12- Pointes filtrantes en fond de fouille.**

**11- Boring by excavator from +10NGF elevation.**  
**12- Filter tips at bottom of excavation.**

### POINTES FILTRANTES EN FOND DE FOUILLE



Prolongement du RER E à l'Ouest | COUPE IMPLANTATION DES POINTES FILTRANTES AU-DESSUS DES LONGRINES | 1/50 | 03 | 446 | PLM | INF | EXE | GC/M | MAJ | 089 | 30084 | A | 2

12

© GROUPEMENT GC TUN





13

© GROUPEMENT GC TUN

Tous les différents intervenants ont fait preuve d'une grande efficacité (Direction Technique du groupement, MOE/MOA en tant que validateurs, équipes travaux du groupement en ce qui concerne la préparation), car les études étaient au stade "Bon Pour Exécution" en mars 2019, permettant le démarrage des travaux par la suite.

### AJUSTEMENTS EN COURS DE RÉALISATION

Les travaux des galeries hautes ont été réalisés comme prévu et les 14 puits mis en route en mai 2020. Ces puits ont présenté des débits unitaires variables et bien plus faibles que prévu, représentant un débit total maximal de l'ordre de 60 m<sup>3</sup>/h. En conséquence, leur efficacité sur le niveau piézométrique a été limitée, la nappe des Sables Supérieurs passant de +10 m NGF à +7,5 m NGF. Ce niveau de rabattement était suffisant pour la réalisation du stross et des piédroits de la station, mais pas pour la réalisation de la contre-voûte pour laquelle un niveau à +5 m NGF était nécessaire.

Dans le souci de préserver le planning tout en maîtrisant cet aléa hydrologique, la décision concertée entre groupement et MOE a été de terrasser toute la longueur de la partie souterraine de la gare mais uniquement à mi-hauteur des piédroits, soit +10,1 m NGF.

Cette première passe réalisée, on a constaté :

- Que les talus dans les Sables Supérieurs se tenaient à un angle bien supérieur à celui attendu à raison de leur forte compacité ;
- Que cela semblait dû à des feuillettes de lignite espacés tous les 30 cm environ, conférant à la couche des Sables Supérieurs une cohésion non négligeable pouvant être assimilée à un comportement de "terre armée" (sablo-argileux) ;

**13- Le TBM dans PSO.**  
**14- GPM-SO achevé, les travaux se poursuivent dans GPM-CO.**

**13- The TBM in PSO.**  
**14- GPM-SO completed, work continuing in GPM-CO.**

- Que jusqu'au niveau +10 m NGF, le sable était sec.

Afin de se rassurer sur le comportement des sables supérieurs lors de la deuxième passe d'excavation toute longueur des piédroits, un sondage à la pelle sur une profondeur de 3 m (figure 11) a été exécuté dans l'axe de l'ouvrage et a confirmé :

- L'absence d'eau jusqu'à +7,45 m NGF environ conformément aux mesures piézométriques ;

- Les couches de lignite qui assurent aux Sables Supérieurs une stabilité bien supérieure à ce qui était envisagée en calcul ;
- Un débit en fond de fouille de l'ordre de 10 m<sup>3</sup>/h.

Il devient alors évident :

- Que la passe d'excavation suivante à +8,3 m NGF peut se dérouler sur toute la longueur dans de bonnes conditions de stabilité ;
- Que des puits isolés, même proches les uns des autres, ne pourront pas permettre un rabattement efficace, les couches de lignite limitant l'écoulement vertical de l'eau et, par là même, le rayon de la zone d'influence de chaque puits.

La seule solution viable pour rabattre les 3 m restants s'impose comme étant les pointes filtrantes (figure 12). D'une part, la nature du terrain convient à un dispositif dont chaque élément est limité en débit mais qui permet un maillage serré et, d'autre part, c'est le dispositif qui avait été mis en place pour la galerie transversale qui avait été faite depuis les puits Travaux pour débiter au plus tôt les galeries de culées. À l'époque de

celle-ci, le choix des pointes filtrantes était le seul possible car il n'était pas envisageable de faire des puits depuis la surface ou un niveau de galerie intermédiaire, et il s'était avéré efficace. Afin de minimiser l'impact de cette solution sur le planning, après mise en place de 2 rangées longitudinales de pointes filtrantes, une de chaque côté de la caverne, le long des piédroits, inclinées vers l'axe principal, avec un espacement d'un mètre cinquante entre pointes d'une même rangée, un terrassement sur toute la longueur est réalisé pour la contre-voûte (figure 1). La convergence des piédroits sera mesurée quotidiennement et le béton de propreté en contre-voûte sera épaissi à 25 cm, armé d'un treillis soudé et réalisé à l'avancement.

La mise en marche progressive des pointes filtrantes est activée début décembre 2020. Elle conduit à un débit maximal de 100 m<sup>3</sup>/h environ et engendre un rabattement de +8 m NGF à moins de 5 m NGF à l'axe de l'ouvrage.

Les plans de la contre-voûte ont également été repris et visés en un temps record pour introduire un nouveau découpage de plots de bétonnage. En effet, afin de laisser les pointes actives le plus longtemps possible, un plot central est d'abord coulé avec la réalisation d'une tranchée drainante longitudinale à l'axe, pointes filtrantes actives donc, sur toute la longueur de la gare. Puis les pointes sont arrêtées par zones à mesure de l'avancement du bétonnage des plots latéraux de la contre-voûte, fermant ainsi définitivement la section complète de la caverne. Le dernier plot est coulé le 8 mars 2021.

Le mois suivant sera occupé à préparer la caverne pour le ripage du tunnelier afin qu'il entame son second drive vers Hausmann-Saint-Lazare le 19 avril (figures 13 et 14).



14

© DIRECTION PROJET EOLE / SNCF RÉSEAU





15

© DIRECTION PROJET EOLE / SNCF RÉSEAU

## CONCLUSION

La collaboration entre les acteurs principaux du projet Eole sur la section GC-TUN (MOA, MOE et groupement) a permis de transformer une situation critique, combinée à une évolution du projet par ailleurs significative, en une nouvelle configuration de la partie souterraine de la gare Porte-Maillot, qui a rendu possible l'intégration des optimisations ainsi que la saisie d'opportunités.

### En résumé :

- Nombreuses difficultés d'origine extérieure, impactant le planning de la réalisation de la gare souterraine ;
- Mobilisation des équipes MOE/groupement/MOA pour trouver des solutions et choix d'une solution permettant les limiter les impacts sur le planning des événements rencontrés ;
- Combinaison de cette solution avec la nouvelle configuration du projet (notamment pour la par-

tie à ciel ouvert (PCO) de la gare Porte-Maillot) qui avait déjà subi un développement en cours de projet (passage en pleine terre du tunnelier dans PCO en-dessous de R-3,

**15- La voûte en cours de réalisation.**

**15- The roof under construction.**

réalisation du puits frontal, transfert de la logistique du tunnelier à GPM, sortie du tunnelier par le puits frontal, etc.) ;

- Nouvelle preuve de réactivité collective lorsqu'une solution de rabattement complémentaire doit être mise en place avec une analyse rapide du risque technique au regard des enjeux de planning.

Tout cela a été rendu possible grâce à une collaboration étroite des trois acteurs principaux du projet, une MOE et un groupement capables de faire des propositions techniques conjointes et un donneur d'ordre capable de prendre les décisions au bon moment, malgré l'incertitude liée à la géologie et à l'hydrologie. C'est ainsi qu'a été donné du sens au plan de management des risques du marché.

Et le processus de réflexion/décision a toujours pu être mené sans impact sur les travaux. □

## PRINCIPALES QUANTITÉS

**VOLUME DE CG INJECTÉ : 24 000 m<sup>3</sup>**  
**VOLUME SABLE TRAITÉ AU JET GROUTING : 11 000 m<sup>3</sup>**  
**VOLUME DE BÉTON DE LA CAVERNE PRINCIPALE : 4 400 m<sup>3</sup>**  
**POIDS D'ARMATURES DE LA CAVERNE PRINCIPALE : 216 t**  
**CINTRES DE LA CAVERNE PRINCIPALE : 154 t**

## PRINCIPAUX INTERVENANTS

**MAÎTRE D'OUVRAGE : SNCF Réseau**  
**MAÎTRE D'ŒUVRE : groupement Setec, Egis, Duthilleul**  
**GROUPEMENT ENTREPRISES (CONSTRUCTION) : Bouygues Travaux Publics (mandataire), Eiffage Génie Civil, Eiffage Fondations, Razel-Bec, Sefi-Intrafor**

## ABSTRACT

### PORTE-MAILLOT STATION - AN EVOLVING UNDERGROUND STRUCTURE

DENYS BOUR, BOUYGUES TP - BENOIT BERTRAND, EGIS

**Porte-Maillot Station, surrounded by numerous very sensitive existing structures, consists of a 150-metre open-air part and a 70-metre part executed conventionally underground. Its work sequencing underwent major changes during the project, to cope with local hydrological contingencies while maintaining the overall project schedule. The new work sequencing was accompanied by the creation of a front shaft in the open-air part and additional galleries in the underground part. This allowed simultaneous execution of works in the open-air part, the passage of the tunnel boring machine and completion of the groundwater lowering system for the underground part. □**

### LA ESTACIÓN DE PORTE-MAILLOT - UNA OBRA SUBTERRÁNEA EVOLUTIVA

DENYS BOUR, BOUYGUES TP - BENOIT BERTRAND, EGIS

**La estación de Porte-Maillot, enclavada entre numerosos elementos existentes muy sensibles, se compone de una parte realizada a cielo abierto de 150 m y otra parte realizada en subterráneo tradicional de 70 m. Su organización por fases ha sido objeto de notables cambios a lo largo del proyecto para hacer frente a los imprevistos hidrológicos locales, aunque preservando la planificación global del proyecto. Esta nueva organización ha ido acompañada de la creación de un pozo frontal en la parte a cielo abierto y de galerías adicionales en la parte subterránea. Así, ha permitido llevar a cabo en paralelo las obras de la parte a cielo abierto, el paso de la tuneladora y completar el dispositivo de abatimiento del nivel freático para la parte subterránea. □**





1

© AC BARBIER - SETEC TPI

# EOLE UNE NOUVELLE CATHÉDRALE À LA DÉFENSE

AUTEURS : FRANÇOIS ASSELBORN, GÉOTECHNICIEN, DIRECTEUR ADJOINT GÉNIE CIVIL MOE SED, TERRASOL - GUILLAUME D'OUINCE, DIRECTEUR TECHNIQUE EDEF, VINCI CONSTRUCTION FRANCE - JULIE PINTO, RESPONSABLE SECTEUR GARE CNIT MOE SED, SETEC TPI - SAMUEL REYNAUD, DIRECTEUR GÉNIE CIVIL MOE SED, SETEC TPI

**LA NOUVELLE GARE DU RER E À LA DÉFENSE, INSÉRÉE SOUS LE CNIT, A ÉTÉ CONÇUE COMME UNE GARE CATHÉDRALE DONT LES PILIERS ET LA DALLE SUPÉRIEURE SUPPORTENT LE BÂTIMENT EXISTANT. APRÈS AVOIR RÉALISÉ LA REPRISE EN SOUS ŒUVRE PRÉALABLE DU BÂTIMENT DEPUIS LES DERNIERS NIVEAUX DE PARKING, LE PROJET EST DÉSORMAIS ENTRÉ DANS SA PHASE DÉCISIVE DE CRÉATION DES VOLUMES ET DE RÉALISATION DU GÉNIE CIVIL.**

## INTRODUCTION

Le projet EOLE de prolongement du RER E vers l'Ouest comporte la création d'une infrastructure souterraine neuve sur 8 km entre la gare Hausmann-Saint-Lazare et la gare de Nanterre-La-Folie. Le prolongement jusqu'à Mantes se fait par le réaménagement des voies ferrées existantes.

Le projet prévoit la création de 3 nouvelles gares : la gare Porte-Maillot (voir

**1- Vue générale du terrassement du corps principal de la gare.**

**1- General view of earthworks for the main station building.**

à ce sujet *TRAVAUX* n°956), la gare La-Défense objet du présent article et la gare aérienne de Nanterre-La-Folie (figure 2).

Le marché de construction de la gare du RER E à La Défense et des tunnels adjacents lancé par SNCF Réseau en 2016 est entré depuis début 2020 dans la phase d'excavation des volumes de la gare et de la réalisation du génie civil définitif. Les premières

années de travaux ont principalement été consacrées à la reprise en sous œuvre du bâtiment sous la voûte du CNIT et à la réalisation des piliers et de la dalle de transfert.

Les tunnels réalisés en méthode traditionnelle sous La Défense depuis les attaques Est et Ouest sont entièrement excavés et permettent depuis janvier 2020 la réalisation des ouvrages d'avant-gares (figure 3). ▷





2 © SNCF RÉSEAU

## RÉALISATION DU CORPS PRINCIPAL DE LA GARE SOUS LE CNIT

### REPRISE EN SOUS-ŒUVRE

Un des premiers défis du projet EOLE a été de réaliser une gare sous un bâtiment existant tout en le maintenant en exploitation. Cet établissement, construit dans les années 1980, est logé sous la voûte du CNIT. Il comporte un centre commercial, des bureaux et un hôtel, le tout réparti sur 11 étages dont cinq niveaux de sous-sol (figure 4). Nous nous référerons à l'article TRAVAUX n°961 pour la première étape de reprise en sous-œuvre : le transfert provisoire des charges de 117 poteaux du bâti existant sur une structure de reprise en sous-œuvre provisoire, le temps de :

- Démolir des fondations existantes ;
- Réaliser les piliers de la gare à l'abri de puits blindés ;
- Réaliser la structure de reprise définitive : la dalle de transfert qui sera la toiture de la gare.

