

TRAVAUX

REVUE TECHNIQUE DES ENTREPRISES DE TRAVAUX PUBLICS

TRAVAUX SOUTERRAINS. EXTENSION ET REAMENAGEMENT DE LA STATION DE METRO DE SAINT CHARLES A MARSEILLE. PROLONGEMENT DE LA LIGNE 11 DU METRO PARISIEN AU TUNNELIER. LIGNE 17 - LOT 1 DU GRAND PARIS EXPRESS - TRANSFERT DU TUNNELIER. PROJET D'ASSAINISSEMENT TIDEWAY A LONDRES. MODELISATION DES INCERTITUDES ET OPTIMISATION DE LA GESTION DES MATERIAUX EXCAVES SUR LE TUNNEL DE BASE DU MONT-CENIS. TRESORS DE NOS ARCHIVES : LES TUNNELS D'EL AHZAR AU CAIRE

N°985 MARS 2023



PROJET D'ASSAINISSEMENT TIDEWAY À LONDRES - LOT EST - TUNNELIER ANNIE
© CVB PHOTOTHÈQUE

LES TRAVAUX PUBLICS
FÉDÉRATION NATIONALE



GLOBAL CONSTRUCTEUR

L'assurance de l'activité professionnelle des entreprises du BTP

Votre entreprise, vos chantiers et vos clients sont couverts en un seul et unique contrat.

Toutes nos solutions d'assurance sur www.auxiliaire.fr



Directeur de la publication
Bruno Cavné

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

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

Ont collaboré à ce numéro
Rédaction
Sophie Le Renard (actualités),
Marc Montagnon

Service Abonnement et Vente
TBS GROUP

Service Abonnement Revue Travaux
235, avenue le Jour se Lève
92100 BOULOGNE BILLANCOURT
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

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

Eole-NExTEO

650 000 VOYAGEURS QUOTIDIENS



© JULIEN FALSIMAGNE/LEEXTRA/SNCF RESEAU

Réaliser la seconde phase d'Eole afin de terminer le RER E est l'incroyable aventure que nous avons reprise, plus de 20 ans après la première phase. Nous prolongeons le RER E actuel de 55 km à l'ouest de l'Île de France jusqu'à Mantes-la-Jolie en repartant du cœur de Paris, à Haussmann-Saint-Lazare. L'est et l'ouest de l'Île-de-France seront enfin reliés.

Le RER E ainsi prolongé, combiné à l'ensemble des projets du Grand Paris, contribuera de manière déterminante au maillage des transports à l'échelle de la Région, offrant aux Franciliens de la performance, des itinéraires maillés, des alternatives en cas de difficulté. Cela permettra, pour le même temps de transport, d'aller plus loin vers davantage de destinations.

C'est aussi accompagner durablement l'attractivité de l'Île de France en réduisant les facteurs d'inégalité d'est en ouest, notamment par un meilleur accès à la culture, à l'éducation, aux soins, au logement et à l'emploi, tout en s'inscrivant pleinement dans le défi de la décarbonation. Les défis que porte le Projet Eole sont complexes à plus d'un titre.

Tout d'abord, des défis de construction qui ont conduit les équipes du projet, les ingénieries et les entreprises à se surpasser.

8 km de tunnel au cœur de la zone urbaine la plus dense d'Europe, entre Saint-Lazare et Nanterre, se frayant un passage sous la Défense entre les fondations des tours. Dès la conception du projet, intégrer les sites de travaux et la logistique associée pour un chantier de cette envergure, en pleine ville, est tout de suite apparu comme un point clef potentiellement bloquant. L'écoute et le dialogue avec les élus et les riverains ont permis de trouver les meilleures solutions pour travailler en respectant le mieux possible le cadre de vie des habitants.

Par exemple, à Courbevoie, nous avons privilégié la voie d'eau pour l'évacuation des matériaux du tunnel. Une conduite en pleine ville permet de les transporter jusqu'à la Seine. Plus de 250 camions par jour sont évités.

Il nous a fallu aussi construire deux gares souterraines dont le choix d'implantation de chacune est porteur de grande complexité.

À la Défense, c'est comme si nous avions couché sous le CNIT la tour Montparnasse. Nous avons dû réaliser une opération de haute technicité de reprise en sous-œuvre en portant sur des fondations provisoires le poids des bâtiments du CNIT soit environ 60 000 t, tout en maintenant les activités du site.

À Maillot, la gare est venue se glisser dans un sous-sol très complexe et a dû s'adapter aux décisions d'aménagement prises alors que le chantier démarrait. Il a fallu en faire évoluer la conception alors que sa construction était en cours.

Puis le défi de l'innovation. Nous préparons une exploitation totalement innovante qui constitue sans aucun doute l'avenir du transport en zone dense. Améliorer le quotidien, le rendre plus fiable, permettre encore une croissance qui semble aujourd'hui très compliquée sans engager de gros travaux. Cela passe par une nouvelle façon de concevoir l'exploitation.

Cette innovation peut se résumer en 4 axes :

Le recouvrement : 2 lignes, une Est et une Ouest, qui se juxtaposent dans le tronçon central (Rosa Parks/Nanterre) donnant plus de robustesse en évitant la propagation d'un incident sur toute la ligne, gage de plus de régularité et de ponctualité.

Le nouveau système d'exploitation, NExTEO : assistance à la conduite automatisée des trains et à la régulation du trafic, qui constitue une première mondiale sur un système ferroviaire dit lourd et en milieu ouvert. Le digital au service des voyageurs du quotidien, plus de trains (1 train toutes les 108 secondes en pointe), plus rapides (jusqu'à 120 km/h).

Un centre de commandement unique, véritable tour de contrôle d'est en ouest de l'Île de France qui, à terme, gèrera plus de 3 000 trains par jour soit 20 % du trafic SNCF journalier.

Enfin, un nouveau matériel roulant : le RER NG.

Notre fierté est de relever ces défis grâce à l'agilité et l'intelligence collective des équipes, au service de la mobilité décarbonée et des 650 000 voyageurs quotidiens attendus !

XAVIER GRUZ
DIRECTEUR DU PROJET EOLE-NEXTEO

TRAVAUX SOUTERRAINS

UN VOUSOIR EN COURS D'ÉVACUATION DU MOULE DE FABRICATION © NICOLAS TOURRENC



04 ALBUM

06 ACTUALITÉ



18

ENTRETIEN AVEC MYRIAM FONTAINE-BOULLÉ
LES SOUTERRAINES - DÉVELOPPER LA MIXITÉ DANS LE BTP ET DÉMYSTIFIER SON IMAGE

24 CBE GROUP - MOULES ET CARROUSELS DE VOUSOIRS POUR TUNNELS : LA TECHNOLOGIE FRANÇAISE LEADER DANS LE MONDE



32

EXTENSION ET RÉAMÉNAGEMENT DE LA STATION DE MÉTRO DE SAINT CHARLES À MARSEILLE
Galeries souterraines en traditionnel en milieu urbain



40

PROLONGEMENT DE LA LIGNE 11 DU MÉTRO PARISIEN AU TUNNELIER



48

LIGNE 17 - LOT 1 DU GRAND PARIS EXPRESS
Transfert du tunnelier



54

PROJET D'ASSAINISSEMENT TIDEWAY À LONDRES
Lot Est



60

MODÉLISATION DES INCERTITUDES ET OPTIMISATION DE LA GESTION DES MATÉRIAUX EXCAVÉS
sur le tunnel de base du Mont-Cenis



66

TRÉSORS DE NOS ARCHIVES : LES TUNNELS D'EL AHZAR AU CAIRE
Travaux n°794 - novembre 2003

TIDEWAY ON S'OCCUPE DES ÉGOÜTS DE LONDRES POUR QU'ILS NE POLLUENT PLUS LA TAMISE

Costain Ltd, Vinci Construction Grands Projets, Bachy Soletanche Ltd réalisent en groupement le lot Est du grand projet Tideway qui a pour objectif de mettre fin à la pollution de la Tamise par le rejet des eaux usées. Les contraintes sont, on le devine, la densité urbaine, la géologie, les tassements, le bruit et l'empreinte carbone. L'Hydrofraise électrique, le béton bas carbone Exegy® et le transport des déblais par voie fluviale réduisent l'impact écologique des travaux. (Voir article page 54).



© CIV PHOTOHÉQUE

LE TGV M EN PHASE TEST POUR 6 MOIS

Dernier né des usines Alstom, le TGV M, est actuellement testé. Ce train à grande vitesse nouvelle génération offre de nombreuses innovations. Il sera mis en service à la fin de l'année 2024, entre Paris et le Sud-Est de la France.



© JULIEN GOLDSTEIN / ALSTOM

Le site de Vélím, en République tchèque, est un circuit fermé qui a permis une première étape d'essais. Le TGV M a pu rouler jusqu'à 200 km/h.

Le TGV M n'en finit pas de faire des ronds, à 200 km/h maximum, sur un circuit de 13 km, à 50 km à l'est de Prague, en République tchèque.

Le dernier né des usines Alstom est examiné de près, depuis février 2023, sur le site de Vélím qui offre l'avantage d'être fermé et entièrement dédié à ces essais. Il s'agit de valider le fonctionnement global de ce train à grande vitesse (TGV), de lever les risques apparus en phase de conception par rapport aux exigences réglementaires, d'ajuster les modélisa-

tions numériques et de tester l'interaction de tous les composants entre eux.

Puis les essais se poursuivront sur le réseau national avec des tests jusqu'à 320 km/h, pour obtenir l'Autorisation de mise sur le marché délivrée par l'European Railways Agency (ERA).

Une autre étape "d'endurance" qui précède la mise en service, mettra à l'épreuve la fiabilité de ce nouveau TGV. Conducteurs et chefs de bord pourront ainsi se familiariser, sur le réseau national, avec ce train nouvelle génération.

Les différents tests vont durer 6 mois pour une mise en service à la fin de l'année 2024 entre Paris et le Sud-Est de la France.

→ Confort des voyageurs repensé

Destiné à l'offre TGV Inoui et Ouigo, le TGV M compte beaucoup d'innovations tant pour les voyageurs que pour les agents avec par exemple une réduction de l'ordre de 30% des coûts de maintenance. Les nouvelles rames auront 20% de sièges supplémentaires. Le confort des voyageurs a été repensé avec plus de place pour les fauteuils, des vitres agrandies, un éclairage conforme à l'intensité de la lumière, un Wifi à bord plus performant, une accessibilité accrue pour les personnes à mobilité réduite. Autre nouveauté : les voitures pourront être d'ajustées selon les besoins, des 1^{re} classes

pourront devenir seconde classe, des sièges et des espaces bagages ou vélos pourront être ajoutées ou retirés. Alstom revendique un bilan carbone compétitif, avec 32% d'émissions de gaz à effet de serre en moins et 97% des composants de la rame recyclables. En mars, des essais ont débuté en chambre climatique pour tester la résistance du train face à des températures extrêmes entre -20°C à +40°C.

SNCF Mobilités a commandé 100 trains à Alstom pour un montant de 2,7 Mds€. SNCF Voyageurs a approuvé la commande de 15 TGV M supplémentaires en version internationale. Ce contrat s'élève à 590 000 €. Ce projet est soutenu par l'Etat par le biais de l'Ademe et du Secrétariat général pour l'investissement (SGPI). ■



© JULIEN GOLDSTEIN / ALSTOM

Dans la phase test, à l'intérieur du TGV M, les ingénieurs font différentes simulations en situation réelle sur l'ensemble des aspects concernant le fonctionnement de ce train.