À suivi la repose de la structure existante sur la dalle de transfert.

### STRUCTURE DU CORPS PRINCIPAL DE LA GARE DU CNIT

Le corps principal de la gare impose par ses dimensions généreuses de 50 m de large par 125 m de long pour une hauteur de 20 m. La gare a été réalisée sous rabattement de nappe. Elle est constituée des éléments suivants :

- Une dalle de transfert de 2 à 3 m d'épaisseur qui constitue le nouvel appui des 117 poteaux du bâtiment existant et qui sera le toit de la future gare.
- 60 piliers supportant la dalle de transfert, espacés de 12 m.
- De parois réalisées à la descente sur les faces latérales de la gare. Les parois transversales, dites tym-

### 2- Schéma du prolongement de la Ligne E vers l'ouest.

### 3- Maquette du projet EOLE - La Défense.

### 2- Diagram of the western extension of Line E.

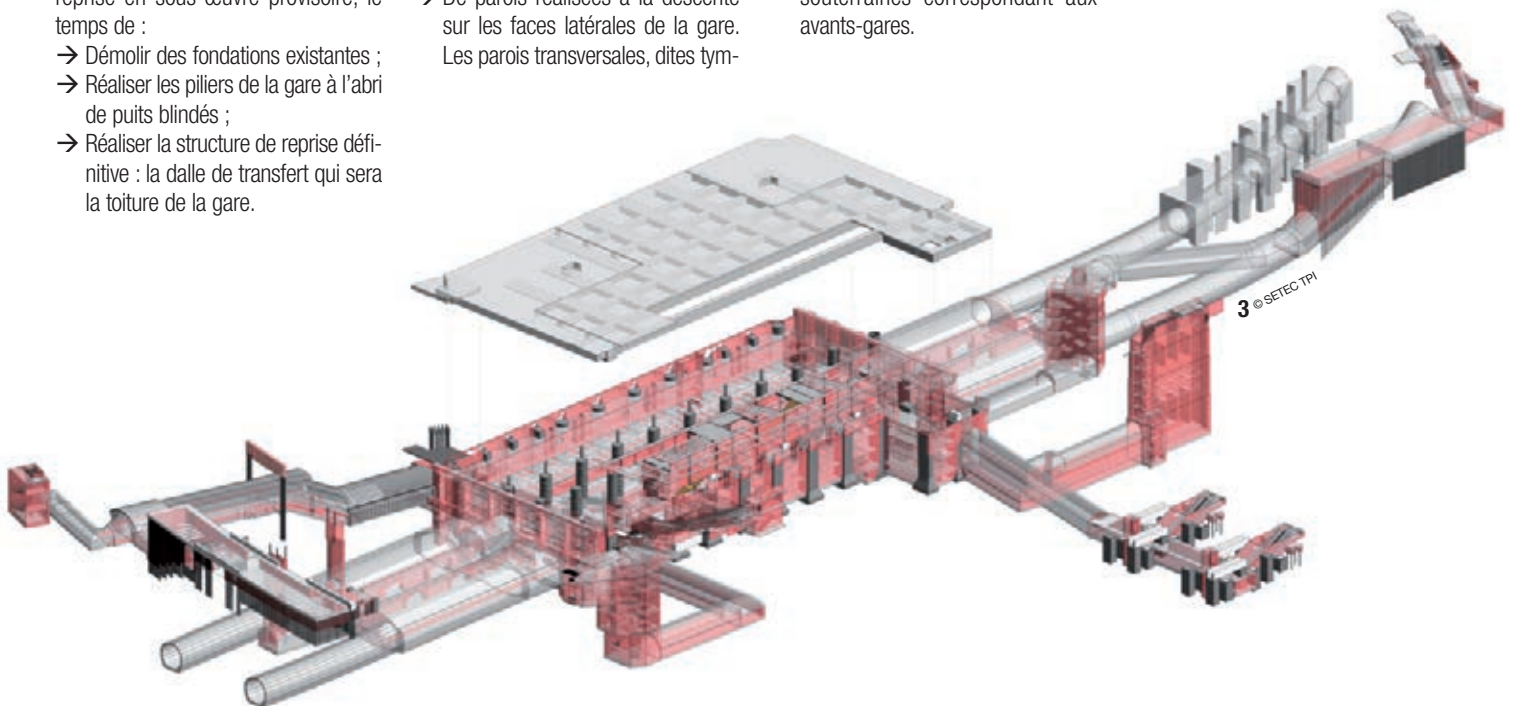
### 3- EOLE project model - La Défense.

→ Le radier, d'une épaisseur d'un à deux mètres, reprend les charges des structures intérieures ainsi que les surcharges d'exploitation y compris ferroviaires et les sous-pressions hydrostatiques après rétablissement de la nappe.

Les piliers reposent sur des semelles appuyées directement sur le sol de fondation.

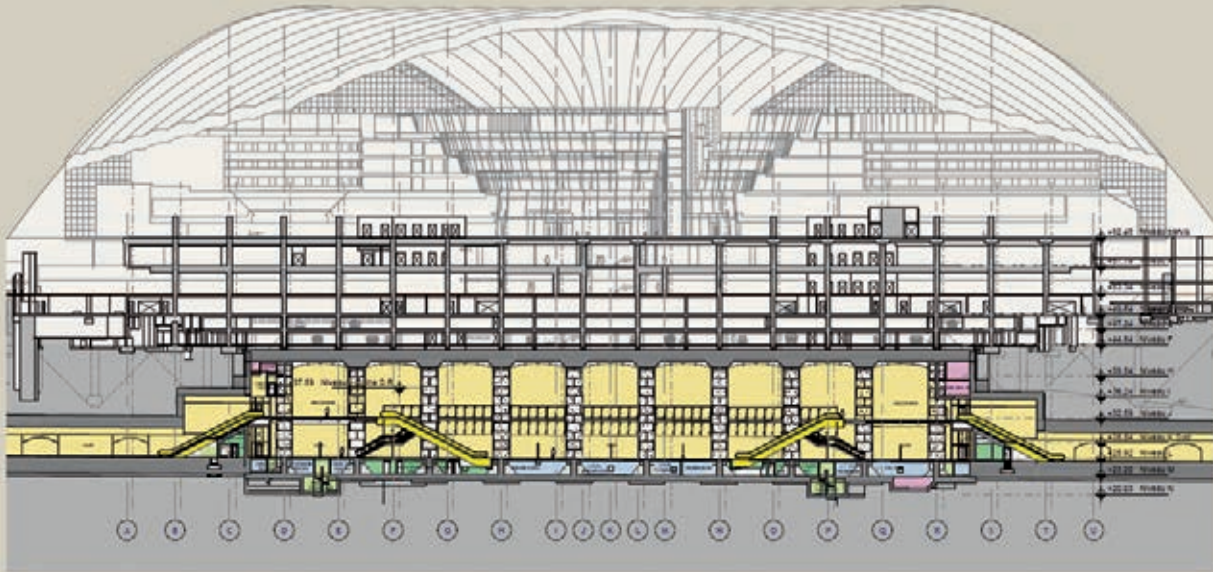
On distingue deux types de piliers : les piliers centraux qui reprennent uniquement les efforts transmis par la dalle de transfert et les structures internes et les piliers des rives liaisonnés aux parois latérales qui reprennent en complément les efforts dus à la poussée des terres et la poussée hydrostatique du terrain.

pans, sont percées dans leur partie inférieure au droit des sections souterraines correspondant aux avants-gares.





## COUPE LONGITUDINALE DE LA GARE SOUS LE CNIT



© SETEC TPI

4

4- Coupe longitudinale de la gare sous le CNIT.

5- Système de vérinage en tête de pilier.

6- Isolignes du nivellement des poteaux du CNIT.

4- Longitudinal section of the station under the CNIT.

5- Jacking system at top of pillar.

6- CNIT column levelling isolines.



© VCF

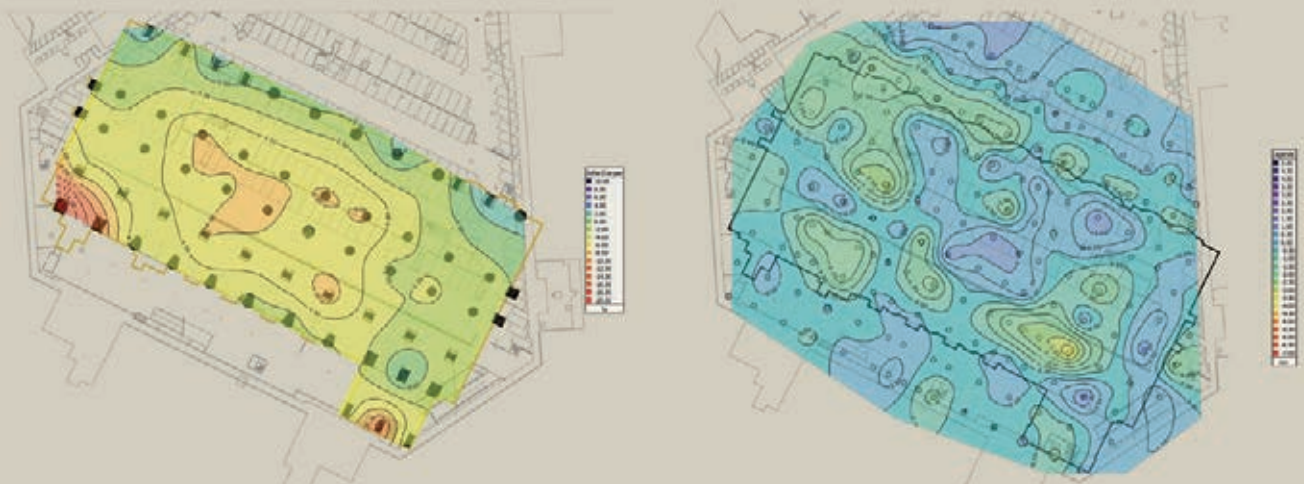
5

L'arase inférieure des semelles de ces piliers a été définie pour que le bulbe de contraintes supplémentaire qu'elles induisent puisse se diffuser suffisamment afin que la contrainte admissible au niveau de la formation dénommée Glauconie Grossière sous-jacente soit respectée.

### PHASAGE DE RÉALISATION

Une fois la dalle de transfert réalisée, les 117 poteaux sont reposés sur celle-ci qui devient leur nouvel appui définitif. Des vérins ont été positionnés entre la dalle et les piliers et ont permis de mettre en charge la dalle progressivement avant le début du terrassement. ▷

## ISOLIGNES DU NIVELLEMENT DES POTEAUX DU CNIT



© SIXENSE

6



Dans cette phase, la dalle est alors simplement appuyée sur les piliers.

Pendant toute la phase de terrassement et de réalisation de la boîte, les vérins permettaient de maintenir le nivellement d'origine de la dalle et donc de la structure existante en compensant les tassements ou soulèvements observés. Des seuils de tolérance sur les déplacements relatifs entre pieds de poteaux existants ont été définis pour rester dans une enveloppe de tassements admissibles vis-à-vis de la déformation de la structure existante.

On a donc conçu un système permettant de prendre en charge près de 96 500 t sans provoquer de variation de niveau, puis un système de surveillance qui garantisse que les efforts appliqués sur les poteaux et les niveaux soient restés pratiquement constants, jusqu'au moment où les charges ont été rétablies sur les appuis définitifs.

Le système de levage était piloté à l'aide d'une LAO (levage assisté par ordinateur) permettant d'appliquer une pression uniforme dans les vérins et de contrôler/ajuster lors de l'opération la pression appliquée pour maintenir un nivellement de la dalle plan.

Lors de la phase de reprise en sous-œuvre, les 117 poteaux ont été repris par des vérins. Leur charge était parfaitement connue. Un modèle aux éléments finis a permis de déterminer la charge théorique précise à reprendre par piliers.

La charge des piliers a été reprise par un sous-groupe de vérinage disposé en une couronne de 6 ou 8 vérins de capacité 400 t / 520 t / 600 t, tous en équipression (figure 5).

Les vérins ont été posés sur un empilement de platines disposées de part et d'autre des vérins (figure 5) avec une plaque en téflon pour les piliers de rive pour favoriser le glissement entre la dalle et les piliers et éviter de transmettre des efforts horizontaux qui auraient pu endommager les vérins.

### ÉTAPES DU TRANSFERT DE CHARGE

Le vérinage était piloté à l'effort et l'ensemble des piliers a été chargé par paliers de 20% ce qui a permis d'ajuster les charges entre les paliers et de compenser l'effet des éventuels tassements différentiels des piliers en conséquence de la présence sous-jacente de l'horizon peu porteur de Glauconie Grossière.

Les piliers ont été mis en charge jusqu'à 95% de la charge théorique. Les 5% restant étant transférés lors de



© SETEC TPI

de la première passe de terrassement en taupe.

Au fur et à mesure du vérinage, la dalle a pris les flèches dues à son poids propre et aux charges apportées par les poteaux existants. Le chargement par paliers a permis de maîtriser les déplacements de la structure existante. Le vérinage s'est échelonné par lignes successives pour permettre le terrassement en masse de se développer du nord vers le sud bien que le bétonnage de la dalle de transfert ne soit pas achevé côté Sud.

### 7- Réalisation d'un tirant.

### 8- Coupe transversale de l'avant-gare Est et formations géologiques.

### 7- Execution of a tie anchor.

### 8- Cross section of the eastern fore-station and geological formations.

### SYSTÈME D'AUSCULTATION ET PILOTAGE DES TRAVAUX

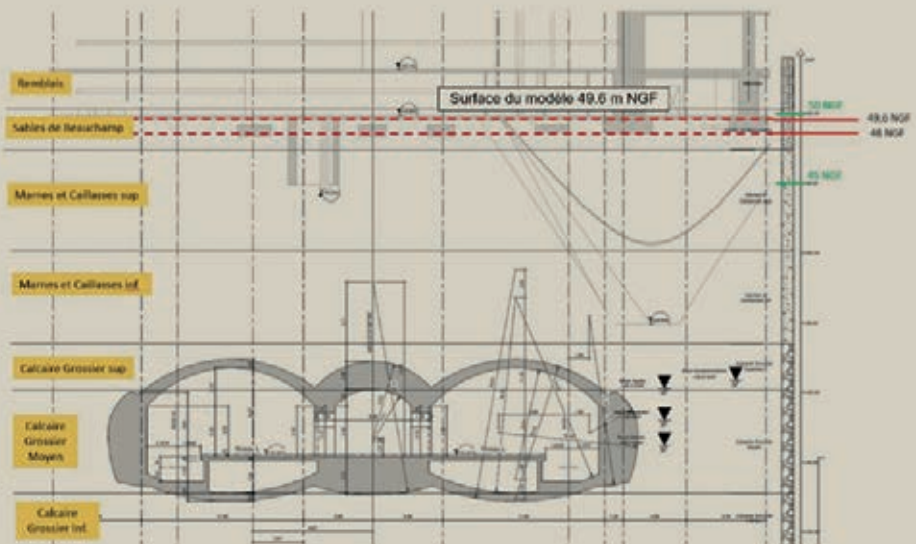
La criticité et la difficulté de ces opérations a nécessité la mise en place d'instruments de mesures de haute précision tels que :

- Des téléniveaux hydrauliques sur les poteaux du parking ;
- Des cibles sur les têtes et le corps des piliers, des voiles de soutènement puis de revêtement et en sous-face de la dalle de transfert ;
- Des cellules de pression en tête de tirant ;
- Des manomètres pour mesurer la pression dans les vérins ;
- Des comparateurs entre la sous-face de dalle et la tête de pilier donnant la course des vérins et permettant d'en déduire les tassements différentiels entre piliers.

L'ensemble de l'instrumentation a été suivi par un système de traitement de l'information et de gestion des données permettant de suivre en temps réel les évolutions de pressions et de nivellements (figure 6).

À l'aide du système d'auscultation, les variations des charges et des nivellements étaient observées en temps réel. Toute évolution significative a amené à un recalage en pression, soit individuellement par piliers soit par un ensemble. Il a par ailleurs été constaté un léger tassement des piliers des rives et un soulèvement des piliers centraux

### COUPE TRANSVERSALE DE L'AVANT-GARE EST ET FORMATIONS GÉOLOGIQUES





suite à la décompression du terrain lors du terrassement. Plusieurs opérations globales ont été réalisées dans le but de maintenir constant le nivellement de la dalle.

### EXCAVATION EN TAUPE ET RÉALISATION DU SOUTÈNEMENT À L'AVANCEMENT

Le terrassement a été effectué par passes successives de 2 m avec un soutènement par béton projeté.

Le génie civil a été réalisé à la descente jusqu'au niveau des plus hautes eaux. Sous le niveau des plus hautes eaux, le génie civil a été effectué à la remontée

après réalisation du radier et pose de l'étanchéité.

L'excavation du corps de la gare s'est étendue dans les formations des Marnes et Caillasses et du Calcaire Grossier.

**9- Phasage de réalisation des excavations de l'avant-gare.**

**9- Work sequencing for excavation of the fore-station.**

Le terrassement des galeries techniques sous radier a été réalisé à la fin du terrassement général.

L'arase de terrassement étant sous le niveau des arases des fondations des piliers, cette opération a nécessité un suivi attentif de la réaction des piliers dans le voisinage, via l'instrumentation mise en place. À tout moment, une compensation des mouvements pouvait être réalisée avec les vérins.

### RÉALISATION DES TIRANTS

Dans l'attente d'être encastrés dans la dalle de transfert et le radier définitif, les piliers disposés au droit des parois

longitudinales étaient tirantés en phases provisoires. Les tirants (figure 7) ont représenté une tâche à enjeux forts car :

→ Ils présentaient des dimensions importantes : plus de 30 m de long avec un angle faible empêchant d'utiliser les méthodes usuelles de réalisation.

→ Étant sur le chemin critique, leur exécution était soumise à des contraintes de planning fortes.

Sur les premiers tirants, les cellules de pression ont fait apparaître des baisses de tension alors que les terrassements sous-jacents étaient censés les recharger, trahissant un phénomène de fluage.

L'origine du phénomène semble être multifactorielle :

→ Méthodologies de substitution et d'injection non satisfaisantes ;

→ Un niveau de banc calcaire silicifié intensément fracturé pouvant permettre une migration du coulis ;

→ Certains tirants étaient très peu inclinés, avec un bulbe de contrainte concentré sur les bancs cassants, permettant ainsi un " effet tiroir " sur une seule strate lors de la mise en tension.

Après plusieurs changements de process, la méthodologie auto-forée avec injection IRS sur les tirants longs s'est révélée concluante.

### CRÉATION DES AVANT-GARES CONCEPTION DES OUVRAGES

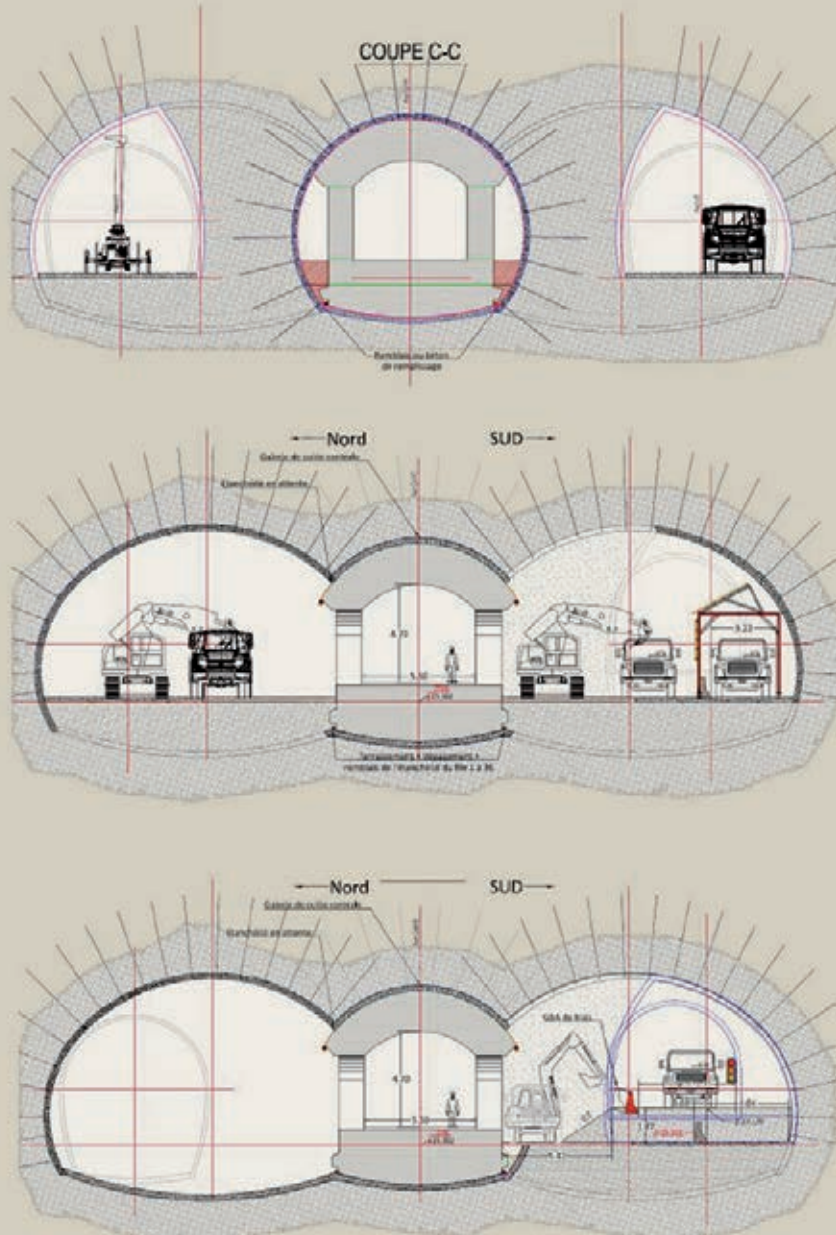
Le corps principal de la gare réalisé depuis le dernier niveau de parking du CNIT a une longueur limitée par les existants. Afin de porter les longueurs de quai à 225 m, longueur nécessaires au RER E, le corps de gare est allongé de part et d'autre par des ouvrages souterrains d'une longueur d'environ 53 m. Les avant-gares sont chacune constituées de 3 espaces voûtés :

→ Une culée creuse centrale accueillant un couloir de 5,50 m de largeur intérieure. Cette galerie est rehaussée côté corps principal de la gare pour accueillir des escaliers mécaniques permettant l'accès au niveau mezzanine. Les parements de cette galerie sont prévus en béton glacé.

→ Deux galeries latérales d'ouverture 12,25 m, réalisées dans le prolongement des tunnels et accueillant les voies du RER E. Les parements de ces galeries sont prévus en béton satiné.

La section excavée totale d'environ 340 m<sup>2</sup> s'inscrit principalement dans les formations des Calcaires Grossiers moyens et supérieurs.

## PHASAGE DE RÉALISATION DES EXCAVATIONS DE L'AVANT-GARE







10

© SETEC TPI

Les travaux sont réalisés sous rabattement de nappe.

Les ouvrages sont situés dans un contexte urbain très dense :

→ Côté Ouest, les avoisinants remarquables sont le bâtiment Ouest du CNIT, les voies du tramway T2 et des Lignes L et U du Transilien et la gare associée, supportant une partie du Parvis de La Défense ;

→ Côté Est, les avoisinants remarquables sont le bâtiment Est du CNIT, les ouvrages de la bretelle de l'autoroute A14 et l'église Notre-Dame-de-La-Pentecôte.

La couverture entre les ouvrages à excaver et les fondations les plus proches est d'environ 10 m pour les fondations superficielles du CNIT et 5 m pour les fondations sur pieux de la gare et de certains poteaux du CNIT (figure 8).

## PHASAGE DE RÉALISATION DES OUVRAGES

Compte tenu du bâti sensible existant et des sections importantes à excaver, il a été retenu une réalisation en section divisée. Le soutènement mis en œuvre est de type coque boulonnée, composée d'une coque en béton projeté fibré d'épaisseur 25 cm et de boulons radiaux R32 de longueur 4,0 m. Il s'agit d'une adaptation par rapport au marché qui prévoyait initialement un soutènement en cintres lourds et béton projeté. Une section test sur les tunnels a permis de valider cette modification du type de soutènement pour les avant-gares. Les attaques des avant-gares se sont faites depuis les tunnels, les galeries latérales étant creusées depuis les bitubes V1 et V2 et la galerie centrale étant creusée depuis une galerie

bypass provisoire réalisée depuis le bitube V1. Seule la partie réhaussée des galeries centrales (dénommée "Chapelle") est réalisée depuis la boîte gare, nécessitant la mise en place d'un platelage provisoire.

Le phasage (figure 9) est identique pour les avant-gares Est et Ouest :

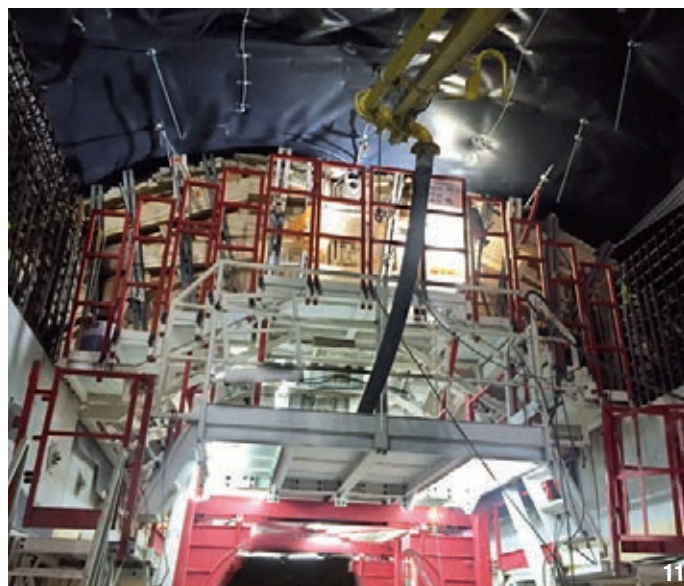
- 1- Excavation en fronts décalés des demi-sections supérieures de la galerie centrale et des galeries des culées latérales ;
- 2- Excavation de la demi-section inférieure de la galerie centrale ;
- 3- Réalisation du génie civil de la galerie centrale ;
- 4- Élargissement de la galerie côté V1, puis de la galerie côté V2 ;
- 5- Réalisation des demi-sections inférieures des galeries latérales (figure 10) ;

**10- Vue de l'excavation de la voûte V1 de l'avant-gare Ouest.**

**11- Coffrage de voûte de la galerie centrale de l'avant-gare Est.**

**10- View of excavation of roof V1 of the western fore-station.**

**11- Formwork for the roof of the main gallery of the eastern fore-station.**



11

© SETEC TPI

**6-** Réalisation du génie civil des galeries latérales (figure 11).

Les galeries ont été excavées en méthode traditionnelle par passe de 1,20 m. Les dimensions des ouvrages ont permis l'usage d'engins puissants type pelle Liebherr R924 Compact. L'abattage des terrains calcaires s'est fait principalement à la fraise et au BRH. Après mise en place du dispositif d'étanchéité par géomembrane, le génie civil a été réalisé par plots de 5,0 m.