LA LOI SUR LES ÉNERGIES RENOUVELABLES DÉFINITIVEMENT ADOPTÉE

Dans une procédure accélérée, le projet de loi relatif à la production d'énergies renouvelables a été adopté, le 7 février 2023, au Sénat. L'objet de ce texte législatif étaient de lever les freins en simplifiant les procédures, en planifiant le déploiement des installations et en libérant du foncier. « C'est la première fois que les ENR bénéficient d'un texte dédié. C'est un symbole, et nous souhaitons que cette étape politique importante marque le début d'une nouvelle ère pour les énergies renouvelables dans notre

pays » a considéré Jules Nyssen le nouveau Président du Syndicat des énergies renouvelables (SER). Mais l'organisme a néanmoins pointé de nombreux aspects sur lesquels les parlementaires auraient pu aller plus loin. Si le syndicat salue les mesures pour solariser les surfaces déjà artificialisées, les parkings au-delà de 1 500 m² devant être équipés d'ombrières photovoltaïques « il espère que la liste des dérogations à cette obligation ne viendra pas freiner le développement de cette solution simple et efficace. »

Le texte prévoit des mesures d'accélération administratives, de simplification des procédures et réduit l'instruction des projets d'énergies renouvelables soit 1 mois pour les pompes à chaleurs, 3 mois pour le solaire et 6 mois pour le remplacement d'infrastructures déjà existantes.

→ Élus locaux acteurs clés

Les élus locaux deviennent des acteurs clés et peuvent définir des zones prioritaires d'implantation. Dans un délai de six mois, ils doivent mener la concertation auprès de la population et différentes

délibérations. Le comité régional de l'énergie doit donner son avis. Mais chaque collectivité dispose d'un droit de veto et doit intégrer cette zone dans les différents documents d'urbanisme. Une procédure assez lourde, à renouveler tous les 5 ans. Alors que 11 GW d'éolien et 15 GW sont en attente de raccordement, la loi a modifié la planification des réseaux. Les porteurs de projet sont encouragés à déclarer leurs projets avant l'élaboration du schéma de raccordement, qui est étendu à 15 ans, au lieu de 10. ■

Digitalisation des activités

Travail collaboratif

Partage des données



**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

SMABTP - Société mutuelle d'assurance du bâtiment et des travaux publics
Société d'assurance mutuelle à cotisations variables, entreprise régie par le Code des assurances
RCS PARIS 775 684 764 - 8 rue Louis Armand - CS 71201 - 75738 PARIS CEDEX 15



SMABTP
BÂTIR L'AVENIR AVEC ASSURANCE

**1^{er} assureur
de la construction**

UN MASTÈRE EUROPÉEN DÉDIÉ AUX INFRASTRUCTURES MARINES BUILDERS

BUILDERS - école d'ingénieurs qui forme depuis trente ans des ingénieurs dans les secteurs du BTP, s'est associée à 4 universités européennes (Barcelone - Espagne, Trondheim - Norvège, Gênes - Italie, Caen - France) pour proposer un "Master of science in coastal and marine engineering and management". Cette formation spécialisée porte, au choix sur les ports et voies navigables, le génie de l'environnement côtier ou la gestion du littoral. C'est un programme reconnu Erasmus, avec une ouverture aux étudiants de pays non européens.*

* Master en ingénierie et gestion côtières et marines.

ÉTUDE SUR LA GESTION DU RISQUE DE PÉNURIE D'EAU

La métropole du Grand Paris, la ville de Paris et l'OCDE s'associent et lancent une étude sur les impacts possibles d'une pénurie en eau à l'échelle de l'aire urbaine parisienne, à l'horizon 2030, 2050 et 2100.

L'étude explorera plusieurs hypothèses par rapport à l'offre en eau, selon différentes évolutions du climat. Elle sera alimentée par des données hydrologiques et socio-économiques. Préfectures, ministères, opérateurs d'État, Météo France, Agence de l'eau Seine Normandie, gestionnaires de voie d'eau, producteurs d'énergie, producteurs d'eau, chambres consulaires, collectivités locales, chercheurs... y seront associés. À l'issue de l'étude, des mesures seront préconisées pour améliorer la résilience de la métropole parisienne face à ce risque majeur.

9 LAURÉATS POUR L'APPEL À PROJET 2022 DE LA FEREC



Le développement d'enrobés recyclés pour les chaussées aéronautiques est un des projets lauréats porté par le Service technique de l'aviation civile avec Eiffage Route.

© EIFFAGE ROUTE

La Fondation d'entreprise recherche collective pour la construction et les infrastructures (Ferec)⁽¹⁾, a annoncé le 23 janvier dernier, les lauréats 2022 de son appel à projet. Pour cette cinquième édition, les acteurs privés, publics, universitaires du secteur devaient proposer des solutions pour "Décarboner la construction et la maintenance des infrastructures : produits, procédés et équipements". En effet, pour cette fondation d'entreprises, les infrastructures peuvent être un levier dans la lutte contre les émissions de gaz à effet de serre, dans un objectif de neutralité carbone, à l'échéance 2050.

Les projets lauréats doivent permettre d'enrichir les outils de mise en œuvre de la stratégie bas carbone dans le secteur des travaux publics en référence à la démarche "Acteurs pour la planète", engagée par le FNTP. Ils portent sur des procédés et des matériaux innovants au regard de la décarbonation et concernent aussi la maintenance des infrastructures et la santé environnementale. Toutes les étapes, de la conception à la déconstruction font partie des propositions, à l'exception des usages. En 2022, 26 dossiers ont été envoyés à la fondation, 12 ont été auditionnés pour 9 projets lauréats.

Les innovations retenues s'inscrivent dans une trajectoire qui prend en compte les émissions directement liées à l'activité mais aussi celles qui sont en amont liées aux approvisionnements et aux fournitures impliqués.

Le caractère collaboratif des projets est une caractéristique essentielle de la

démarche. Chaque équipe sera accompagnée, sur un an, par un binôme de parrains, avec une publication finale des dossiers sur le site de la Ferec.

Le rôle de ce dispositif relève de l'amorçage de projet, avant une possible incubation.

La dotation globale est 340 000 €, avec un financement maximal de 50 % du projet qui ne doit pas excéder 50 000 € ■

⁽¹⁾ Ferec a été fondée en 2017 par Colas, Eiffage Infrastructures, EUROVIA, la Société Nationale SNCF RESEAU et VINCI Construction, rejoints début 2021 par TotalEnergies OneTech puis par Bouygues Construction en 2022.

LAURÉATS DE L'APPEL À PROJETS 2022

LIBACA "Utilisation de liants bas carbone pour la construction par "deep soil mixing" : formulation durabilité" de CY Cergy Paris Université avec Soletanche Bachy International.

NDT-Fouling "Gestion décarbonnée des matériaux des voies ferroviaires : outil d'évaluation du colmatage du ballast" de l'Université Gustave Eiffel avec FI-NDT & de Vinci/Eurovia/ETF.

BCim "BioArtrCiment" de 3B avec l'Institut NEEL Grenoble, le CNRS IAB UMR5309 & Plateforme BioPark GDR MuFoPam, le CERIB et Centrale-Supelec Laboratoire Génie des Procédés et des Matériaux.

GRAP "Les Granulats de béton recyclé appliqués au béton précontraint" de l'Université Gustave Eiffel (Laboratoires EMGCU, MIT & MAST) avec le Laboratoire Navier, l'École Nationale des Ponts et Chaussées.

GCBF "Godet Cribleur de Ballast Ferroviaire" de SNCF Réseau.

RizRoute "Valorisation de coproduits rizicoles dans des liants bitumineux pour la séquestration carbone : évaluation du comportement de ces nouveaux liants décarbonés" du CEREMA avec le CIRAD & TotalEnergies OneTech.

AERICA "Agréats d'enrobés recyclés introduits dans les chaussées aéronautiques" du Service technique de l'Aviation civile avec Eiffage Route.

VALOSED "Valorisation des sédiments portuaires de Nouvelle-Aquitaine dans des matériaux routiers bas carbone" de EIFFAGE Infrastructures GD avec l'Université de Pau et des Pays de l'Adour et Spie-Batignolles Malet.

OMOMBAI "Optimisation de la maintenance des ouvrages en maçonnerie et en bois par analyse d'image" de l'Université de Limoges laboratoire de recherche GC2D avec l'Institut technologique FCBA.



FORMATION

INGENIERIE

LOGICIELS

L'ingénierie géotechnique à forte valeur ajoutée en France comme à l'international



Paris, Lyon et Bordeaux



terrasol@setec.com



www.terrasol.com



terrasol (groupe setec)



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° 986 " International "
- TRAVAUX n° 987 " Travaux maritimes et fluviaux "



Bertrand COSSON

Tél. 01 41 63 10 31

b.cosson@rive-media.fr

PAR NUMÉRO : 15€ AU LIEU DE 25€

INTERNATIONAL

970

TRAVAUX MARITIMES ET FLUVIAUX

971

OUVRAGES D'ART

972

SPÉCIAL INNOVATIONS ET TRANSITIONS

973

SOLS ET FONDATIONS

974

ÉNERGIE

975

MAINTENANCE DES INFRASTRUCTURES

976

TRAVAUX SOUTERRAINS

977

INTERNATIONAL

978

TRAVAUX MARITIMES ET FLUVIAUX

979

OUVRAGES D'ART

980

SPÉCIAL JEUX DE PARIS 2024

981

SOLS ET FONDATIONS

982

SPÉCIAL BÉTONS DU FUTUR

983

VILLE ET PATRIMOINE

984

COMPTÉRENCE EU

*Offre valable jusqu'au 30/06/23



BON DE COMMANDE ■ REVUE TECHNIQUE DES ENTREPRISES DE TRAVAUX PUBLICS

À renvoyer à : TBS GROUP - Service Abonnement Revue TRAVAUX - 235, avenue le Jour se Lève - 92100 Boulogne Billancourt
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"/> 970 x | <input type="checkbox"/> 975 x | <input type="checkbox"/> 980 x |
| <input type="checkbox"/> 971 x | <input type="checkbox"/> 976 x | <input type="checkbox"/> 981 x |
| <input type="checkbox"/> 972 x | <input type="checkbox"/> 977 x | <input type="checkbox"/> 982 x |
| <input type="checkbox"/> 973 x | <input type="checkbox"/> 978 x | <input type="checkbox"/> 983 x |
| <input type="checkbox"/> 974 x | <input type="checkbox"/> 979 x | <input type="checkbox"/> 984 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 30/06/23 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

UNE CONVENTION POUR MIEUX RÉGLEMENTER LES OBJETS CONNECTÉS SUR LES POTEAUX ÉLECTRIQUES

Routeurs, capteurs, caméras et autres objets connectés se nichent de plus en plus sur les poteaux électriques. Mais comment et à quelle condition les installer ? Ces nouveaux usages ont fait l'objet d'une convention entre la Fédération nationale des collectivités concédantes et régies (FNCCR), représentant les autorités concédantes propriétaires des infrastructures du réseau public de distribution d'électricité en France, et Enedis, gestionnaire de ce réseau sur 95% du territoire métropolitain. Elle a été rendue publique dans un communiqué commun le 25 janvier 2023 et regroupe les spécificités techniques de l'accrochage, ainsi que les obligations échouant

à chaque partie. Cette convention doit permettre de lever les longueurs administratives et de faciliter l'installation de ces supports de plus en plus nombreux dans l'espace public tels que des caméras de vidéoprotection, des capteurs d'intelligence artificielle pour rendre plus fluide la circulation mais aussi des répéteurs facilitant le relevé de compteurs d'eau. L'objectif est d'utiliser des infrastructures déjà existantes pour ne pas multiplier les implantations de ces équipements dans le domaine public.

→ **25 collectivités**

Le document commun entre Enedis et la FNCCR, définit les conditions d'utilisation des infrastructures du réseau public de

distribution d'électricité pour accueillir de tels équipements. Les collectivités (elles sont déjà 25 pour 450 objets connectés installés), qui souhaitent utiliser les poteaux électriques pour ces usages, devront conventionner localement avec Enedis et l'autorité concédante en charge de la distribution de l'électricité. Enedis vérifiera la compatibilité des équipements avec l'utilisation et l'exploitation du support électrique concerné. Elle dispose d'un délai de 4 semaines, pour adresser ces observations. En cas de modifications du calendrier à la suite des remarques, Enedis s'engage à l'approuver formellement dans un délai de 2 semaines à compter de sa réception. ■



© CEDRIC MICHEL / ENEDIS

Pose d'un groupe électrogène sur un chantier, à Rochetoirin dans l'Isère.

SECTEUR DE L'INDUSTRIE DU BÉTON, UNE BAISSÉ DE L'ACTIVITÉ DE 2%

La Fédération de l'Industrie du Béton (FIB) a publié, en début d'année, une note de conjoncture comprenant en bilan de l'année 2022 et des perspectives pour 2023. Les données ont été cumulées sur 11 mois, jusqu'à la fin novembre. Les produits en béton préfabriqués à destination du bâtiment et des travaux publics connaissent une chute de -2%. Dans le détail, tous les produits utilisés pour la réalisation d'infrastructures sont en retrait par rapport à l'année précédente. On peut ainsi noter -16,8% pour les dalles de voirie, -17,6% pour les clô-

tures, -4,2% pour les regards, -0,5% pavés. Seuls les bordures +0,4% et les tuyaux armés +3,1% connaissent une évolution positive.

→ **Produits préfabriqués en béton entre -4% et -6%**

Dans un contexte inflationniste de progression des coûts des matières et de difficultés de recrutement de main d'œuvre dans le secteur du BTP, les perspectives ne semblent pas aller vers un changement de paradigme. « Les prévisions de la FIB restent très prudentes. L'évolution en volume des produits pré-

fabriqués en béton destinés aux travaux publics s'inscrirait dans une fourchette comprise entre -4% et -6%, » note la Commission économie de la FIB. En 2023, les produits d'assainissement pourraient connaître une baisse d'activités (-3% à -5%) et ceux qui concernent la voirie et l'aménagement extérieur dévisserait dans une proportion encore plus grande (-6% à -8%). À titre d'information, dans le secteur du bâtiment, la baisse du volume des produits préfabriqués en béton, serait comprise entre -7% et -9%. ■

PROMOUVOIR LES MÉTIERS DU BTP AUPRÈS DES JEUNES

Faire découvrir à des collégiens et des lycéens différents métiers est le sens de la démarche initiée par le Medef Sud et appelé "Clash tes stéréotypes". Concernant le BTP, l'entreprise NGE a été sollicitée pour une rencontre avec les jeunes. L'objectif est de battre en brèche les idées reçues sur les métiers du secteur mais aussi favoriser une prise de conscience chez les jeunes de l'existence de ces clichés. 21 classes de la région Occitanie ont ainsi pu visiter des entreprises de différents secteurs professionnels et participeront à un concours. Par film, podcast ou affiche, les jeunes se doivent de dénoncer un stéréotype. Les meilleurs projets seront récompensés en mai 2023.

→ **Réseaux sociaux et "escape game"**

La campagne nationale "La Construction, la vivre c'est encore mieux !" est une autre initiative en direction des jeunes, lancée par CCCA-BTP. L'objectif est de leur donner envie de rejoindre ce secteur. La campagne est incarnée par six professionnels de moins de 30 ans (apprentis, salariés, chefs d'entreprise) et se décline sous différentes formes : série documentaire, six films publicitaires, site internet, partenariats médias digitaux, présence sur des plateformes d'écoute musicale et des radios digitales, réseaux sociaux, des partenariats avec des influenceurs professeurs, un module de découverte des métiers du BTP accessible en ligne, et un "escape game".



© NGE

Immersion dans l'univers de travaux publics pour des collégiens.

EGIS PREND LA MAIN SUR UN CABINET D'INGÉNIERIE, IMPLANTÉ EN AUSTRALIE ET NOUVELLE-ZÉLANDE

Egis va acquérir, dans les prochaines semaines, Calibre Professional Services, un important cabinet de conseil et d'ingénierie spécialisé en urbanisme, construction, transports, énergie et infrastructures de l'eau. Il comprend 400 collaborateurs basés dans 14 implantations à travers l'Australie et la Nouvelle-Zélande. Cette transaction va permettre à Egis d'élargir ses compétences d'ingénierie mais aussi de s'implanter sur ce continent « afin de créer des villes connectées et agréables. Cette acquisition stratégique ouvre un nouveau chapitre pour Egis et témoigne de notre engagement permanent dans cette région dynamique, » considère Alex Yee, Directeur Egis dans ces deux pays.

LE CONCESSIONNAIRE DE L'A69 VA RECRUTER 1000 EMPLOIS

Atosca, concessionnaire de l'autoroute A69 entre Toulouse et Castres, annonce la création de 1000 emplois et la mise en place d'un plan de formation et d'insertion pour la construction et l'entretien de cette nouvelle infrastructure. Parmi les recrutements annoncés, une partie sera réservée à des profils éloignés de l'emploi ou en reconversion professionnelle. Cette entreprise locale entend accompagner la montée en compétences des personnes recrutées et a mis en place un centre de formation.

Une cinquantaine de postes de conducteurs d'engins et d'aides coffreurs sont aujourd'hui à pourvoir. Toutes les personnes qui travailleront sur le chantier seront embauchées en CDI.

VINCI ANNONCE UN CHIFFRE D'AFFAIRES EN PROGRESSION DE 25%



Creusement de la future liaison ferroviaire Lyon-Turin, qui délestera les routes alpines d'un million de poids lourds.

« Dans un contexte géopolitique et macroéconomique particulièrement perturbé, VINCI a réalisé en 2022 une performance d'ensemble de grande qualité. Celle-ci illustre la résilience du modèle économique du groupe et la formidable capacité d'adaptation de ses entreprises. » s'est réjoui Xavier Huillard, président directeur général de Vinci, lors de la présentation des résultats du groupe, le 9 février dernier. La résilience évoquée se traduit dans les faits, par une forte croissance du chiffre d'affaires 2022 de 25% à 61,7 Mds€, assorti d'un carnet de commandes de 57,3 Mds€ (+9%).

→ Producteur d'électricité verte

Pour la première fois dans l'histoire de l'entreprise, le chiffre d'affaires réalisé hors des frontières nationales est supérieur à celui de la France, soit 55% en 2022 pour l'international contre 47% en 2021. Europe, Asie, Amérique du nord et du sud, sur tous ces continents la progression de Vinci est sensible. Xavier Huillard a mis en avant le rôle de Cobra IS, entreprise espagnole spécialisée dans l'énergie acquise à la fin de l'année 2021 et qui atteint un chiffre d'affaires de 5,5 Mds€, dont 45% réalisée en Espagne et 35% en Amérique latine. Cobra permet de renforcer la position en Vinci en matière d'énergie renouvelable en particulier en développant des installations photovoltaïques. « Nous allons commencer à devenir producteur d'électricité verte, avec la mise en service à venir de 600 MW au Brésil. Nous disposons d'un pipeline de projets représentant 14 GW dont 2 GW arrivent à maturité, » a affirmé Xavier Huillard.

→ Activité bien orientée dans les TP

Vinci énergies revendique un bon positionnement sur les marchés de la transition énergétique mais aussi digitale, via les technologies de l'information et de la communication (ICT), « grâce à la variété de ses expertises et à la densité de son réseau d'entreprises, » comme le met en avant la communication de l'entreprise. Ainsi son chiffre d'affaires est de 16,7 Mds€ pour 2022 soit une progression de 11%. Même croissance pour Vinci construction pour un chiffre d'affaires de 29,3 Mds€. En France, soit 45% de son activité, la progression est de 2%. « L'activité est restée bien orientée dans les travaux publics durant la plus grande partie de l'année. Dans le bâtiment, elle est soutenue par les travaux de réhabilitation et de construction de bâtiments publics et hospitaliers. » Après une baisse d'activité due au Covid,

l'activité aéroportuaire a retrouvé des couleurs. Le chiffre d'affaires de 2022 (2,7 Mds€) est le double de 2021 et il progresse de 2% par rapport à 2019. Concernant la concession Vinci Autoroutes, malgré l'augmentation du prix de l'essence, le trafic des véhicules légers a augmenté de 6% et des poids lourds de 2%, pour un chiffre d'affaires de 6 Mds€ (+8%). Le seul point noir vient de la promotion immobilière avec un recul de 5%. « L'accélération de la transition énergétique à travers la production d'énergie renouvelable, décarbonation des infrastructures de mobilité et des bâtiments, révolution numérique - vont mobiliser des investissements considérables. Ces mutations sont autant d'opportunités pour le groupe pour générer de la croissance durable tout en déployant son ambition de performance globale, » a conclu le PDG de Vinci. ■



Implantation d'une centrale photovoltaïque flottante sur le site d'une ancienne carrière à Peyrolles-en-Provence.



BTP BANQUE

GRUPE CREDIT COOPERATIF

C'est le métier
qui parle

LA BANQUE PROFESSIONNELLE DU BTP

www.btp-banque.fr

NEXTRoad RECRUTE UNE TRENTAINE DE COLLABORATEURS

NextRoad accompagne les maîtres d'ouvrage, les collectivités territoriales et les concessionnaires autoroutiers, ferrés, portuaires et aéroportuaires dans la gestion de leurs infrastructures tout au long de leur cycle de vie. 200 collaborateurs interviennent en amont, pendant et après la phase de travaux et réalisent des diagnostics des réseaux routiers et des ouvrages d'art, des programmations pluriannuelles de travaux, des contrôles sur les chantiers... Pour continuer son développement dans toute la France, l'entreprise recrute une trentaine de professionnels au profils différents : techniciens de chantiers routiers, d'auscultation routière, chargés d'affaires chaussées, Responsable développement ingénierie routière, Ingénieur VRD et impact environnemental.

ARTELIA A ACQUIS LA SOCIÉTÉ ALLEMANDE PROJEKTPLAN

Le groupe Artelia spécialisé en conseil, ingénierie et management de projets, a acquis à la fin de l'année 2022, 100% du capital de ProjektPlan GmbH. Spécialisée en conception architecturale dans le domaine de la distribution d'énergies pour des projets de mobilité, la société allemande compte 20 collaborateurs experts dans leur domaine. Avec cette opération, Artelia renforce sa position en Allemagne et complète ainsi son offre d'expertises sur le marché des énergies renouvelables pour des projets de mobilité, mais aussi logistiques et industriels.

LHYFE ET NANTES SAINT-NAZAIRE PORT, DES PARTENAIRES POUR DÉVELOPPER L'HYDROGÈNE RENOUVELABLE EN MER



La plateforme Sealhyfe, premier prototype de production d'hydrogène renouvelable en mer, va rejoindre site d'essais en mer de l'École Centrale, à 20 km au large du Croisic.