Afin d'obtenir les parements architecturaux glacé ou satiné voulus, les banches et coffrages de voûtes ont été recouverts de feuilles PRO-T-CO. Les avant-gares ont entièrement été réalisées en béton autoplaçant C40/50 distribuée par la centrale Vinci dédiée au chantier située à Nanterre.

Côté Ouest les travaux d'excavation se sont déroulés entre janvier 2020 et février 2021, soit sur environ 13 mois y compris impact Covid. Les travaux de réalisation du génie civil sont en cours depuis juin 2020. Côté Est, les travaux d'excavation sont en cours depuis juin 2020 et les travaux de réalisation du génie civil depuis septembre 2020.

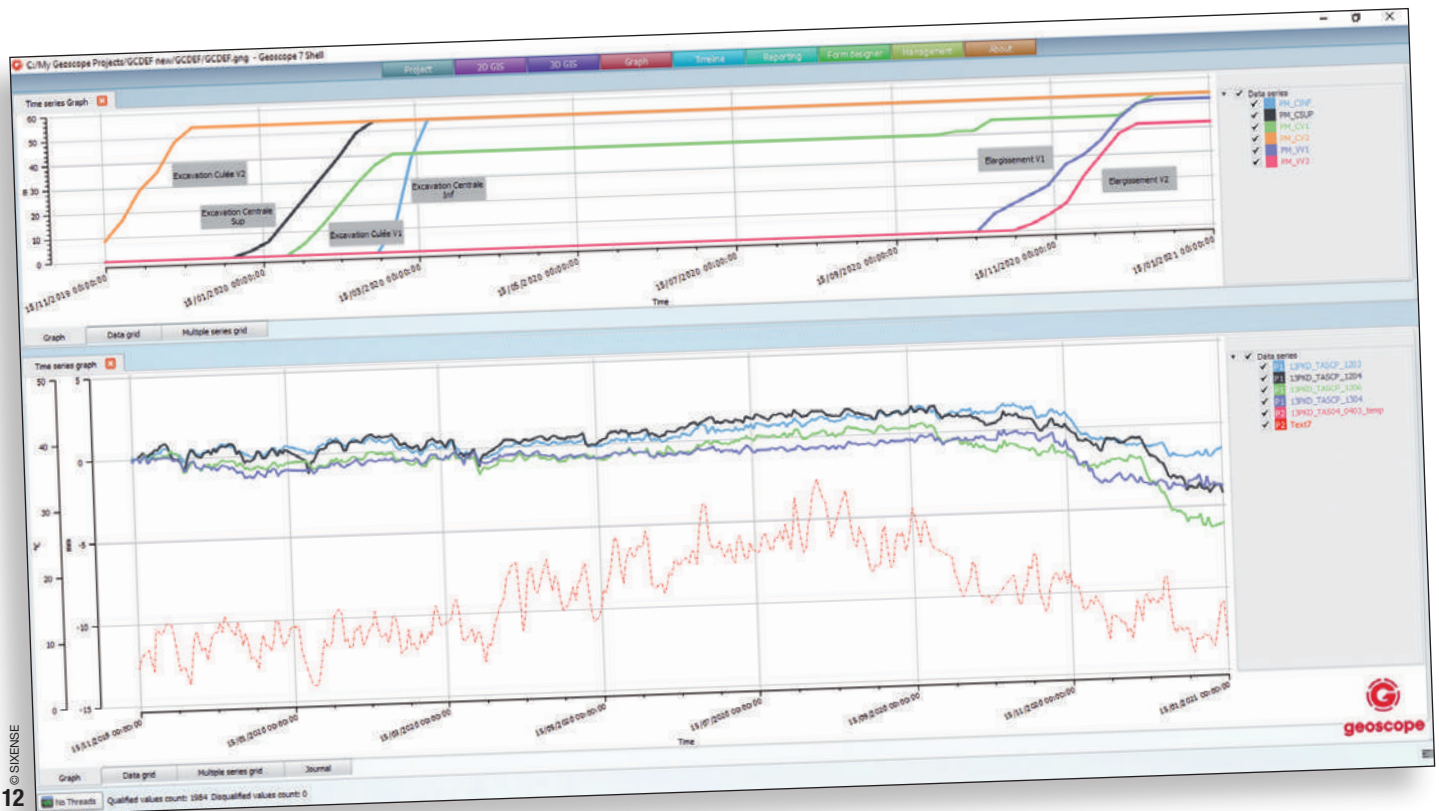
## PILOTAGE DES TRAVAUX

Cet article se concentre sur l'analyse côté Ouest, dont les résultats sont les plus intéressants puisque les excavations y sont plus avancées.

Le contexte très chargé en avoisinants et la réalisation de l'avant-gare ont conduit à mettre en place une instrumentation spécifique. L'ensemble des excavations a pu être suivi par :

→ Les mesures de convergences en tunnels ;





12

→ Le réseau de téléniveaux hydrauliques posés sur les poteaux existants du parking sus-jacent du CNIT ;  
 → Une instrumentation par Cyclop et cibles permettant le suivi des mouvements de la structure de la gare et des voies du Tramway T2 et des Lignes L et U du Transilien.  
 À la fin des excavations de l'avant-gare Ouest, les déformations mesurées restent assez nettement inférieures à

**12- Courbes des déformations - Tassomètres CNIT.**

**12- Deformation curves - CNIT settlement gauges.**

celles attendues dans les études d'excavation. Elles s'étendent sur une cuvette d'une largeur d'environ 35 m. Pour les poteaux du CNIT, les valeurs sont de l'ordre de 50 % du scénario de référence, soient environ 10 mm pour les valeurs les plus fortes. De fait, les tassements différentiels ont pu respecter les seuils contraignants fixés dans les spécifications du marché. L'historique des déformations sur plusieurs tassomètres

est présenté en figure 12 ainsi que le passage des différents fronts : l'effet des dernières excavations d'élargissement de voûtes latérales est notable. Pour la gare et les voies les déformations, du fait de leur position en extrémité de ZIG, les valeurs sont encore plus faibles, de l'ordre de 4 mm. Les observations réalisées en cours de travaux n'ont donc pas obligé à renforcer le soutènement (figure 12). □

**PRINCIPAUX INTERVENANTS**

- MAÎTRE D'OUVRAGE :** SNCF Réseau
- MAÎTRE D'ŒUVRE :** groupement Sed composé de Egis / Setec / Agence Duthilleul
- CONSTRUCTEUR GÉNIE CIVIL :** groupement Edef constitué de 5 entreprises du groupe Vinci (Vinci Construction France, Dodin Campenon Bernard, Vinci Construction Grands Projets, Soletanche Bachy France, Botte Fondations) et 2 entreprises du groupe Spie (Spie Batignolles Génie Civil, Spie Batignolles Fondations)

**PRINCIPALES QUANTITÉS**

- 1 gare dite " cathédrale " réalisée à 40 m de profondeur avec un quai central de 25 m de large, en interconnexion directe avec le RER A, le métro 1, les Lignes L et U du Transilien, le tramway T2 et permettant de recevoir 22 trains par heure en heure de pointe (en 2024)
- 1,2 km de tunnels réalisés suivant la méthode traditionnelle
- 100 000 t portées par les piliers, soit 65 000 t du bâtiment existant et 35 000 t de la dalle de reprise
- 170 000 m<sup>3</sup> de déblais

**ABSTRACT**

**EOLE - A NEW CATHEDRAL AT LA DEFENSE**

FRANÇOIS ASSELBORN, TERRASOL - GUILLAUME D'OUINCE, VINCI CONSTRUCTION FRANCE - JULIE PINTO, SETEC TPI - SAMUEL REYNAUD, SETEC TPI

The new RER E station in the Défense business area near Paris, on which work has been undertaken since 2016, is entering its final phase of creation of volumes and execution of civil works. Underpinning of the CNIT building has been completed by finally placing the building columns back on the station's transfer slab. Mass excavations of the station volume and the erection of side supporting structures for the main part of the station continued by slab underpinning throughout 2020. On either side of the station, extensions to the main station building, monumental structures consisting of three roofed areas, are executed by conventional techniques from the tunnels. □

**EOLE - UNA NUEVA CATEDRAL EN LA DÉFENSE**

FRANÇOIS ASSELBORN, TERRASOL - GUILLAUME D'OUINCE, VINCI CONSTRUCTION FRANCE - JULIE PINTO, SETEC TPI - SAMUEL REYNAUD, SETEC TPI

La nueva estación del RER E en La Défense, cuyas obras comenzaron en 2016, entra en su fase final de creación de los volúmenes y realización de la ingeniería civil. El recalce del edificio del CNIT finalizó con la recolocación definitiva de los postes del edificio sobre la losa de transferencia de la estación. Las excavaciones masivas del volumen de la estación y la construcción de los sostenimientos laterales de su cuerpo principal prosiguieron por debajo de la losa durante todo el año 2020. Las ampliaciones del cuerpo de la estación a ambos lados de la misma, obras monumentales que incluyen tres espacios abovedados, se realizaron por el método tradicional desde los túneles. □





© JEAN-LOUIS AUBERT

# LIGNE 11 DU MÉTRO PARISIEN : LES DESSOUS DE LA BOUCLE DE ROSNY

AUTEUR : MICHEL BOUSQUET, DIRECTEUR DE PROJET, RAZEL-BEC

LES TRAVAUX DE GÉNIE CIVIL DE LA BOUCLE DE ROSNY SITUÉE À L'EXTRÉMITÉ EST DE LA LIGNE 11 DU MÉTRO PARISIEN ONT DURÉ 4 ANS. CETTE OPÉRATION, PLACÉE DANS LE CADRE DU PROJET DE PROLONGEMENT DE LA LIGNE 11 DU MÉTRO, DE MAIRIE-DES-LILAS À ROSNY-SOUS-BOIS-PERRIER, A FAIT APPEL À DES TECHNIQUES CLASSIQUES DE RÉALISATION D'UNE TRANCHÉE COUVERTE. GRÂCE À LA SYNERGIE DE DEUX ENTITÉS DU GROUPE FAYAT, RAZEL-BEC ET SEFI-INTRAFOR, LE CHANTIER A TENU SA PROMESSE ET A PERMIS AU CENTRE COMMERCIAL ROSNY 2 DE CONTINUER SES ACTIVITÉS MALGRÉ LE TRACÉ DU TUNNEL EN TRANCHÉE QUI L'ENCERCLAIT.

De Mairie-des-Lilas à Rosny-Bois-Perrier, le prolongement de la Ligne 11 s'étend sur 6 km dans l'est parisien. Il prévoit la création de 6 nouvelles stations, dont une en viaduc, et d'un nouvel atelier de maintenance des trains. En parallèle de ce prolongement, la ligne existante évolue et se modernise. Elle fait l'objet d'importants travaux de modernisation et d'adaptation rendus nécessaires par l'évolution du système d'exploitation.

Razel-Bec, en groupement avec Sefi-Intrafor (groupe Fayat), a réalisé le lot GC02 de ce prolongement qui portait sur la création de la nouvelle station Rosny-Bois-Perrier, la réalisation d'un tunnel de 1 600 m en parois moulées autour du centre commercial Rosny 2, ainsi que de trois ouvrages annexes, sous maîtrise d'ouvrage RATP et de Île-de-France Mobilités. Ce chantier a nécessité une organisation millimétrée afin de minimiser les emprises, garan-

**1- Circulation  
autour du chantier.**

**1- Movement  
around the  
construction site.**

tir les accès (figure 1) et maintenir les réseaux en place, pour permettre la continuité d'activité du centre commercial Rosny 2, le second plus fréquenté d'Île-de-France.

## CONCEPTION GÉNÉRALE DES OUVRAGES

### LE TUNNEL

Situé à l'extrémité de la Ligne 11 sur la commune de Rosny-Sous-Bois, le tunnel est réalisé entre parois moulées (figure 2) sur une longueur de 1 430 m en formant une boucle autour du centre commercial Rosny 2. Sa largeur est de 8 m et sa hauteur de 5 m en moyenne entre le radier et la dalle. En termes de profondeur, le fond de fouille varie





© JEAN-LOUIS AUBERT

2



3

© PHOTOTHÈQUE RAZEL-BEC



4

© PHOTOTHÈQUE RAZEL-BEC

2- Section du tunnel entre parois moulées.

3- Section du tunnel entre berlinoises.

4- Poutre commune de réseaux.

2- Tunnel section between diaphragm walls.

3- Tunnel section between Berlin-type retaining walls.

4- Common beam for services.

de 6,20 à 14,50 m. Sur deux tronçons respectivement de 48 et 33 m, sous l'avenue Charles-de-Gaulle, le tunnel devient un ouvrage cadre construit à l'abri de deux parois berlinoises (figure 3) et en sous-cœuvre, sous les réseaux de nombreux concessionnaires, tels qu'une poutre commune comprenant une canalisation de gaz, des câbles HTA, une multitubulaire FT, des ovoïdes et une conduite AEP D1250 (figure 4). Le marché comprend aussi la démolition d'un parking R+1 et les travaux de déviation des voiries provisoires ainsi que la restitution finale.

### LA STATION

La station Rosny-Bois-Perrier (figure 5) assurera la correspondance avec le RER E et la future Ligne 15 Est du Grand Paris Express. Elle sera à terme un pôle multimodal majeur du territoire. Elle est positionnée rue Léon-Blum, sur la commune de Rosny-sous-Bois, à côté de la gare RER E, et permet les correspondances avec les autres moyens de transport.

Construite en lieu et place d'un parking R+1 du centre commercial, elle est située contre la voie SNCF de la Ligne E du RER. La station souterraine,

protégée par des parois moulées, est un cube enterré de 145 m de long par 22 m de large et 12 m de profondeur.

### LES OUVRAGES ANNEXES

Deux ouvrages souterrains annexes, destinés à la ventilation, aux accès pompiers et au recueil puis à l'évacuation des eaux d'infiltration du tunnel (poste d'épuisement), ainsi qu'un poste de redressement, liaisonnent le tunnel à la surface. Ces ouvrages annexes ont été réalisés en tous corps d'état : génie civil, maçonnerie, peinture, métallerie et serrurerie.

### OPTIMISATIONS TECHNIQUES

Le marché accordant un intérêt sur l'optimisation des quantités pour l'entreprise, le groupement Razel-Bec/ Sefi-Intrafor a proposé de nombreuses optimisations techniques et organisationnelles, non seulement pour réduire les coûts du maître d'ouvrage, mais aussi pour limiter les risques inhérents aux travaux souterrains. Ces optimisations techniques ont aussi permis de répondre aux deux contraintes majeures de ce projet : les emprises très contraintes du chantier, ▷



situé entre le centre commercial et la gare RER de la Ligne E, ainsi que la poursuite des activités commerciales pendant toute la durée des travaux.

### LES PAROIS MOULÉES

Dès le début de la période de préparation, le groupement a proposé de réduire l'épaisseur des parois moulées, de 20 cm en moyenne, ainsi que la profondeur de la fiche dans le sol sous le radier. La multiplication des sondages de reconnaissance et des profils de calcul dans chaque zone a permis d'adapter au plus juste les caractéristiques des parois au terrain rencontré. Ces études supplémentaires ont notamment permis une économie de 6 500 m<sup>3</sup> d'excavation et de béton soit environ 18% sur les prévisions du marché.

### LES PAROIS DES OUVRAGES ANNEXES

Initialement constitués d'ouvrages complets construits à l'intérieur de parois berlinoises, les ouvrages annexes ont été proposés par le groupement en parois moulées. Cette modification technique, pour un coût légèrement inférieur a conduit à une sécurisation significative des travaux et du planning, enjeu essentiel du projet.

### LIAISONS MANCHONNÉES ENTRE PAROIS ET DALLE ET RADIER

C'est grâce à la synergie de groupe entre le génie-civiliste et le fondeur que la décision de remplacer les traditionnels scellements des armatures de la dalle et du radier dans les parois moulées par des manchons a été prise dès l'appel d'offre. Cette option impose une très grande précision de la position des cages d'armatures dans la fouille des parois moulées mais permet un gain de temps important et surtout une réduction de la pénibilité (près de 60 000 forages économisés) lors de la phase de ferrailage de la dalle et du radier.

### TOP AND DOWN

Sur la majorité du tracé du tunnel, la technique de la construction "à ciel ouvert" était préconisée par le marché. Rapidement, après les premiers tronçons, le groupement a adapté les méthodes pour faire le terrassement du tunnel en "taupe" sous la dalle bétonnée sur le terrain en place avant de construire le radier du tunnel. Cette technique s'est imposée pour garantir les délais partiels très contraints sur chaque tronçon. Les travaux de surface



© JEAN-LOUIS AUBERT 5

pouvaient être concomitants avec les travaux du tunnel. Cette modification a aussi conduit à économiser un lit de butons soit la moitié des butons, remplacée par la dalle définitive.

### CONSTRUCTION DU TUNNEL CONTRAINTES DE PHASAGES

Les travaux étant situés presque entièrement dans l'emprise des parkings du centre commercial, le maître d'ouvrage a organisé le chantier en 17 chantiers indépendants associés. Chacun de ces chantiers disposait d'un délai partiel propre et était déclenché

**5- Les quais de la station.**  
**6- Vue générale et centrale à boue.**

**5- The station platforms.**  
**6- General view and slurry mixing plant.**

de manière aléatoire en fonction du nombre de places de parking disponibles et de l'avancement des travaux en amont de déviation des réseaux. Il était aussi essentiel de veiller à ne

pas modifier les circulations lors des périodes de grande affluence (Noël, Soldes, Rentrée...). Pour appréhender ces contraintes fortes, le groupe Fayat a décidé de mettre en commun les énergies de ses entités de fondations et de génie civil afin de privilégier l'intérêt global pour réussir les nombreux passages de relais de cette opération dans des emprises restreintes. Pour des longueurs de tronçons de tunnel allant de 13 à 230 m, les délais partiels variaient de 4 à 15 mois. La contrainte la plus importante résidait dans la mobilisation, l'installation et la démobilitation des centrales à boue des parois



© JEAN-LOUIS AUBERT 6





7

© JEAN-LOUIS AUBERT

moulées (figure 6). Bien que la concertation entre le maître d'ouvrage, les avoisinants et le groupement ait abouti à une optimisation partagée des installations, deux centrales à boue de parois ont été mobilisées pour l'opération. Après des retards sur les premiers tronçons essentiellement dus aux longues intempéries de l'année 2017, la montée en cadence des phases suivantes de déblais, génie civil, étanchéité, remblais et restitution de voirie a rapidement permis d'atteindre les délais fixés. Seuls le Covid et les négociations entre les parties prenantes et le maître d'ouvrage sur les nouveaux projets de restitution sont venus perturber le déroulement des travaux suivants.

**7- Lit de buton hydrauliques en tranchée de faible largeur.**

**8- Butons hydrauliques.**

**9- Tranchée couverte de Ségurane (Tramway de Nice).**

**7- Layer of hydraulic struts in narrow trench.**

**8- Hydraulic struts.**

**9- Ségurane cut-and-cover tunnel (Nice tramway).**

## LE CHOIX DES BUTONS HYDRAULIQUES

L'enchaînement rapide des phases de travaux de soutènement induit par la multiplication de tronçons de tunnel de courte longueur à terminer entièrement dans un délai partiel très court, a transformé les phases de soutènement en une succession de pose, dépose, reconditionnement et repose des butons à un rythme très soutenu. Dans ces conditions, où le temps d'immobilisation des butons est très faible et où le soutènement des parois moulées ne nécessite pas la mise en œuvre de liernes, l'utilisation de butons hydrauliques devient très avantageuse (figure 8). En effet, grâce à un débattement de 1,10 m, les temps de pose et

de dépose sont divisés par deux et les opérations de reconditionnement sont très limitées voire inexistantes lorsque la variation de la largeur du tunnel est faible (figure 7). Cela permet un gain de main d'œuvre et une optimisation du délai. Cependant, la différence de poids avec les butons traditionnels conduit à augmenter la capacité des moyens de levage et le coût de location oblige à tenir compte de la durée d'immobilisation dans la fouille.

Le retour d'expérience de l'utilisation de butons hydrauliques sur ce chantier a conduit Razel-Bec à proposer cette technique sur d'autres opérations de chantiers urbains, comme par exemple le chantier de la tranchée couverte de Ségurane à Nice (figure 9). ▷



8

© PHOTOOTHÈQUE RAZEL-BEC



9

© PHOTOOTHÈQUE RAZEL-BEC





10

© JEAN-LOUIS AUBERT

Outre la facilité de pose et dépose, ce type de butons permet d'introduire une précharge active, ce qui permet de maîtriser et limiter les déplacements des bâtiments avoisinants lors de la phase de terrassement. Il convient, en contrepartie, de tenir compte lors des études d'exécution de la plus grande souplesse de ces butons par rapport à des butons métalliques circulaires traditionnels, du fait de la présence des vérins.

### CONSTRUCTION DE LA STATION ROSNY-BOIS-PERRIER

La station souterraine est limitée à un seul niveau de sous-sol car le tunnel de part et d'autre est construit en tranchée couverte limitant la profondeur du

radier de la voie à 11 m environ. De ce fait, les locaux techniques de la station sont situés dans le prolongement des quais et rallongent la station de 40 m. Insérée entre la voie du RER E et la rue Léon-Blum (figure 10), l'emprise du chantier contient juste la surface de l'ouvrage et ne permet pas de disposer de zone de stockage suffisant. Cela a conduit les équipes à adapter les méthodes en construisant la zone des locaux techniques en sous-œuvre sous la dalle de couverture aménagée en zone de stockage et aire de préfabrication des cages d'armatures. Cette dalle repose sur les parois moulées de la station et elle est appuyée sur des pieux profonds situés dans l'alignement du futur voile séparant le

**10- Proximité des voies SNCF du RER E.**

**11- Construction des ouvrages dans l'embaras des lits de butons.**

**12- Pose des poutres.**

**10- SNCF railway tracks near RER E.**

**11- Construction of the structures restricted by the layers of struts.**

**12- Placing beams.**

tunnel des locaux techniques. Après le terrassement et le bétonnage du radier, les pieux profonds sont remplacés par le voile coulé et vibrés en sous-œuvre en utilisant les tubes de réservation traversant la dalle.

La partie de la station réalisée à ciel ouvert fait appel à des techniques plus classiques. La difficulté étant de construire les ouvrages dans l'embaras des deux lits d'énormes butons (figure 11) et enfin de déposer ces butons de 22 m de long pour un diamètre de 1 200 mm lorsque les voiles et la dalle de couverture peuvent reprendre les efforts supportés provisoirement par les butons.

Les coffrages des grands voiles ont été déplacés sous les butons supérieurs



11

© PHOTO THÉÂTRE RAZEL-BEC



12

© JEAN-LOUIS AUBERT





13  
© JEAN-LOUIS AUBERT



14  
© PHOTOTHÈQUE RAZEL-BEC

sur un chariot conçu spécifiquement pour le chantier.

Les 17 poutres principales en arc de 11 m de portée pesant 20 t chacune ont été posée de nuit au rythme de 4 par nuit (figure 12). La dalle de couverture a été coulée sur des prédalles autoportantes.

Les butons ont été découpés au droit des murs de quai. Deux chariots élévateurs roulant sur les dalles de quai étayées les ont acheminés sous la trémie laissée dans la dalle (figure 13) pour une prise en charge par la grue à tour pour l'orientation, un nouveau désassemblage et l'évacuation hors de la gare.

Premier lot du prolongement de la Ligne 11 mis à disposition de la RATP, la pose des voies sur le tronçon livré par Razel-Bec et Sefi-Intrafor s'est récemment terminée. Les équipes Razel-Bec sont réintervenues sur le chantier afin de refermer la trémie encore ouverte, laissée à disposition du lot voies (figure 14). Place maintenant à la construction du système ferroviaire

**13- Ferrailage de la dalle de couverture et vue de la trémie pour dépose des butons.**

**14- Fermeture des trémies laissées à disposition de lot "Voie".**

**13- Reinforcement of the cover slab and view of the opening for strut removal.**

**14- Closing the openings left available for the "Track" work section.**

qui devrait, quant à lui, démarrer à l'été 2021 depuis le terminus, la station Rosny-Bois-Perrier. C'est aussi sur ce tronçon que la RATP envisage de réaliser, avant la mise en service, le test des futures rames de métro. □

## PRINCIPALES QUANTITÉS

**ARMATURES DE PAROIS MOULÉES : 2750 t**

**BÉTON DE PAROIS MOULÉES : 33 700 m<sup>3</sup>**

**PIEUX POUR BERLINOISE : 2800 m**

**DÉBLAIS : 203 000 m<sup>3</sup>**

**BÉTON GÉNIE CIVIL : 33 300 m<sup>3</sup>**

**ARMATURES GÉNIE CIVIL : 3 300 t**

**COFFRAGES FINS : 35 000 m<sup>2</sup>**

## PRINCIPAUX INTERVENANTS

**MAÎTRE D'OUVRAGE : RATP**

**MAÎTRE D'ŒUVRE : RATP Infrastructures**

**CONSTRUCTION : Razel-Bec, Sefi-Intrafor**

**BUREAUX D'ÉTUDES D'EXÉCUTION ET MÉTHODES : Razel-Bec, Sefi-Intrafor**

PRINCIPAUX PRESTATAIRES

**TERRASSEMENTS DÉMOLITION : Smtp, Atm, Tpf**

**VOIRIE : Colas**

**ARMATURES : Ruhl Mecab**

**ÉTANCHÉITÉ : Eurovia, Etandex**

**PIEUX : Franki Fondations**

## ABSTRACT

### LINE 11 OF THE PARIS METRO: BELOW THE ROSNY LOOP

MICHEL BOUSQUET, RAZEL-BEC

The civil works for the Rosny loop consist of a 1600-metre diaphragm-wall cut-and-cover tunnel, a station and three accessory structures located in the area occupied by the car parks of Rosny 2 shopping centre. The project is divided up into 17 sectors of variable length, each to be executed by a partial completion deadline, initiated randomly, so that the works may occupy only a small area of the car parks and entrances of the shopping centre, thereby ensuring the fluid movement of customers. The tunnel crosses avenue Charles-de-Gaulle twice, adopting a supporting structure of Berlin-type retaining walls to keep the main services operational. It passes under the A86 slip roads and ends near the maintenance workshop at end of line. □

### LÍNEA 11 DEL METRO DE PARÍS: LOS ENTRESIJOS DEL BUCLE DE ROSNY

MICHEL BOUSQUET, RAZEL-BEC

La ingeniería civil del bucle de Rosny consta de un tramo cubierto en paredes de hormigón de 1.600 m, una estación y tres construcciones anexas situadas en el recinto de los parkings del centro comercial de Rosny 2. La obra se divide en 17 sectores de longitud variable, que se ejecutarán en plazos parciales activados de forma aleatoria para mantener una superficie reducida de trabajo en los parkings y el acceso al centro comercial, lo que garantizará la fluidez de circulación de los clientes. El túnel cruza dos veces la avenida Charles-de-Gaulle, sustentado en pantallas berlínesas para mantener en servicio las principales redes. Pasa por debajo de los tramos de acceso a la A86 para terminar su recorrido hacia el taller de mantenimiento de final de línea. □





1- Rameau  
achevé.  
1- Completed  
connecting  
gallery.