L'hydrogène dit vert engendre de nombreuses attentes et son développement à grande échelle peut être une solution pour produire une énergie décarbonée. Son atout principal est qu'il ne rejette pas de CO₂ dans l'atmosphère, mais à la seule condition qu'il provienne d'énergies renouvelables. L'entreprise Lhyfe spécialisée dans la production de cette énergie, a acté sa collaboration

avec le port de Nantes-Saint-Nazaire (Loire-Atlantique), en vue de développer une filière d'hydrogène renouvelable en mer. En effet, celui-ci peut être produit grâce à une technologie basée sur l'électrolyse de l'eau, à partir de l'éolien offshore flottant ou non. Mais l'eau doit d'abord être désalinisée.

En septembre 2022, le premier prototype mondial de production d'hydrogène

renouvelable en mer, d'une puissance de 1 MW, a été inauguré dans les bassins de Saint-Nazaire. Ce dispositif appelé Sealhyfe, est testé à quai pour une période de 6 mois. Puis il doit rejoindre ce printemps, le site d'essais en mer de l'École Centrale (SEM REV), à 20 km au large du Croisic pour une étude de 12 mois. L'objectif est vérifier certaines hypothèses et de tester, par exemple, la robustesse du système face aux conditions difficiles, comme les tempêtes ou des fortes houles. Ce projet bénéficie d'un soutien de l'État, via France 2030, à hauteur d'1 M€.

→ Anticiper les besoins en hydrogène offshore

À l'échéance 2030-2035, l'entreprise basée à Nantes, annonce une production de 3 GWh d'hydrogène vert qui pourrait fournir du carburant décarboné pour différents types de véhicules, bateaux, avions, ou pour des industries, qui fonctionnent encore au gaz naturel.

Pour anticiper ces besoins massifs en hydrogène offshore, Nantes Saint-Nazaire Port et Lhyfe entament donc une collaboration pour mettre en œuvre une chaîne logistique. Les deux partenaires doivent identifier les espaces et équipements portuaires susceptibles d'accueillir des prototypes en développement R&D. Dans une phase de production plus importante, il faudra aussi trouver les conditions nécessaires à la production, à la mise à l'eau et à l'intégration de futurs équipements dans les infrastructures portuaires. ■

NGE ASSURE LA REMISE EN ÉTAT DU PONT DE MAISONS-LAFFITTE

Le pont de Maisons-Laffitte (Yvelines) appelé aussi pont de la 2^e Division Blindée, qui relie Maisons-Laffitte et Sartrouville (RD 308) multipliait de nombreux signes de faiblesse.

Phénomène de corrosion, présence d'amiante dans la peinture de la charpente métallique et un vieillissement global ont nécessité une remise en état complète. Construit en 1952, il est constitué d'un ouvrage routier mixte central et de deux ouvrages en béton armé. Il enjambe la Seine sur 190 m.

28 000 véhicules par jour l'empruntent. Le chantier, d'une durée de 33 mois, a commencé il y a plus d'un an et demi. NGE et trois de ses filiales, NGE GC, spécialisée en génie civil, EHTP assainissement et réseaux, REHACANA chemisage et canalisation, réalisent les travaux sur l'ensemble des pathologies de l'ouvrage. Ces entreprises se sont associées à Nicoletta pour la peinture anticorrosion, Wig pour le désamiantage et Berthold pour le renforcement de la charpente métallique et le vérinage.

→ Chantier de nuit

Le phasage des travaux est complexe car le chantier doit se tenir la nuit pour un maintien de la circulation le jour. Une étape importante a eu lieu fin novembre 2022, avec l'achèvement de la première opération de vérinage de la 2^e ligne d'appuis sur les 7 lignes que compte l'ouvrage. Les appareils d'appui constitués de bielles métalliques très âgées sont remplacés par des appareils d'appui modernes, en élastomère fretté. Le coût de la rénovation de ce pont est estimée à 5 M€. ■

LANCEMENT D'OASIS, UN OUTIL D'AIDE AU DIMENSIONNEMENT DES SYSTÈMES D'INFILTRATION DES PLUIES COURANTES

Le Cerema et le Laboratoire eau environnement et systèmes urbains (Leesu) de l'École des Ponts Paristech ont récemment rendu accessible en ligne un outil pour une meilleure gestion de l'eau. Dénommé Oasis, cet outil doit permettre un meilleur dimensionnement des infrastructures pour une infiltration optimale de l'eau. En effet, si la pluie pénètre le sol au plus près de là où elle tombe, cela permet de limiter les rejets vers les réseaux, évitant alors leur saturation et la diffusion des polluants vers les milieux aquatiques. Il s'agit de mieux maîtriser les flux d'eau et de contaminants. La plateforme Oasis facilite la prise en compte de l'objectif "d'abattement des pluies", qui consiste à conserver en surface des millimètres d'eau et à ne pas les rejeter dans les réseaux publics. Les dispositifs dédiés à l'infiltration des pluies courantes en milieu urbain (dispositifs de gestion à la source, perméables et végétalisés) sont analysés. Les événements fréquents d'infiltration sont reliés au dimensionnement des ouvrages, sous la forme de résultats numériques ou de graphiques.

→ Information sur le fonctionnement des ouvrages

Oasis offre la possibilité de reproduire avec une paramétrisation simple et des temps de calcul réduits, les résultats issus de simulations en continu pour des longues périodes de précipitations. Les acteurs de la gestion des eaux pluviales urbaines (aménagement publics et privés, bureaux d'études, maîtres d'ouvrage...) sont les destinataires de cet outil. Au-delà d'une connaissance sur une dimension optimum des ouvrages en lien avec l'abattement des précipitations,

il permet également de tenir compte des objectifs plus classiques de maîtrise du ruissellement associés aux événements plus exceptionnels. Il produit aussi des informations assez détaillées sur le fonctionnement des ouvrages : bilan hydrique, distribution des rejets, efficacité pour différentes catégories de précipitations, fréquence de mise en eau... L'ensemble de ces données se limite, pour l'heure, aux conditions pluviométriques proches de celles de la région Île-de-France. Mis en ligne sur le site du Cerema, Oasis

s'inscrit dans le programme Opur, de recherche pérenne dans le domaine de l'hydrologie urbaine, qui vise à améliorer les connaissances sur la production et le transfert des flux d'eau et de contaminants dans les eaux urbaines. Il est soutenu par l'Agence de l'eau Seine Normandie, les départements des Hauts-de-Seine, de Seine-Saint-Denis, du Val-de-Marne et de Seine-et-Marne, la Ville de Paris et le Syndicat interdépartemental pour l'assainissement de l'agglomération parisienne. ■



Illustration sur le site du Cerema présentant la démarche Oasis, outil d'aide au dimensionnement des systèmes d'infiltration des pluies courantes.

UNE SOLUTION POUR TRANSFORMER DES DÉCHETS EN PIERRE POUR LA CONSTRUCTION

Tous les déchets qui ne peuvent être valorisés mais aussi non-inertes et non-dangereux peuvent avoir une seconde vie et devenir des pierres pour la construction. Tel est le pari de l'entreprise française Néolith, installée à Chalonnes-sur-Loire (Maine-et-Loire), qui transforme les résidus industriels issus des chantiers ou du secteur tertiaire, ceux refusés par les déchetteries, les

ordures ménagères non recyclables ou encore les combustibles solides de récupération, en granulats. Cette société s'est appuyée sur le procédé de fossilisation en accélérant le cycle naturel de formation de la roche. Une machine, un fossilisateur, permet de produire des granulats minéraux bas carbone, nommés Anthropocite, destinés aux professionnels du BTP. Ces matériaux transformés sont

appliqués lors de chantier d'infrastructures routières, ils servent de sous-couches. Ils sont aussi utilisés dans la fabrication de bétons non-structuraux. En revalorisant 100% de la matière initialement enfouie ou incinérée, cette solution a un intérêt environnemental évident mais aussi économique. Car il est plus rentable de transformer ces résidus plutôt qu'ils soient enterrés ou brûlés. ■

PROJET D'ÉTUDE SUR LA TURBULENCE DU VENT EN MER MÉDITERRANÉE

Pour une meilleure efficacité de l'éolien flottant en Méditerranée, comment connaître la turbulence du vent dans le golfe du Lion ? C'est l'objectif du projet Powseidom qui collecte ce type de mesures sur l'île de Planier, située 15 km du Vieux-Port de Marseille. Avoir une connaissance de ces données permet de caractériser précisément les variations de vitesse et de direction du vent. Un réseau d'anémomètres côtiers donne déjà des éléments mais il est nécessaire de disposer de données offshore pour alimenter les modèles numériques.

→ Première base de données méditerranéennes

C'est l'objet de ce projet, qui sera mené pendant 12 mois. Sur cette île, sans relief majeur, un dispositif de télédétection (Lidar WindCube v2 opérant à 4 Hz) a été mis en place. Cette technologie, moins onéreuse que les anémomètres, est peu exploitée pour caractériser la turbulence du vent, ce à quoi doit répondre ce projet de recherche collaboratif. À l'issue d'une année de mesures, la toute première base de données méditerranéennes sera constituée. Un intérêt réel pour les développeurs de parcs éoliens. Piloté par France Énergies Marines, le budget total du projet est de 834 000 €. Il bénéficie du financements de nombreux partenaires (EDF, Engie Green, Centrale Marseille, Ifremer, Région Paca...) et du soutien de l'État au titre du programme des Investissements d'avenir.



Dispositif de télédétection installé sur l'île de Planier dans le golfe du Lion, pour mesurer la turbulence du vent.

UNE NOUVELLE GAMME DE GRUES TÉLESCOPIQUES SUR CHENILLES

L'entreprise allemande Sennebogen complète sa gamme de grues télescopiques sur chenilles avec un modèle de 80 tonnes, doté d'une flèche principale de 42 m. Ce matériel est particulièrement adapté à la construction de ponts, mais aussi pour des interventions sur des terrains accidentés. Elle peut réaliser des opérations de levage en position inclinée de 4 degrés. Sa grande portée jusqu'à 57 m et ses nombreuses variantes d'équipements sont à noter. Les vitesses de câble peuvent atteindre 120 m/min. Grâce à sa technologie multi-vérins, le système de flèche permet un déploiement télescopique en continu et rapide. Les meilleures capacités de charge sont ainsi atteintes.

LE CIMENT CARAT DÉVELOPPÉ PAR VICAT, UN NOUVEAU COMPOSANT POUR LES CONSTRUCTIONS BAS-CARBONE

Destiné à tous les ouvrages dans le BTP, le nouveau ciment Carat est le fruit d'une innovation technique, mise au point par l'entreprise Vicat. Selon la communication de la société « Ce premier liant carbo-négatif permet de conserver l'ensemble des propriétés et les usages d'un ciment traditionnel. En effet, grâce à une composition réduite en clinker et enrichie d'une matière biosourcée, Carat bénéficie d'un bilan carbone correspondant à un niveau d'émissions nettes négatif. » Le Groupe Léon Grosse spécialisé dans les travaux publics, a récemment eu recours à 850 m³ de béton à base de ce liant pour la construction de sa direction régionale, à Bron (Rhône). De couleur noire lorsqu'il est coulé, il s'éclaircit et devient gris avec le temps.

NOUVELLE TECHNIQUE À BASE DE LAIT DE CHAUX POUR TRAITER LE RESSUAGE DES ROUTES, EN CAS DE CANICULE



L'épandage de lait de chaux blanchit les routes. Cette technique permet de faire baisser la température au sol d'une dizaine de degrés et peut être utilisée préventivement.

Avec les canicules, le phénomène de ressuage qui sépare bitume et granulats, dégrade les conditions de circulation, pour les usagers de la route. Le liant fond et remonte à la surface de la chaussée générant des zones de moindre adhérence dangereuses, en particulier pour les 2 roues. En fonction de l'étendue du ressuage, les départements en charge de l'entretien des routes optent pour un épandage de sable ou de gravillons. Cette solution présente des risques de projection et n'est pas entièrement efficace. C'est pourquoi la technique d'épandage de lait de chaux, mélange à base de chaux éteinte et d'eau qui blanchit la route, est aujourd'hui utilisée. Ce procédé est facile à mettre en œuvre à l'aide d'équipements munis d'un réservoir et

d'une rampe. Il peut être utilisé de façon préventive en cas de prévision de forte chaleur. Efficace une à deux semaines, il permet de faire baisser la température au sol d'une dizaine de degrés.

→ Impact du lait de chaux sur le milieu naturel

Mais l'impact environnemental de cette technique n'est pas neutre. Car, lorsque la chaux est emportée par les eaux de ruissellement, lors d'intempéries, la fine couche de chaux déposée en surface ne doit pas présenter de risque majeur pour les zones naturelles à proximité. Aussi une étude est menée par le Cerema de Clermont-Ferrand avec l'institut Carnot Clim'adapt et l'entreprise Lhiost spécialisée dans la production de chaux et autres matériaux. Le suivi de l'impact du lait de chaux sur le milieu

naturel est ainsi réalisé sur une route départementale du Puy-de-Dôme, depuis 2019, en trois phases : une synthèse de l'impact environnemental, des préconisations et les zones d'application des préconisations.

L'épandage en un seul passage, les quantités de chaux définies en fonction des prévisions météorologiques ou la prise en compte de la vulnérabilité des milieux aquatiques récepteurs, sont autant de critères que les utilisateurs de l'entretien des routes pourront prendre en compte. Selon l'institut Carnot Clim'adapt « Le partenariat a permis de montrer que cette innovation technique économique est un réel atout pour les collectivités en termes de maîtrise de leur budget mais aussi de respect de leurs engagements sociétaux. » ■

QR CODE ET DES TAGS NFC, LES INNOVATIONS CONÇUES PAR PLANRADAR

Plateforme européenne de digitalisation des projets de construction et de génie civil, dans le cloud, l'entreprise PlanRadar propose une nouvelle fonctionnalité pour une meilleure visibilité sur le suivi de chantier en phase de construction ou de maintenance. Ainsi à partir de l'application PlanRadar, chaque utilisateur pourra scanner des QR codes sur son mobile et ainsi accéder à différentes données. Les détails d'une opération (tâches

réalisées, délais, anomalies relevées...) seront ainsi accessibles, même dans les lieux sans accès à internet.

→ Sans formation préalable

Combinée aux tags NFC, petit badge qui permet d'échanger des informations sans fil, cette fonctionnalité permet d'optimiser le suivi opérationnel des tâches tout en facilitant la collaboration entre toutes les parties prenantes d'un chantier. Ces innovations numériques assurent le suivi

et la localisation des matériaux au fur et à mesure de l'évolution du chantier, de la livraison jusqu'au contrôle qualité. L'utilisation de QR codes à partir de l'application PlanRadar, ne nécessite pas de formation préalable. Son principal atout est de donner un accès facilité aux informations en réduisant leur temps de recherche. Cela supprime aussi la nécessité de remplacer les panneaux sur l'ensemble des chantiers. ■

La CNETP regroupe **9 000 entreprises** de Travaux Publics et assure le calcul et le versement de prestations auprès de **286 000 salariés**.

NOS MISSIONS

- La gestion des congés payés auprès des salariés des Travaux Publics
- La mise en oeuvre 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



Membre du Réseau Congés Intempéries BTP

NOUS CONTACTER

📍 31 rue le Peletier 75453 PARIS CEDEX 09

📞 Entreprises : 01.70.38.07.70

📞 Salariés : 01.70.38.09.00

 sur Internet : www.cnetp.fr
 sur l'appli mobile : **CNETP Salarié**


AGENDA

ÉVÈNEMENT

Le projet national de recherche PERFDUB, lancé en 2015, qui a pour objet de définir une méthodologie à l'échelle nationale de justification de la durabilité des bétons (et des structures en béton) par une approche performantielle, continue son tour de France. Après Paris, Lyon et Toulouse en 2022 et Nantes, Illkirch- Graffenstaden en 2023, il sera le 21 juin 2023, à Polytech Lille, à Villeneuve-d'Ascq.

FORMATIONS

Nous invitons les lecteurs à vérifier par internet que les formations annoncés dans cette rubrique sont maintenus, à quelle date et dans quelles conditions (en présentiel et/ou à distance).

• 23 MAI

La maîtrise des délais d'un projet de construction

Lieu : Paris

<https://formation-continue.enpc.fr>

• 25 MAI

La stratégie de déploiement du BIM

Lieu : Paris

<https://formation-continue.enpc.fr>

• 24 AU 26 MAI

Génie civil ferroviaire sur RFN et réseau régional : spécificités techniques et évolutions

Lieu : Paris

<https://formation-continue.enpc.fr>

• 31 MAI AU 2 JUIN

Piloter et mobiliser les équipes dans les projets et en transversalité

Lieu : Paris

<https://formation-continue.enpc.fr>

• 26 ET 27 JUIN

Contribuer à la prévention et au règlement des litiges

Lieu : Paris

<https://formation-continue.enpc.fr>

• 27 AU 29 JUIN

Dimensionner les chaussées neuves : La méthode de calcul

Lieu : Paris

<https://formation-continue.enpc.fr>

NOMINATIONS

FRANCE ÉNERGIES MARINES

Herveline Gaborieau a été nommée Directrice générale de France Énergies Marines, l'Institut pour la transition énergétique tourné vers l'éolien en mer. Elle succède à Yann-Hervé De Roeck qui dirigeait l'Institut depuis sa création en 2012.

GROUPE EGIS

Dans le cadre d'une réorganisation interne, le groupe Egis annonce que Régis Dumay, anciennement Directeur général adjoint, en charge de la coordination opérationnelle et du développement commercial, est nommé Directeur exécutif de la Business Line Transports et Territoires. Il est membre du Comité exécutif du groupe.

Les SouterReines

DÉVELOPPER LA MIXITÉ DANS LE BTP ET DÉMYSTIFIER SON IMAGE

Les SouterReines veulent développer la mixité dans le secteur du BTP et démystifier son image. Cette association entend participer à la promotion des métiers de toute la filière "construction", au féminin. Elle s'appuie sur un réseau professionnel solidaire et bienveillant, dans le but de bâtir collectivement des avancées dans la profession. Cela suppose de participer à la levée des freins à l'embauche des femmes et à l'évolution des mentalités concernant la place des femmes dans le secteur du BTP. Ce qu'éclaire de propos convaincus et convaincants Myriam Fontaine-Boullé, présidente de l'association Les SouterReines depuis sa création en janvier 2020. **Entretien avec Myriam Fontaine-Boullé, présidente de l'association Les SouterReines.** PROPOS RECUEILLIS PAR MARC MONTAGNON



1- Myriam Fontaine-Boullé, présidente de l'association Les SouterReines.

Comment Les SouterReines sont-elles nées ?

L'association est née en janvier 2020 à l'initiative de quelques femmes désireuses de porter haut les couleurs de leur métier dans l'univers du BTP dans le but de susciter des vocations en témoignant de leur épanouissement professionnel.

En effet, force est de constater l'intérêt que suscitent les femmes dans le milieu du Bâtiment et des Travaux Publics. Il n'y a qu'à souligner le nombre d'entreprises qui élaborent des stratégies pour féminiser leurs métiers.

Les effectifs féminins dans la profession oscillent entre 12% et 18% des emplois dans ce secteur. C'est évidemment très fluctuant d'une filière à l'autre. Schématiquement, la féminisa-

tion est plus poussée dans l'ingénierie que dans l'exécution.

L'augmentation rapide du nombre de personnes intéressées par ce sujet a fini par entériner la création de l'association.

Au départ, nous ne voulions que réunir des femmes de la profession qui s'épanouissent dans leur métier et qui, au quotidien, démontrent que les métiers du BTP sont accessibles à tous. Nous avons donc convenu de nous retrouver tous les deux mois autour d'un déjeuner et ainsi de créer un petit réseau entre femmes. Au début de l'année 2019, nous avons considéré qu'il serait bon de donner un cadre à cette action. Après avoir créé un collectif, nous nous sommes aperçues que le statut association était plus simple et mieux



FIGURE 1 © DR - FIGURES 2 & 3 © Les SouterReines

2 & 3- Visite du chantier de la future piscine olympique des JO de Paris 2024 (Bouygues Bâtiment Ile-de-France).

4 & 5- Visite du chantier de mise en souterrain de lignes à très haute tension au cœur du futur village des athlètes à Saint-Denis (spie batignolles génie civil).

6- Visite du chantier de refonte des installations de Biogaz du SIAAP à Seine Aval (Demathieu Bard/ Chantiers Modernes Construction, Vinci Construction France / Sogea Ile-de-France).



© Les SouterReines

4

adapté. Ce changement a été acté lors de l'assemblée générale constituante en octobre 2019. À cette occasion, nous avons créé un événement, sur un des chantiers de la Ligne 16 de la Société du Grand Paris. Le temps de finaliser les formalités administratives, l'association est née officiellement en janvier 2020.

Très vite nous est apparue de plus la nécessité de créer des conditions favorables aux réflexions entre les acteurs de la filière, femmes et hommes, et de proposer des actions visant à renforcer la mixité dans les métiers du BTP tout en les faisant mieux connaître.

Le BTP est un secteur très peu connu de ce qu'il est convenu d'appeler le grand public et, notamment des jeunes, et qui souffre de beaucoup de préjugés.

MYRIAM FONTAINE-BOULLÉ : PARCOURS

Après avoir suivi entre 2003 et 2006 les cours de l'EGCB Saint-Malo (École de Gestion et de Commerce de Bretagne), Myriam Fontaine-Boullé a rejoint l'Université d'Évry-Val d'Essonne pour y passer en 2006-2007 un Master 1 d'Achats Internationaux.

Elle entre ensuite à l'Essec Business School (2007-2008) pour y passer un mastère spécialisé également sur les achats internationaux.

À partir de 2010, elle intègre la RATP où elle occupe plusieurs postes d'acheteur projets et pilote génie civil pour les travaux de création de lignes de tramway (T5, T6, T7 et T8) et de prolongements de plusieurs lignes de métro, notamment celui de la Ligne 11 de Mairie des Lilas à Rosny-Bois-Perrier, celui de la Ligne 12 de Porte de La Chapelle à Front Populaire et celui de la Ligne 14 de Saint-Lazare à Olympiades et c'est là qu'elle découvre l'univers passionnant du BTP. Elle suit même une formation sur le thème de la "conception générale d'un ouvrage d'art" avec les cours de Ponts Formation Conseil. Elle passera aussi trois petites années côté Conduite de Projets pour l'adaptation de l'infrastructure des stations existantes de la Ligne 11 dans le cadre de son prolongement jusqu'à Rosny-sous-Bois.

Myriam Fontaine-Boullé est depuis février 2021 responsable de l'unité DRC (Développement et Relation Clients) d'un des départements de maintenance de la RATP.

Elle est présidente de l'association Les SouterReines depuis sa création en 2020.

À partir de cette constatation, quelle est la mission des SouterReines et qui peut en faire partie ?