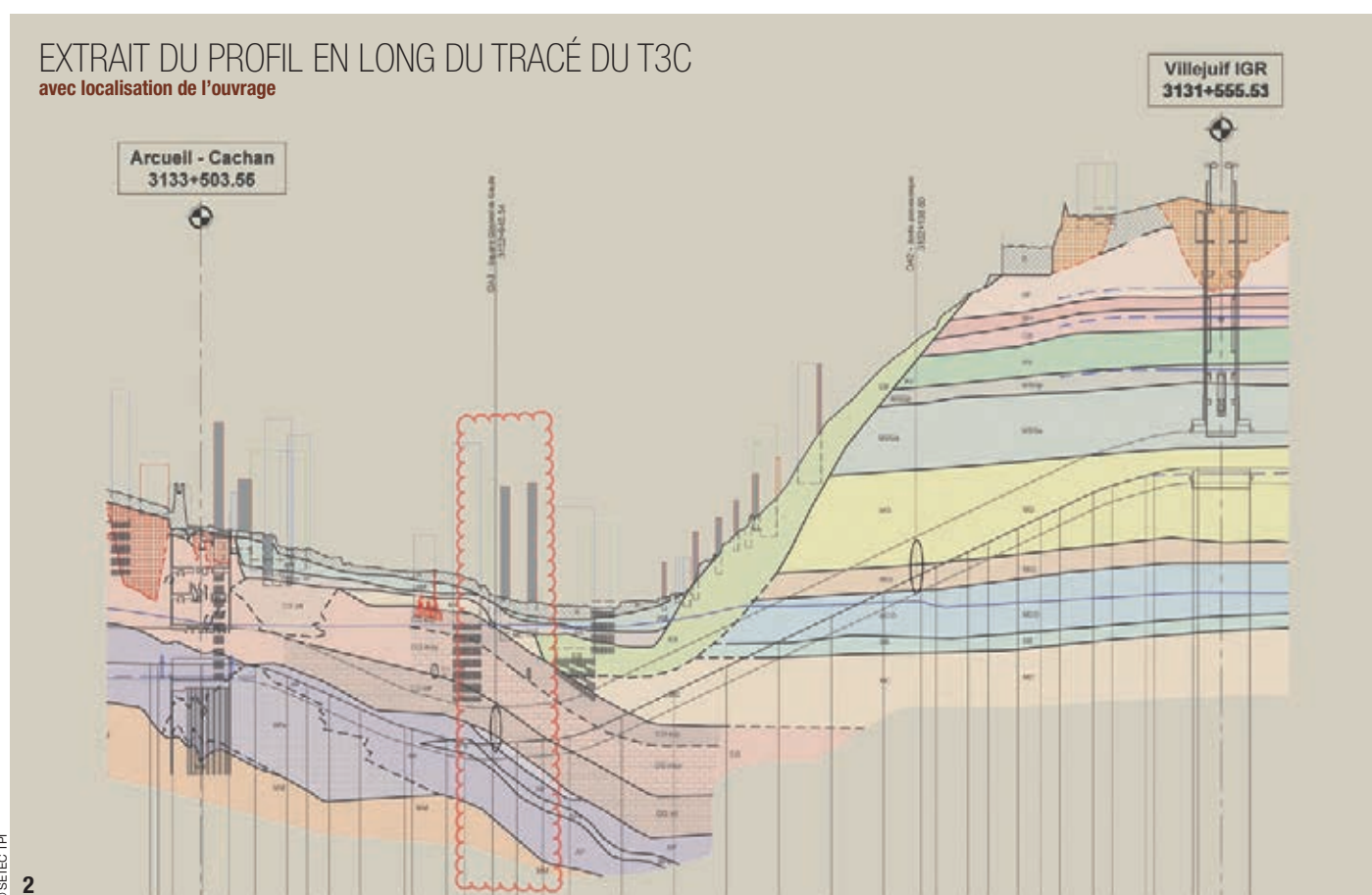
© SETEC TPI



# LIGNE 15 SUD - EXCAVATION DU RAMEAU 1702P DANS UN CONTEXTE DÉFAVORABLE

AUTEURS : ÉLISE PEYRARD, GÉOTECHNICIENNE, DODIN CAMPENON BERNARD - JEAN-FRANÇOIS OREFICI, DIRECTEUR TECHNIQUE, VINCI CONSTRUCTION GRANDS PROJETS - YASSINE BEN DHAOUI, ADJOINT AU DIRECTEUR MAÎTRE D'ŒUVRE TRAVAUX, SETEC TPI - ANTHONY BACHELIER, GÉOTECHNICIEN MAÎTRE D'ŒUVRE TRAVAUX, SETEC TERRASOL

LA LIGNE 15 SUD DU GRAND PARIS EXPRESS EST DÉCOUPÉE EN PLUSIEURS TRONÇONS DONT LE T3C ENTRE LES GARES VILLEJUIF-LOUIS-ARAGON ET FORT-D'ISSY-VANVES CLAMART QUI A ÉTÉ CONFÉ À AU GROUPEMENT CAP (VINCI CONSTRUCTION ET SPIE BATIGNOLLES). ENTRE LES GARES, DES OUVRAGES DITS ANNEXES PONCTUENT LE TRACÉ TOUS LES 800 m ET SONT RELIÉS AU TUNNEL PAR UN RAMEAU (VENTILATION, ACCÈS DE SECOURS). L'OUVRAGE 1702P SITUÉ AU POINT BAS DU TRACÉ, AU CŒUR LA VALLÉE DE LA BIÈVRE, DANS UN CONTEXTE HYDROGÉOLOGIQUE ET GÉOTECHNIQUE COMPLEXE A FAIT L'OBJET DE TRAVAUX SPÉCIAUX DE CONSOLIDATION.



L'ouvrage annexe OA-1702P est situé à Cachan (Val-de-Marne) à l'intersection des rues Max-Dormoy et Camille-Desmoulins, dans la partie Sud du square du Général de Gaulle (TN à 45,8 m NGF environ). Il est constitué d'un puits circulaire, d'un rayon utile de 3,5 m et d'environ 35 m de profondeur, d'un rameau reliant le tunnel au puits d'une longueur

**2- Extrait du profil en long du tracé du T3C avec localisation de l'ouvrage.**

**2- Excerpt from the longitudinal profile of the T3C alignment with structure location.**

d'environ 15 m et de locaux techniques faiblement enterrés.

En plus d'assurer un accès pompiers, cet ouvrage permet de collecter et de relever les eaux d'infiltration du tunnel, lequel est à un point bas du tracé.

Le rameau de cet ouvrage se situe entre 15,2 et 23,4 m NGF et possède une voûte de rayon variable de 1,4 à 3,7 m environ. Il a été excavé en février

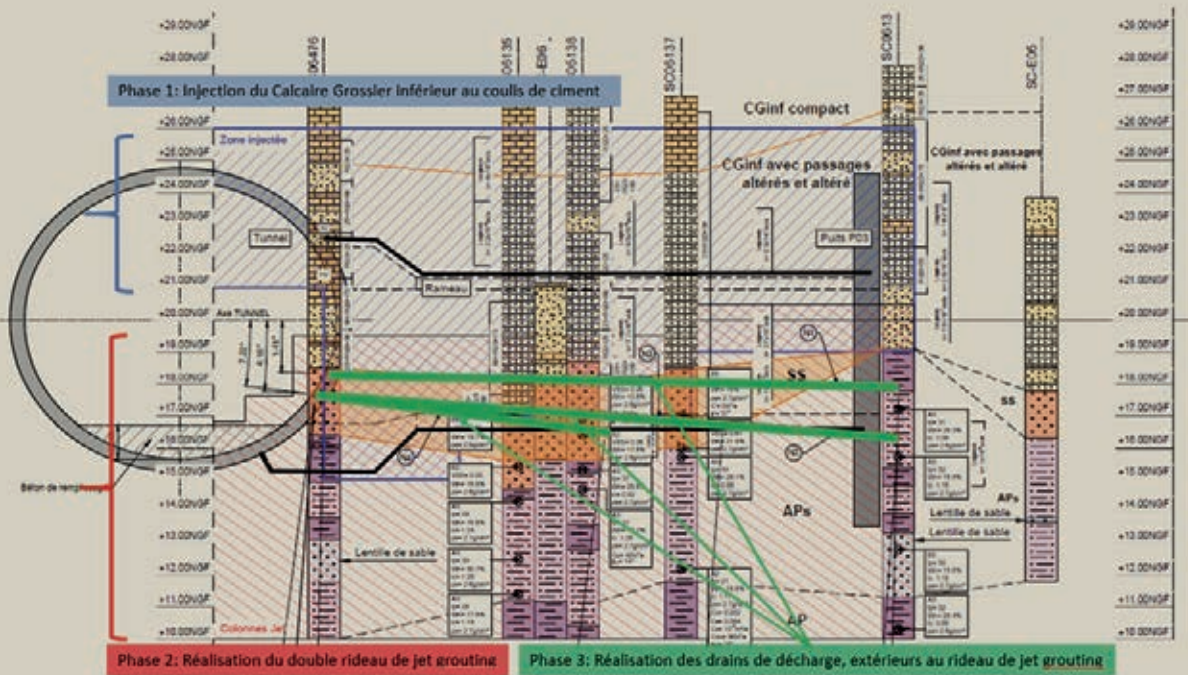
2021 après réalisation du puits et du passage du tunnelier.

Les précautions et travaux spéciaux mis en œuvre pour la réalisation de ce rameau sont abordés par la suite.

Le rameau s'inscrit dans un contexte urbain complexe en raison de la présence de voirie, d'avoisinants et de réseaux enterrés sensibles et en service à proximité. ▶



COUPE GÉOLOGIQUE LONGITUDINALE DU RAMEAU  
avec représentation de la zone des calcaires grossiers injectés et de la zone concernée par le jet grouting



3 © GROUPEMENT CAP (VINCI CONSTRUCTION / SPIE BATIGNOLLES)

**CONTEXTE  
HYDROGÉOLOGIQUE  
ET GÉOTECHNIQUE**

Le contexte hydrogéologique et géotechnique est particulier car l'ouvrage se situe dans la vallée de la Bièvre, à la transition entre la plateforme lutétienne de Paris et le plateau stampien de Villejuif, au point de convergence des nappes (alluviale et lutétienne) dont le niveau est mesuré vers 40 m NGF (figure 2).

D'un point de vue géologique, le rameau de l'ouvrage OA-1702P recoupe en partie supérieure le calcaire grossier inférieur sablo-gréseux jusqu'à environ 18,4 m NGF et en partie inférieure les formations de l'Yprésien indifférenciées, communément appelées Argiles Plastiques, constituées d'argiles plastiques et d'argiles plastiques sableuses.

La campagne de reconnaissance géotechnique réalisée en phase préparatoire puis complétée en phase travaux dans le cadre de la mission G3 a permis de reconnaître le caractère friable du Calcaire Grossier inférieur, d'identifier des franges clairement sableuses au sein des Argiles Plastiques ainsi qu'une nappe captive circulant dans ces Sables Yprésiens, isolée par les Argiles Plastiques sous-jacentes et par

l'épente semi-perméable de la base du Calcaire Grossier inférieur. Ces éléments et les risques en découlant n'avaient pas été clairement identifiés auparavant. Les principales inquiétudes quant à la réalisation du rameau se portent alors sur la faisabilité d'une excavation traditionnelle dans un contexte hydrogéotechnique très défavorable. En effet,

la présence de franges sableuses dont la continuité n'est pas certaine dans l'emprise des travaux du rameau et la circulation d'une nappe en surpression dans ces sables ont conduit à réaliser, après l'étude de plusieurs scénarios, des travaux spéciaux de consolidation de sol et à modifier le phasage d'excavation afin de limiter les risques de débouillage.

**3- Coupe géologique longitudinale du rameau avec représentation de la zone des calcaires grossiers injectés et de la zone concernée par le jet grouting.**

**4- Extrait du plan de tir des forages de traitement par injection d'étanchement du calcaire grossier - récolement avec les réseaux existants en service.**

EXTRAIT DU PLAN DE TIR  
des forages de traitement par injection d'étanchement du calcaire grossier - récolement avec les réseaux existants en service



**3- Longitudinal geological section of the connecting gallery with illustration of the grouted Lutetian limestone area and the area concerned by jet grouting.**

**4- Excerpt from the grout hole layout for grouting treatment to seal the Lutetian limestone - checking with the existing networks in service.**

4 © BOTTE FONDATIONS



5- Jet grouting, spoil des sables yprésiens.

6- Représentation en 3D de l'ouvrage avec les sondages géotechniques réalisés dans le cadre de la mission G3, le double rideau de jet grouting isolant le rameau et les drains de décharge extérieurs réalisés depuis le tunnel.

5- Jet grouting, Ypresian sands spoil.

6- 3D illustration of the structure with the geotechnical surveys performed as part of the G3 work, the double jet-grouting screen insulating the adit gallery and the external discharge drains executed from the tunnel.



© BOTTE FONDATIONS

### TRAVAUX SPÉCIAUX DE CONSOLIDATION

Les travaux de consolidation pour la sécurisation de l'excavation du rameau se déclinent en 3 phases (figure 3) :

#### PHASE 1 : INJECTION DES CALCAIRES GROSSIERS EN TOIT DU RAMEAU

L'objectif recherché est de réduire la perméabilité de fracture des Calcaires Grossiers afin de limiter les arrivées

d'eau en voûte du rameau lors de l'excavation.

Les travaux consistent à injecter en bentonite-ciment et IRS une auréole avec un maillage de 1,5 m x 1,5 m dans les Calcaires Grossiers inférieurs situés au-dessus du rameau avec un débord de 4 m de part et d'autre de la section excavée. En raison des nombreux réseaux enterrés en service, ces travaux en tirs inclinés ont nécessité une préparation et une attention particulière (figure 4).

#### PHASE 2 : DOUBLE RIDEAU DE JET GROUTING

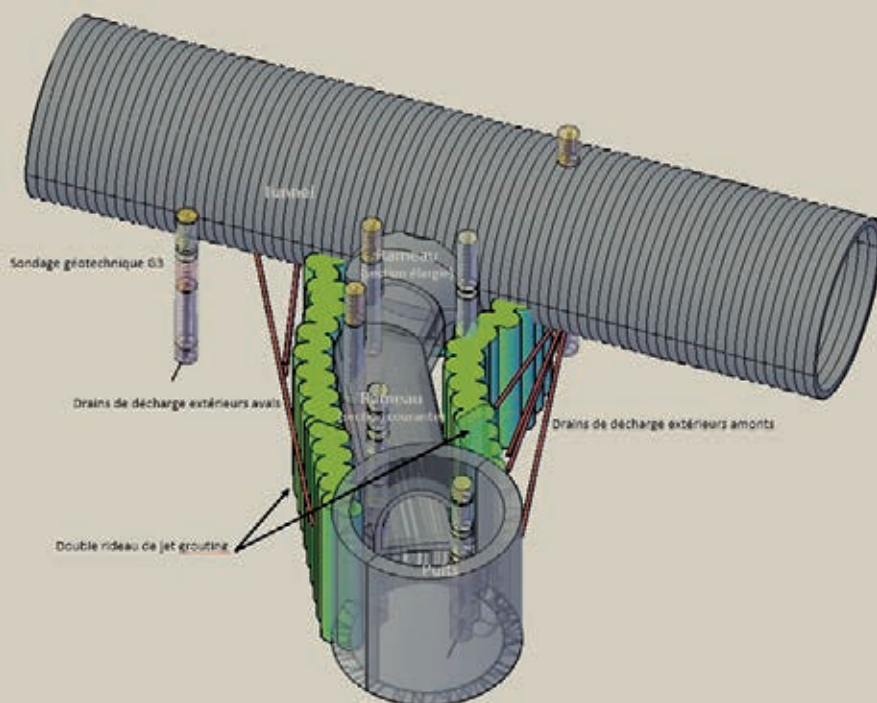
Pour créer une boîte semi-étanche et compte-tenu du caractère incertain du résultat d'injection des Sables Yprésiens identifiés en partie inférieure du rameau, un double rideau de jet grouting est mis en œuvre. Ce procédé a permis de créer un compartiment imperméable emprisonné entre les Calcaires Grossiers injectés en toit, les voussoirs du tunnel et la paroi moulée du puits aux deux extrémités, les doubles rideaux de jet grouting en piédroits et enfin, les Argiles Plastiques situées à quelques mètres sous le stross. Afin d'ajuster au mieux les paramètres de réalisation des colonnes, des plots d'essais ont été réalisés au préalable puis caractérisés par la méthode géophysique du Cylindre Electrique et des sondages sur la hauteur de la colonne. De part et d'autre du rameau, les colonnes sont ancrées, en tête, de 1 m dans les Calcaires Grossiers préalablement injectés et de 0,5 m dans les Argiles Plastiques en base du rameau. Les colonnes se situant à une profondeur non négligeable (base à 37 m de profondeur) et présentant un risque de déviation important, il a été décidé de sous-phaser la réalisation du double rideau :

- Réaliser des préforages primaires jusqu'à la tête des colonnes et les équiper de tubes guides scellés au terrain ;
- Mesurer la déviation de ces tubes guides ;
- Adapter le plan de tirs des colonnes secondaires en fonction des relevés réels des tirs primaires ;
- Réaliser des préforages secondaires équipés de tubes guides ;
- Mesurer les déviations ;
- Adapter les consignes du jet grouting pour développer les colonnes en conséquence et rattraper les déviations éventuellement divergentes, tout en assurant un remordu de 20 cm entre colonnes (figure 5).

Préalablement à la réalisation des phases 1 et 2, un ensemble de dispositifs d'auscultation en continu des avoisinants a été déployé afin de pouvoir piloter les travaux dans le respect des critères de déformations admissibles et alerter instantanément dès dépassement des seuils fixés. Ce dispositif consiste à déployer une ligne de visée laser fixant des points sur les avoisinants, des lasers qui donnent une alerte, sonore par sirène et visuelle par gyrophare, installés directement sur la machine de jet grouting, dès qu'une cible sort du champ de visée.

### REPRÉSENTATION EN 3D DE L'OUVRAGE

avec les sondages géotechniques réalisés dans le cadre de la mission G3, le double rideau de jet grouting isolant le rameau et les drains de décharge extérieurs réalisés depuis le tunnel



© GROUPEMENT CAP (VINCI CONSTRUCTION / SPIE BARTIGNOLLES)

6



**PHASE 3 : RÉALISATION DE DRAINS DE DÉCHARGE**

Afin de réduire la pression hydrostatique appliquée au double rideau de jet grouting, dégarni côté section creusée et ne résistant pas au cisaillement et pour limiter le risque de débouillage des Sables Yprésiens durant la phase l'excavation du rameau, des drains sont réalisés sous sas depuis le tunnel, inclinés entre 19 et 17 m NGF. Ces drains recoupent les Sables Yprésiens (4 drains en amont du sens d'écoulement de la nappe, 3 en aval). Ils sont réalisés à l'aide de tubes métalliques abandonnés dans le forage. Ces tubes sont perforés et équipés de pastilles solubles dans l'eau au bout de 72 heures, ainsi ils permettent de réduire le risque de débouillage lors de l'équipement des drains crépinés. Le nombre de pastilles au mètre de tube métallique a été établi en fonction du diamètre de celles-ci et du débit de rabattement attendu. En parallèle, pour intercepter les arrivées d'eau résiduelle du calcaire en voûte et vidanger la boîte semi-étanche délimitée, entre autres, par les colonnes de jet grouting, sept drains de rabattement recoupent le Calcaire Grossier

et les Sables Yprésiens sont réalisés depuis le puits, dans l'axe du rameau (figure 6).

**VÉRIFICATION DE L'EFFICACITÉ DES TRAVAUX SPÉCIAUX**

La vérification du système d'étanchement et consolidation pour sécuriser les travaux se fait par différents essais d'ouverture des drains. Les essais sont pilotés grâce à l'installation et au suivi de dispositifs d'auscultation. Ceux-ci sont installés en forage depuis la surface et sont constitués de deux cellules de pression interstitielle (CPI) installées dans les Sables Yprésiens de part et d'autre du rameau (en amont et en aval du sens d'écoulement de la nappe superficielle), d'un piézomètre court ainsi que de deux inclinomètres descendus dans le remordu de 3 colonnes de jet grouting. Ces essais permettent également de quantifier les débits d'eau à gérer en fond de puits et en tunnel pour adapter les installations de collecte et d'évacuation. Ces dispositifs permettent de s'assurer de l'efficacité des drains et de la quasi-étanchéité de la boîte par mesures du niveau de la nappe superficielle et des

variations des surpressions dans les Sables Yprésiens lors d'essais d'ouverture des drains extérieurs ou intérieurs au rameau. Il est alors constaté un abaissement de la pression hydrostatique de l'ordre de 150 à 200 kpa par les CPI situées dans les Sables Yprésiens, suffisant pour réduire significativement le risque de débouillage des sables en cas de discontinuité locale entre colonnes de jet grouting (figure 7).

**EXCAVATION DU RAMEAU PHASAGE**

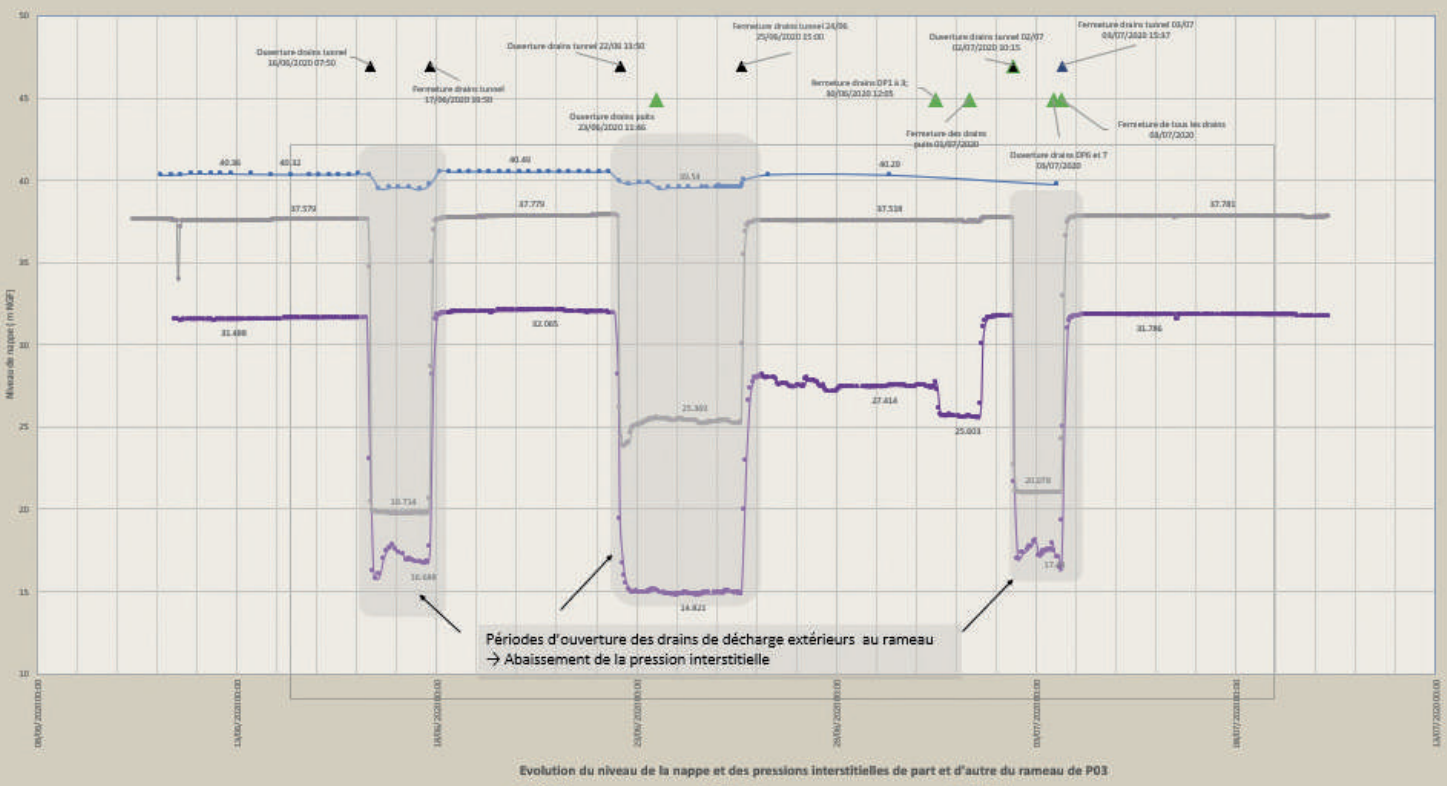
Concernant le phasage d'excavation du rameau, celui-ci était initialement prévu en pleine section depuis le puits afin de ne pas perturber la circulation en tun-

nel et la réalisation du béton sous voie. Après identification des risques hydrologiques et géotechniques et malgré les 3 phases de travaux de consolidation et sécurisation préalables, le principe d'excavation a été revu avec ouverture de la demi-supérieure puis de la demi-inférieure de la section, avec une contrainte d'excavation par passes courtes d'un mètre (figure 8). Ce phasage a permis, lors de l'excavation de la demi-supérieure, d'appréhender et de gérer au mieux les arrivées d'eau résiduelles provenant du Calcaire Grossier, de vérifier la continuité des colonnes de jet grouting à l'avancement et de constater leur diamètre réel ainsi que de décharger l'eau des sables sous-jacents pour faciliter et sécuriser l'excavation de la demi-inférieure. Au cours de l'excavation de la demi-supérieure du rameau, les arrivées d'eau les plus importantes et les plus délicates à gérer provenaient de l'interface entre les sols en place et les panneaux de la paroi moulée du puits. En effet, des circulations continues sont rendues possibles par l'absence de contact étanche entre matériaux de natures différentes (béton/calcaire).