Nous souhaitons, avant tout, développer la mixité dans le secteur en travaillant sur trois axes.

Le premier est de démystifier son image en aidant les entreprises, quelle que soit leur taille, à féminiser leurs équipes. Cela passe par des actions de promotion de la filière tant auprès des plus jeunes que des actifs en reconversion ou encore des personnes en réinsertion professionnelle et que les témoignages de femmes épanouies dans le métier qu'elles exercent dans le BTP pourraient convaincre de franchir le pas.

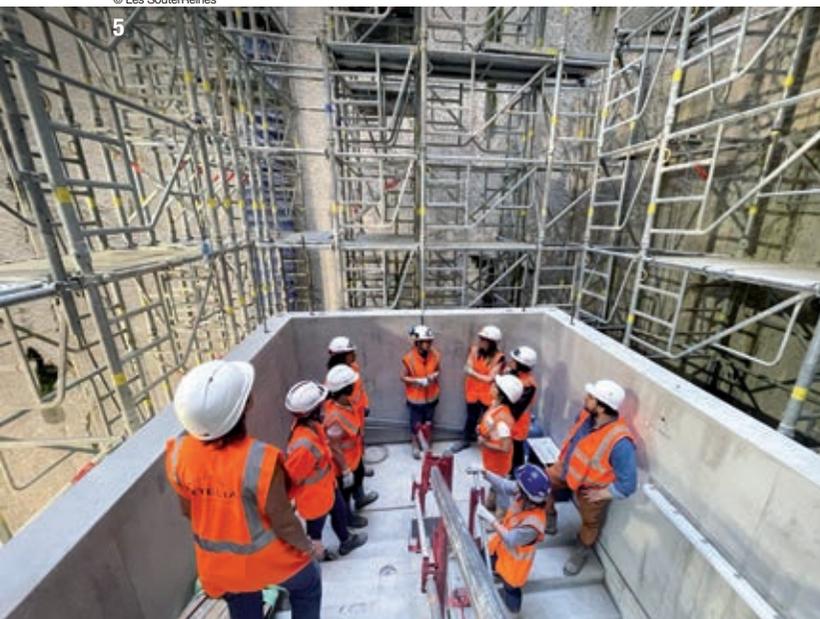
Le deuxième est de participer à la promotion des métiers de toute la filière "Construction" auprès des jeunes femmes et des jeunes hommes, de participer à la levée des freins à l'embauche et à l'évolution des mentalités concernant la place des femmes dans le secteur du BTP et ce, à tous les niveaux de la hiérarchie.

Mais, aujourd'hui, ce n'est plus vraiment un problème car les entreprises souhaitent toutes embaucher plus de femmes mais n'y arrivent pas parce qu'il y a peu de candidates, quel que soit le niveau de formation recherché.

Si la progression est sensible dans les écoles d'ingénieurs et les écoles supérieures spécialisées dans le BTP, on est encore loin d'être parvenu à la parité et, par ailleurs, seule une part faible des élèves formés dans ces établissements se dirige vers le BTP. D'où la nécessité de faire un travail d'information en profondeur tant auprès des jeunes que des étudiants dans les écoles d'ingénieurs. ▷

© Les SouterReines

5



© Les SouterReines

6





7- Signature du partenariat avec Humando (groupe solidaire en ressources humaines).

8- Signature du partenariat avec Eiffage avec Xavier Mony, directeur général Eiffage Génie Civil.

9- Partenariat avec Connexion 21, présidée par Jean-Marie Osdoit.

10- Signature de la convention de mécénat entre Arcadis et l'association Les SouterReines avec Nicolas Ledoux, président d'Arcadis France.

11- Signature du partenariat avec Colas avec Olivier Lorido, directeur Génie Civil de Colas.

12- Convention de partenariat avec Demathieu Bard et son réseau PasserElles. De gauche à droite, Myriam Fontaine-Boullé, présidente de l'association Les SouterReines, Céline Draux, présidente du réseau PasserElles, Christophe Maître, directeur délégué Infra-Génie Civil France.

13 et 14- Visite du Centre d'exploitation d'Aulnay-sous-Bois des Lignes 16 et 17 du Grand Paris Express (Bouygues Bâtiment/Satelec/Clevia).



Notre démarche concerne également l'insertion professionnelle où nous rencontrons des candidats intéressés par une reconversion et un retour sur le marché de l'emploi. Mais, nous nous sommes aperçues que les entreprises rencontraient des difficultés pour recruter des femmes pour des postes de travail sur chantier.

Le troisième axe, enfin, est de développer un réseau professionnel solidaire et bienveillant dans le but de bâtir collectivement des avancées dans la profession.

C'est ainsi que l'association permet, depuis 2020, de piloter des projets mêlant acteurs et actrices des entreprises privées, des organismes de for-

mation, des collectivités locales... Le but étant de : promouvoir les métiers du BTP, participer à la levée des freins à l'embauche des femmes et à l'évolution des mentalités concernant la place des femmes dans le secteur du BTP.

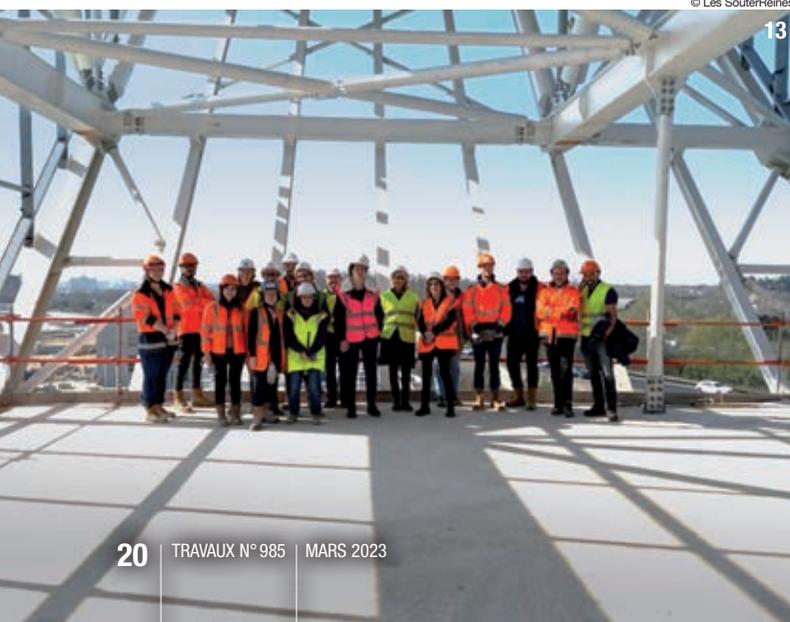
Notre association n'est pas une association féministe au sens péjoratif du terme qui signifierait qu'on en exclut les hommes, ce qui n'est pas le cas, bien au contraire.

Il y a des mentalités à faire évoluer dès le plus jeune âge et, dans la société occidentale dans laquelle on vit, il y a beaucoup de changements à apporter en modifiant notamment des usages qui existent depuis toujours.

Les retours que je peux évoquer sont encourageants : une fois que les hommes ont appris à travailler avec les femmes dans le milieu du BTP, ils cons-

Les SouterReines : LES PARTENAIRES

Arcadis, BALAST, Capocci, Cap Conseil, Cegelec, Chantiers Modernes Construction (Chantiers & Territoires Solidaires), Colas, Connexion 21, Demathieu Bard, Drop Intérim-Insertion, Eiffage Génie Civil, Herrenknecht Tunnelling Systems, Humando, JPSI, Like Ton Job, NGE, PoCES (Pôle de Compétences en Environnement Souterrain) Nancy, Sefi-Intrafor, Spie batignolles génie civil.



© Les SouterReines

© Les SouterReines



© Les SouterReines

15

tatent que les femmes apportent un autre regard sur la manière de traiter les problématiques même d'ordre technique, opérationnel ou stratégique. Du coup, la complémentarité entre les hommes et les femmes devient très constructive.

Elles ont également une manière plus apaisée d'aborder et de traiter les difficultés. À l'occasion de la première enquête que nous avons faite lors de la création de l'association sur les rapports de travail entre les hommes et les femmes dans tous types de postes dans le BTP (encadrement, opérationnel, chantier), aucun retour n'a été négatif.

Il faut donc arrêter de parler d'hommes et de femmes et de les opposer, voire de les mettre en concurrence mais plutôt parler de talents.

Quelles sont les raisons des difficultés de recrutement ?

À ce stade, la majorité de nos adhérents exercent des fonctions dans l'encadrement.

La notion de pénibilité n'est pas problématique. Nous ne disposons pas de vision suffisamment exhaustive du problème sur des postes plus opérationnels. Il serait évidemment très intéressant d'avoir le ressenti des femmes sur ces postes "de terrain". Personnellement, je crois que le premier frein est lié à un manque de connaissance du secteur.

15- Rencontre avec l'École Nationale Supérieure des Mines de Nancy, l'École Nationale Supérieure de Géologie, le Pôle Compétences en Environnement Souterrain (PoCES).

16- Visite d'un chantier de renouvellement de rails par TSO avec son train BOA pour SNCF Réseau (TSO/SNCF Réseau).

17- Visite du chantier de la future liaison rapide CDG Express entre la gare de l'Est et l'aéroport Paris - Charles de Gaulle (Eiffage Rail).

Il est peu de métiers dans le BTP qui demeurent très pénibles physiquement, exception faite, peut-être, de ceux dépendant des conditions climatiques. Mais qu'il s'agisse de conduite d'engins de terrassement ou de levage, de pilotage de grue, voire de manutention sur chantier, la technologie supplée désormais presque toujours aux impératifs de force physique qui étaient autrefois le quotidien sur la plupart des chantiers. Certains travaux, notamment les travaux souterrains en méthode

traditionnelle type minier requièrent des capacités physiques certaines mais, dans la plupart des métiers du BTP, la technologie a désormais pris le pas et facilite grandement les interventions humaines.

Le sujet qui pose quelquefois problème est celui des travaux postés ou pendant le week-end qui peuvent rendre plus compliquée une vie de famille. Mais, là encore, les choses ont évolué et dans les jeunes couples, les tâches quotidiennes sont de mieux en mieux réparties, tant pour les hommes que pour les femmes.

Existe-t-il, selon vous, des postes qui restent inaccessibles aux femmes ?

En ce qui concerne l'aspect physique, pour moi, rien n'est inaccessible aux femmes comme c'est d'ailleurs le cas dans la pratique d'un sport, quel qu'il soit.

Les remontées du terrain montrent que les femmes ne rencontrent pas de difficultés majeures sur chantier. La mécanisation des opérations rend la plupart des métiers accessibles aux femmes. L'un de nos défis tend à pouvoir mieux communiquer sur la réalité du travail sur un chantier et sur toutes les techniques et technologies qui sont mises en œuvre dans l'exécution des tâches pour les rendre moins pénibles. Cela contribuerait à redorer le blason de la profession et pro-

ferait à tous les acteurs de la filière. Ce sont tous ces sujets que nous regardons au travers de l'association. Nous n'avons pas la prétention d'apporter toutes les solutions mais plutôt, en portant notre regard neutre d'observateur extérieur sur une entreprise, de mettre en évidence les freins ou les problèmes qui pourraient s'y poser aux femmes dans l'exercice de leur métier.

Des comportements sexistes sont-ils constatés et peuvent-ils constituer un frein à l'entrée des femmes dans le BTP ?