**7- Résultats des essais des drains de rabattement pour le rameau.**

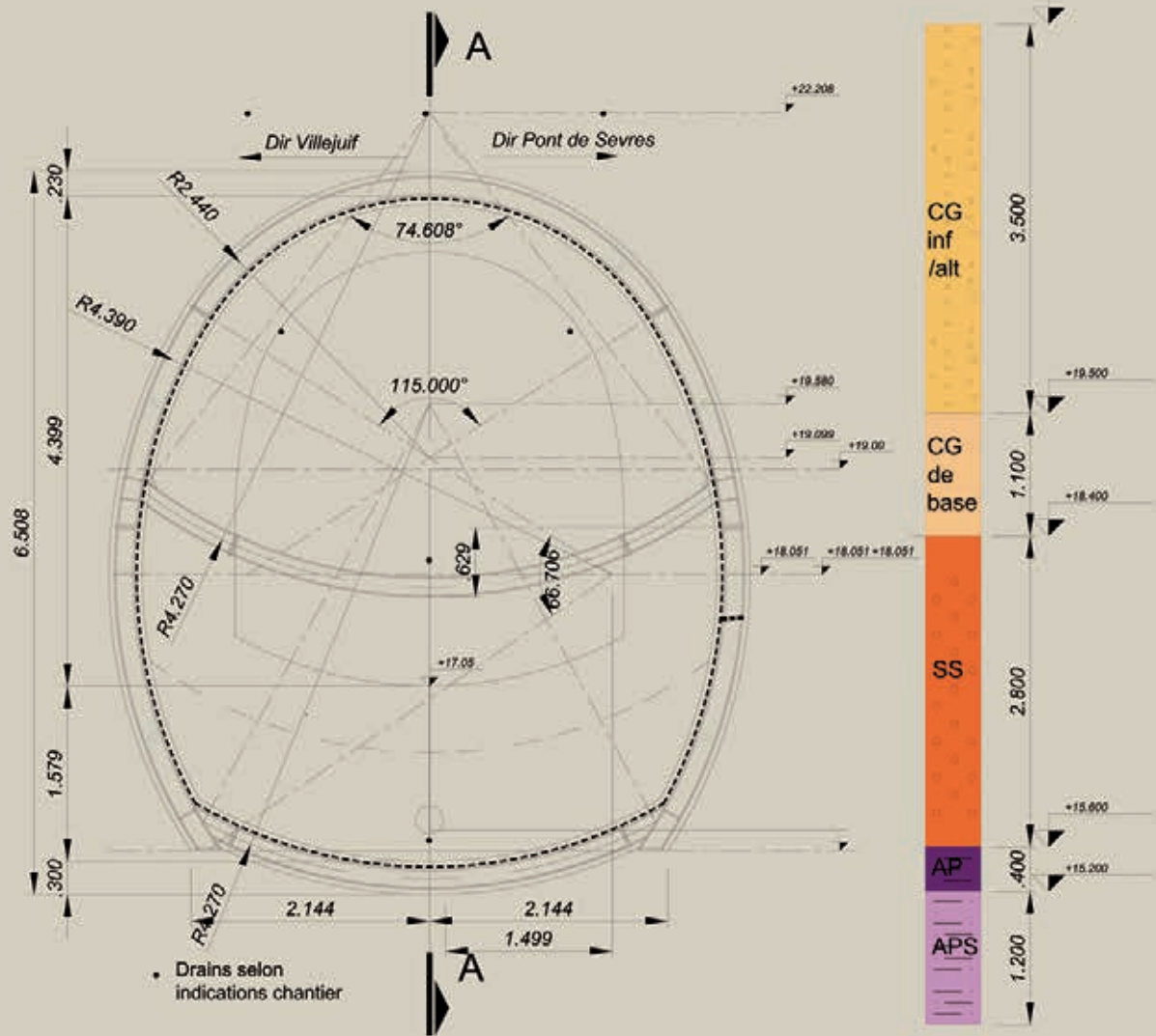
**7- Results of tests on groundwater lowering drains for the connecting gallery.**

**RÉSULTATS DES ESSAIS DES DRAINS DE RABATTEMENT POUR LE RAMEAU**





## EXTRAIT DU PLAN DE SOUTÈNEMENT DU RAMEAU avec la coupe géologique retenue pour son calcul



© GROUPEMENT CAP (MINCI CONSTRUCTION / SPIE BATHIGNOLLES)

8

Ce phénomène a également été rencontré sur l'ensemble des rameaux du tracé dont l'ouverture s'est faite à partir des puits.

Le modèle géotechnique et les limites lithologiques définies en phase G3 ont pu être confirmées, avec la rencontre d'une couche purement sableuse continue d'une épaisseur comprise entre 1,6 et 1,8 m.

### GESTION DES EAUX EN PHASE CREUSEMENT DU RAMEAU

La mise en place d'une *geospacer* en voûte après excavation de la première passe de la demi-supérieure a permis de collecter et d'évacuer les eaux vers le puits.

Par la suite, pour éviter la mise en charge du soutènement provisoire en béton projeté armé, des barbacanes ont

### 8- Extrait du plan de soutènement du rameau avec la coupe géologique retenue pour son calcul.

### 8- Excerpt from the connecting-gallery supporting structure plan with the geological cross section selected for its design.

été installées localement au droit des zones calcaires les plus friables présentant des écoulements ( $< 0,5 \text{ m}^3/\text{h}$ ). La mise en œuvre de matériaux drainants et d'un puisard déplacé à l'avancement au front a facilité la circulation

d'engins hors d'eau au niveau de la contre-voûte provisoire.

Lors des relevés de front, les veines plus au moins larges de coulis d'injection ont été relevées dans le calcaire grossier inférieur, confirmant la nécessité d'avoir réalisé des injections préalablement à l'excavation afin de réduire la perméabilité des fractures.

La qualité des colonnes de jet grouting a pu être vérifiée lors de l'excavation à la base de la demi-supérieure puis lors de l'ouverture de la demi-inférieure de la section du rameau. L'ajustement des paramètres de réalisation des colonnes a permis d'obtenir des diamètres supérieurs à 1,5 m et un rideau continu jusqu'au toit des Argiles Plastiques. Ce rideau a permis effectivement d'étancher les contours du rameau car aucune arrivée d'eau laté-

rale n'a été observée lors du creusement (figure 9).

Les drains intérieurs au rameau et le phasage de creusement retenu ont permis la décharge hydraulique des sables, leur conférant une bonne tenue lors de l'excavation.

### GESTION DES EAUX EN TUNNEL (drains à l'extrados du rideau de jet grouting)

Les drains réalisés depuis le tunnel et extérieurs au rameau ont été ouverts quelques jours avant sciage de la paroi moulée du puits afin d'obtenir un abaïssement stabilisé de la pression hydrostatique dans les Sables Yprésiens.

Les drains sont restés ouverts durant toute la durée de l'excavation. Ils ont été raccordés à des débitmètres et à un bac de décantation installés en tunnel. ▽



Les débits, constants et de l'ordre de 8 à 10 m<sup>3</sup>/h ont été contrôlés régulièrement afin de s'assurer du bon fonctionnement des drains.

### AUSCULTATIONS

Les travaux ont été réalisés sous une surveillance continue des dispositifs d'auscultation spécifiques aux travaux préparatoires, en plus des dispositifs installés pour la surveillance des avoisinants. Après ouverture des drains et obtention du régime permanent de décharge de la nappe en surpression dans les Sables Yprésiens, le creusement du rameau n'a pas induit de déformation significative dans les colonnes de jet grouting instrumentées, ni de variations significatives du niveau de la nappe superficielle.

### SOUTÈNEMENT DU RAMEAU

Le soutènement du rameau consiste à poser un cintre de type HEB180 avec contre-cintre dans une contre-voûte provisoire mise en place lors de l'excavation de la demi-supérieure. Un élément de ce contre-cintre a été réemployé in fine pour le soutènement de la section entière (figure 8). L'excavation de la demi-inférieure a été approfondie afin d'intégrer l'emplacement du collecteur central. Cela permet de limiter le nombre de raccords entre les éléments de collecteur et de pérenniser son fonctionnement.



9- Front d'excavation du rameau en cours excavation de la demi-inférieure.

9- Adit excavation front during excavation of the lower half.

### CONCLUSIONS

Les risques hydrologiques et géotechniques ont été identifiés en amont des travaux et discutés de manière conjointe entre la maîtrise d'œuvre et le groupement Cap puis validés par le maître d'ouvrage. Ces échanges techniques ont permis la mise au point d'une solution technique de consolidation et de sécurisation dans un milieu urbain très dense (réseaux, voirie...). Les études d'exécution qui ont intégré les variations géotechniques et hydrologiques (passes courtes, soutènement adapté pour limiter les déformations de l'ouvrage et des avoisinants...) et l'investissement des équipes travaux (sensibilisation aux risques géotechniques, organisation chantier...) ont permis d'assurer la réalisation de l'excavation en sécurité dans un délai relativement court (figure 1). Les travaux de consolidation et de sécurisation des travaux ont montré leur efficacité vis à vis du contexte particulier de l'ouvrage et des risques associés. □

## PRINCIPALES QUANTITÉS

**DIAMÈTRE ET PROFONDEUR DU PUIT :** 9 m / 35 m  
**SECTION ET LONGUEUR DU RAMEAU :** 23 m<sup>2</sup> / 15 m  
**NOMBRE DE COLONNES DE JET GROUTING :** 81 u  
**NOMBRE DE FORAGES DE TRAITEMENT D'ÉTANCHEMENT :** 140 u  
**LINÉAIRE TOTAL DE FORAGES (jet grouting, injection, drains et sondages) :** 7 000 m

## PRINCIPAUX INTERVENANTS

**MAÎTRE D'OUVRAGE :** Société du Grand Paris  
**MOE :** groupement Setec (mandataire) - Ingerop  
**ENTREPRISES :** groupement Cap (Vinci Construction Grands Projets, Vinci Construction France, Dodin Campenon Bernard, Spie Batignolles Génie civil, Spie Batignolles Fondations, Botte Fondations)  
**AMOG :** Artemis

### ABSTRACT

#### LINE 15 SOUTH - EXCAVATION OF CONNECTING GALLERY 1702P IN AN ADVERSE ENVIRONMENT

ÉLISE PEYRARD, DODIN CAMPENON BERNARD - JEAN-FRANÇOIS OREFICI, VINCI CONSTRUCTION GRANDS PROJETS - YASSINE BEN DHAOUI, SETEC TPI - ANTHONY BACHELIER, SETEC TERRASOL

**Experience feedback from other projects** carried out in a geological and hydrogeological environment similar to that of the OA-1702P structure was critical for risk identification. Additional geotechnical investigations made it possible to plan ahead and consolidate a secure technical solution by agreement with all the project stakeholders. Technical and geotechnical risk management has become permanently established in contract management for underground structures and makes it possible to anticipate risks by means of studies and perform work to avert such risk issues. □

#### LÍNEA 15 SUR - EXCAVACIÓN DEL TRAMO 1702P EN UN CONTEXTO DESFAVORABLE

ÉLISE PEYRARD, DODIN CAMPENON BERNARD - JEAN-FRANÇOIS OREFICI, VINCI CONSTRUCTION GRANDS PROJETS - YASSINE BEN DHAOUI, SETEC TPI - ANTHONY BACHELIER, SETEC TERRASOL

**Las conclusiones extraídas de otros proyectos** realizados en un contexto geológico e hidrogeológico similar al de obra de la OA-1702P han sido determinantes para la identificación de riesgos. Unas investigaciones geotécnicas adicionales han permitido anticipar y fiabilizar una solución técnica segura, consensuada entre todos los actores del proyecto. La gestión de los riesgos técnicos y geotécnicos se inscribe firmemente en la gestión de los contratos de obras subterráneas y permite optimizar los escenarios de riesgo mediante estudios y realizar obras para protegerse de ellos. □



Villes intelligentes  
Infrastructures innovantes  
Réseaux performants



# Bienvenue dans un monde qui se construit autrement.

L'univers de la construction se transforme. SMABTP adapte ses solutions d'assurance pour mieux vous accompagner. Avançons ensemble.

**Notre métier : assurer le vôtre.**

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

SMABTP – Société mutuelle d'assurance du bâtiment et des travaux publics.  
Société d'assurance mutuelle à cotisations variables, entreprise régie par le Code des assurances.  
RCS PARIS 775 684 764 – 8 rue Louis Armand – CS 71201 – 75738 PARIS CEDEX 15



**SMABTP**  
BÂTIR L'AVENIR AVEC ASSURANCE

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





Port 2000, phase III, postes à quai 11 et 12

Le Havre, France

Postes à quai de 350 m chacun, pour navires porte-conteneurs d'un tirant d'eau pouvant atteindre 17 m.

Intervenant partout dans le monde pour le compte de clients publics ou privés, Soletanche Bachy s'attache à proposer les meilleures solutions techniques et contractuelles.

Elle apporte aussi bien des compétences polyvalentes d'ensemblier dans le cadre de grands projets d'infrastructures, que celles de spécialiste maîtrisant l'ensemble des procédés de géotechnique, de fondations spéciales, de travaux souterrains, d'amélioration et de dépollution des sols.

[www.soletanche-bachy.com](http://www.soletanche-bachy.com)



**SOLETANCHE BACHY**

Buildings

Construire sur du solide