Il faut être clair : oui, il y a encore des comportements et plus encore des réflexions qui n'ont pas lieu d'être. Au-delà des préjugés sur les femmes et de leurs compétences professionnelles, le plus important, de mon point de vue, c'est qu'ils concernent majoritairement les jeunes qui arrivent dans la profession. Une fois que la personne a fait ses preuves, la question ne se pose plus et il n'y a plus de distinction dans les équipes. Je peux citer le cas d'une conductrice de tunnelier et d'une grutière qui adorent leur métier, se réalisent pleinement et sont totalement épanouies dans leur vie professionnelle. Sur les postes d'encadrement en général, les mentalités ont beaucoup évolué et les comportements sexistes se font de plus en plus rares. La question du comportement renvoie aussi aux préjugés que véhiculent ces métiers. ▶

© Les SouterReines

16



© Les SouterReines

17



La parité est-elle respectée dans le domaine des rémunérations ?

Nous n'avons pas vraiment d'éléments d'appréciation sur la question. Ce ne sont pas des questions que l'on aborde au sein de l'association pour le moment. En tout cas, si on regarde les chiffres publiés en mars dernier par le Ministère du travail, l'index moyen des entreprises de la construction qui ont publié leurs chiffres est de 80 sur 100 alors que la moyenne nationale tous secteurs confondus est de 86. L'écart de rémunération entre les femmes et les hommes est l'un des indicateurs de l'index sur l'égalité professionnelle (40 sur 100). À titre personnel, dans l'entreprise de service public à laquelle j'appartiens, la parité est respectée de fait dès l'entrée puisque le barème de rémunération est fixé en fonction des diplômes et de l'expérience. À ma connaissance, il n'y a pas de sujet de différenciation. Après, la progression est peut-être différente en fonction des compétences, des affinités, de l'engagement personnel, mais pas du genre.

Dans le secteur privé, les études montrent qu'il y a, en effet, une disparité. Mais, en ce qui concerne la promotion interne, le problème tient à d'autres raisons. Pour en avoir discuté avec certaines femmes, il semblerait que la difficulté de faire accéder des femmes à des postes de type comité exécutif ou comité de direction tiendrait plutôt au fait que les femmes ne le souhaitent pas par méconnaissance. Certaines d'entre elles craignent de ne pas être au niveau ou de ne pas pouvoir disposer de suffisamment de temps. Peut-être faudrait-il, pour contourner cette difficulté, mettre en place un système de parrainage ou de mentorat de membres du CODIR auprès de femmes de talent ayant été identifiées comme pouvant



18

© Les SouterReines

POURQUOI ADHÉRER À L'ASSOCIATION ?

- 1- Participer à la promotion des métiers du BTP au féminin ;
- 2- Partager un réseau professionnel, solidaire et bienveillant ;
- 3- Bâtir collectivement des avancées dans le milieu du BTP.

Association Les SouterReines, 16-18 Rue Claude Debussy, Vitry sur Seine - 94 400.

accéder à ces postes de responsabilité pour les accompagner et les rassurer. Souvent, la différence entre les hommes et les femmes tient au fait que, par rapport à une offre d'emploi, un homme affirme avoir 150% des compétences alors que, a priori, il n'en a peut-être que 80% alors qu'une femme, si elle en a 100%, aura tendance à se sous-estimer et à penser plutôt qu'elle en a 80% alors qu'elle en a clairement 100%. C'est une situation qui se présente régulièrement.

Combien l'association Les SouterReines compte-t-elle de membres en 2023 ?

Nous sommes actuellement 265 adhérents avec une proportion de 60% de femmes et 40% d'hommes et nous sommes suivies par plus de 2500 personnes sur le réseau LinkedIn.

19 entreprises partenaires nous soutiennent et se font régulièrement le relais de nos actions auprès de leurs collaboratrices et collaborateurs.

18- Participation de plusieurs adhérents au challenge sportif Roc et Stone.

19- Visite du chantier de la future gare "Aéroport d'Orly" sur les Lignes 14 prolongée et 18 du Grand Paris Express.

20- Visite du chantier de la future gare de "Noisy-Champs" où passeront les Lignes 15 et 16 du Grand Paris Express et où passe actuellement la Ligne A du RER.

21- Visite de la station La-Dhuys du prolongement de la Ligne 11 à Rosny-sous-Bois.

22- Visite de la plateforme de maintenance d'Annet-sur-Marne (Sofrat, Sifral, Depaul).

De nouveaux partenariats sont également en cours de projet.

Notre association est ainsi devenue un environnement dans lequel, peuvent se partager et se construire des projets autour de la mixité, tous types de structure de la profession s'y retrouvent tel que maîtrises d'ouvrage, maîtrises d'œuvre, entrepreneurs, grands groupes et PME de la filière du BTP ou encore prestataires de services et auto-entrepreneurs.

Comment peut-on rejoindre Les SouterReines ?

Deux possibilités sont offertes :

→ Soit par une adhésion à titre individuel avec une cotisation unique qui fait de vous un adhérent ou une adhérente à vie, si on le souhaite. Promouvoir la mixité dans le BTP se fera sur des années et nous avons considéré que demander une cotisation annuelle n'avait pas de sens. Ceux qui rejoignent l'association sont convaincus qu'il faut changer les choses et savent qu'il s'agit d'une action de longue haleine. La cotisation est donc unique. En revanche, nous demandons une participation aux événements que nous organisons, ce qui incite les personnes qui s'impliquent à mieux respecter leurs engagements.

→ Soit par l'intermédiaire d'un partenaire. Nous en sommes aujourd'hui à 19 partenariats et plusieurs sont en discussion.

Nos 19 partenaires sont de bons relais et participent aux événements, la plupart mettent à notre disposition des moyens (salles, co-financement d'événements, prise en charge de visites chantiers, attribution de stands sur les salons professionnels par exemple). Nous sommes même presque un peu

© Les SouterReines

19



© Les SouterReines

20



victimes de notre succès car ce que nous proposons intéresse beaucoup d'entreprises et, désormais, notre bureau qui n'est constitué que de bénévoles, toutes en poste dans des entreprises, arrive à la limite de ses possibilités. Il nous faudrait, pour aller plus loin et obtenir des résultats plus rapidement, financer un permanent ou une permanente.

Pour augmenter notre impact, nous ambitionnons maintenant de recruter le premier permanent de l'association d'ici 2024. Cela suppose de mieux structurer l'engagement de nos partenaires (convention de partenariats plus engageantes avec différents niveaux financiers d'adhésion), d'élargir notre écosystème pour pouvoir bénéficier de plus de soutien, de subventions peut-être, de faire découvrir au plus grand nombre le monde des infrastructures et de la construction, et en particulier aux femmes qui représentent 60% de nos adhérents.

Le bureau est constitué de 6 membres en plus desquels une dizaine de personnes qui n'en font pas partie mais contribuent largement à faire vivre l'association en venant en appui et qui constituent de ce fait des membres actifs qui aident à l'organisation des événements et à la mise en place des partenariats.

Quels types d'actions menez-vous ?

Nos actions sont de trois ordres : récurrentes, inscrites sur la durée et "coup de poing".

Nous menons des actions récurrentes qui nous permettent de tisser un lien privilégié avec nos adhérents sur le terrain ou dans le cadre d'événements :

→ Visites mensuelles de chantiers d'envergure de travaux souterrains,

de bâtiment, d'ouvrages d'art, principalement en Île-de-France pour l'instant : enfouissement de lignes haute tension près du village des athlètes et de la piscine olympique des JO2024, CEA d'Aulnay-sous-Bois, gare de Villejuif-Institut Gustave Roussy du Grand Paris Express, Biogaz du SIAAP, TSO-BOA de SNCF Réseau, plateforme d'Annet-sur-Marne, ...

→ Organisation de manifestations festives tels que gigot bitume sur un chantier, afterworks régulièrement dont le dernier, le 15 décembre 2022, a donné lieu à un tournoi de pétanque.

→ Présence sur les salons comme celui de l'AFTES en septembre 2021 ou au travers d'événements "inspirationnels" (par exemple : la conférence annuelle sur les biais cognitifs).

L'assemblée générale de janvier 2021 a été organisée en distanciel compte-tenu des problèmes liés à l'épidémie de Covid. Celle de février 2022, s'est tenue au siège de la FRTP Île-de-France et nous a permis, outre le fait de nous réunir, d'organiser en parallèle des ateliers portant sur l'évolution de l'association, son organisation, l'implication des adhérents.

La troisième AG s'est tenue le 9 février 2023 et a servi de cadre à l'organisation d'une table-ronde sur la mixité et sur les manières dont elle est traitée par les entreprises de divers secteurs autres que celui du BTP (transports, automobile, cybersécurité, ...). Plusieurs personnes en charge de ce sujet ont présenté leur façon de traiter le sujet.

Nous avons aussi des actions "coup de poing" comme des interventions à des tables rondes d'autres organismes, des témoignages à l'occasion d'événements organisés par d'autres mais aussi l'organisation d'un événement sportif avec Roc & Stone.

Et les actions inscrites sur la durée ?

Nous menons également des actions à long terme ciblant davantage les jeunes sans distinction de genre, allant du collège jusqu'à l'école d'ingénieurs.

Avec l'association "Like Ton Job", nous organisons des interventions de professionnels dits "Passeurs de passion" dans des collèges de la 5^e à la 3^e qui présentent leurs métiers et le font découvrir à leurs interlocuteurs.

Nous avons un objectif important mis en place en 2022 que nous appelons "Objectif 100". Il concerne les jeunes collégiens en classe de 3^e. Nous vou-

lons les intéresser et les attirer vers les métiers du BTP pour leur stage de découverte en entreprise.

En nous adressant directement à eux, dans leurs établissements, nous créons un premier lien et cherchons à leur donner envie de découvrir la profession au travers d'un chantier ou d'un projet. En parallèle, nous sollicitons les entreprises pour faciliter la mise en relation et la signature des conventions de stage, notre rôle étant celui de facilitateur entre les collègues, les collégiens, leurs parents et les entreprises.

Notre objectif est de décrocher une centaine de stages en Île-de-France pour l'année scolaire 2022-2023.

À cet effet, nous travaillons avec nos partenaires, notamment la FRTP Île-de-France ainsi qu'avec la Société du Grand Paris pour mettre au point l'accueil de ces jeunes sur des chantiers en toute sécurité. Pour résoudre le problème de sécurité que posent les visites sur de tels chantiers, l'association va faire l'acquisition d'EPI de petite taille (gilets, casques et chaussures de sécurité) afin d'approvisionner les entreprises qui accueilleront ces jeunes. Par ailleurs, des tables rondes comme celle organisée avec l'École des Mines de Nancy en mars 2022, permettent d'apporter notre témoignage et partager nos expériences avec les futurs jeunes diplômés et font également partie des actions qui nous paraissent porteuses. L'opération "Coaching pour future manager" a permis à 6 femmes de bénéficier d'un programme de coaching collectif pendant 6 mois. Cette première édition nous a confortées dans la nécessité de proposer des formations pour les femmes qui souhaiteraient accéder à des postes d'encadrement et qui voudraient être accompagnées dans leur démarche. □

Les SouterReines : LE BUREAU

PRÉSIDENTE : Myriam Fontaine-Boullé

VICE-PRÉSIDENTE : Kawtar Benmina

SECRÉTAIRE : Marie de Mazenod

VICE-SECRÉTAIRE : Karine Valette

TRÉSORIÈRE : Laëtitia Pavel

VICE-TRÉSORIÈRE : Marie-Aude de Roodenbeke

© MATHIEU BOURDON

21



© Les SouterReines

22





© YES CHANOIT

CBE GROUP MOULES ET CARROUSELS DE VOUSSOIRS POUR TUNNELS : LA TECHNOLOGIE FRANÇAISE LEADER DANS LE MONDE

REPORTAGE DE MARC MONTAGNON

QUAND UN TUNNEL SE CONSTRUIT QUELQUE PART DANS LE MONDE, IL Y A DE FORTES CHANCES D'Y RETROUVER EN BONNE PLACE CBE GROUP... POUR S'EN CONVAINCRE, IL SUFFIT DE CONSULTER LA CARTE DES CHANTIERS RÉALISÉS PAR LA PME TOURANGELLE DE SAINT-AVERTIN (INDRE-ET-LOIRE), LEADER MONDIAL DES MOULES DE VOUSSOIRS ET DES CARROUSELS AVEC 40% DE PARTS DE MARCHÉ, QUI PORTE HAUT LES COULEURS DE L'INDUSTRIE FRANÇAISE. UNE RENCONTRE AVEC PHILIPPE SAMAMA, PRÉSIDENT DE CBE GROUP, PERMET DE DÉCOUVRIR LA COMPLEXITÉ QUE REQUIÈRENT LA CONCEPTION ET LA FABRICATION DE CES ÉQUIPEMENTS INDISPENSABLES À LA RÉALISATION D'UN TUNNEL.

La première entité de CBE Group - CBE Tunnel - est créée en 1987 par Robert Salmon pour réaliser le Tunnel sous la Manche, reconnu aujourd'hui encore comme une véritable prouesse technologique. CBE se spécialise alors dans la fabrication de moules de voussoirs. Depuis

sa création, elle s'inscrit dans une forte dynamique de croissance. En 2005, CBE Tunnel fusionne avec la société MSCO et agrandit ses infrastructures. Elle devient CBE Group. Afin de développer son marché à l'international, un site de production est lancé dès 2009 à Yangling en Chine, dans la province

1- CBE Group conçoit, fabrique, installe et livre "clé en main" des équipements pour la réalisation de tunnels de grand diamètre à travers le monde.

du Shaanxi. Plusieurs projets y voient rapidement le jour.

Sur ces deux dernières années seulement, CBE Group est intervenu sur presque tous les continents, de la Chine à l'Inde, en passant par les États-Unis, l'Amérique du Sud, l'Australie et, bien sûr, la France.

Cette internationalisation réussie, l'entreprise la doit d'abord à Didier Lefebvre, qui la dirige durant douze ans. Ce dernier, souhaitant alors se désengager, passe la main.

Son successeur est Philippe Samama qui a occupé précédemment de nombreux postes dans l'industrie, jusqu'à la direction générale de la branche "Réacteurs et Services" d'Areva, qu'il quitte en 2015.

À l'occasion d'un changement de capital de CBE, Philippe Samama en devient le PDG et actionnaire majoritaire en octobre 2017. Il est accompagné dans cette reprise par une demi-douzaine de managers de la société, ainsi que par un fonds d'investissement.

90% À L'INTERNATIONAL

En 35 ans, la société est devenue un acteur incontournable du secteur du tunnel, disposant d'une renommée mondiale avec 600 projets réalisés dans le monde entier.

Située en Région Centre-Val-de-Loire, elle dispose d'un siège social et d'un

2- Philippe Samama, président de CBE Group.

3- CBE a participé à 600 projets réalisés dans 53 pays.



© MARC MONTIGNON

2

PHILIPPE SAMAMA : PARCOURS

Philippe Samama est ingénieur de l'École Polytechnique (1985) et de l'École Nationale des Ponts et Chaussées (1995) et titulaire d'un " Master of Business Administration " de l'Insead (Institut Européen d'Administration des Affaires) (1995).

Il commence sa carrière chez Valeo, entre 1997 et 2002, comme directeur de site industriel à Blois puis directeur de la division Éclairage France à Angers (production de phares pour les constructeurs européens et japonais).

De 2002 à 2007, il est PDG de ECL Group (Fives), leader mondial des équipements et services pour fonderies d'aluminium.

Entre 2007, il rejoint Areva T&D (équipements de réseaux électriques) comme vice-président de la business unit Service puis, entre 2010 et 2014, comme vice-président exécutif de la business unit Base installée d'Areva.

En 2014 et 2015, il est nommé Senior executive vice-president du Business Group Réacteurs et Services d'Areva pour les centrales nucléaires en opération et en construction.

Il se lance ensuite à la recherche d'une société industrielle de plus petite dimension et rachète CBE selon un schéma de LBO avec un fonds d'investissement.

Depuis octobre 2017, Philippe Samama est président de CBE Group, leader mondial des moules de voussoirs et des lignes de préfabrication de ces voussoirs.

bureau d'études à Saint-Avertin (Indre et Loire), de deux sites de production à Saint-Avertin et à l'Île-Bouchard (Indre et Loire) et d'un site de production en Chine. CBE Group compte 300 salariés, dont 200 en Chine.

« CBE est un fournisseur d'équipements pour la construction de tunnels de grand diamètre. Ce qui nous caractérise est que nous allons de la conception à l'installation clé en main.

L'entreprise maîtrise l'intégralité du processus depuis la conception au bureau d'étude jusqu'au démarrage des usines, en passant par la fabrication des moules et du carrousel jusqu'à leur installation sur le site de préfabrication des voussoirs. C'est important car nos chantiers sont situés partout dans le monde : nous réalisons 90% de notre activité hors de France. Cette capacité de projection est une caractéristique de CBE. »

Des entreprises de renommée mondiale font appel à CBE pour tous les projets qu'elles ont à gérer : Vinci Construction, Bessac, Bouygues Construction, Stradal, Technopref, Sateba, Traylor, Wilson Group, Acciona ou encore Balfour Beatty.

Le diamètre intérieur des tunnels varie de 3 m à 17 m et les moules sont vendus dans 53 pays sur les cinq continents.



© CBE

3



4
© CBE



5
© CBE

UNE TOLÉRANCE DE 3/10^e DE MM

Un rappel synthétique, par Philippe Samama, de quelques phases de la construction d'un tunnel met en évidence les contraintes de fonctionnement auxquels les voussoirs sont soumis et les contraintes de production auxquels doit faire face une entreprise telle que CBE.

« Le tunnelier, au fur et à mesure de sa progression, place les voussoirs jusqu'à former un anneau le long de la paroi du tunnel qu'il vient créer et, ce qui est important dans notre activité, vient s'appuyer dessus avec des vérins pour progresser. On attend ainsi du voussoir qu'il ait une résistance mécanique à la pression supérieure au simple besoin du tunnel. Alors que la pression de la géologie est radiale, la pression du tunnelier est longitudinale. Il en résulte de ce fait, en termes de résistance mécanique, deux contraintes différentes.

Typiquement, si on admet qu'un tunnelier réalise entre 10 et 12 mètres par jour, un anneau ayant une largeur généralement comprise entre 1,50 m et 2 m, le tunnelier met en place entre 6

et 10 anneaux ce qui correspond entre 40 et 80 voussoirs, en fonction du diamètre du tunnel.

Une fois que le tunnelier est lancé, la consommation de voussoirs est donc importante. Pour y faire face, nos clients font du stock de voussoirs - de l'ordre de 2 à 3 mois - afin qu'il n'y ait pas de risque d'approvisionnement. Cela nécessite une place considérable, ce qui constitue une contrainte industrielle à prendre en compte pour la préfabrication.

Au niveau des moules que nous produisons, les contraintes sont tout aussi draconiennes : la tolérance des voussoirs est de 3/10^e pour des pièces qui pèsent entre 3 et 17 tonnes. Tout le savoir-faire de CBE est de fabriquer des moules capables de produire en moyenne 1 500 à 2 000 voussoirs sur une durée de 2 à 3 ans, avec une vibration intégrée à chaque coulée, qui va à l'encontre de la stabilité du moule dans le temps. La tolérance doit être maintenue jusqu'au dernier puisqu'elle garantit à la fois l'assemblage et la bonne répartition des efforts sur toutes les surfaces de contact des voussoirs entre eux. »

4- La cabine de peinture de l'usine de l'île-Bouchard.

5- Mesures de tolérance - 3/10^e de mm - dans l'usine de l'île-Bouchard.

6- Un moule en cours de préparation.

7- Dispositif Acimex de manutention et levage par vide d'air d'un voussoir.

représente entre 20 et 40 millions d'euros. Le tunnel, selon sa longueur et son diamètre représente un investissement entre 500 millions et 1,5 milliard et demi d'euros.

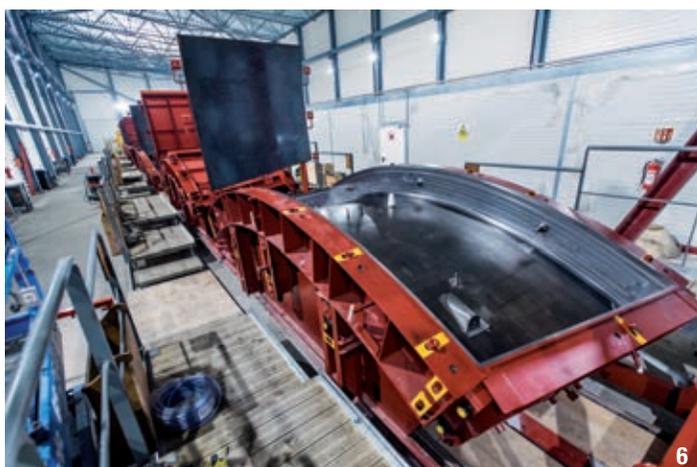
Le lot d'équipements fournis par CBE constitue donc une partie infime de la valeur du tunnel. Par contre, la non-qualité qui serait éventuellement créée par ce lot aurait des conséquences, non seulement tragiques sur la qualité du tunnel lui-même, mais également sur le délai de réalisation du projet. Le coût du projet, à commencer par l'immobilisation du tunnelier, serait menacé. La qualité de notre prestation est d'autant plus vitale que le lot attribué à CBE est probablement l'un des derniers commandés dans la vie du projet. Le cheminement d'un projet de tunnel suit plusieurs étapes échelonnées dans le temps : décision du maître d'ouvrage, choix de l'entreprise de génie civil, choix du préfabricant fournisseur de voussoirs, en propre par l'entreprise de Génie Civil ou confiée à un spécialiste de préfabrication et, enfin, commande des équipements.

Notre challenge est de nous imbriquer dans un projet global de construction,

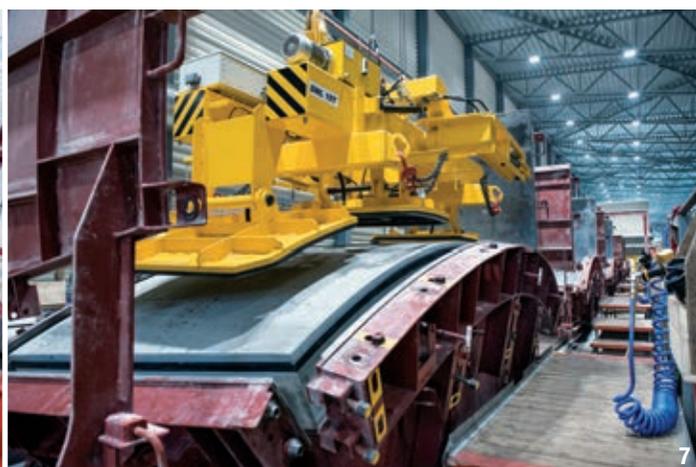
Le savoir-faire de CBE est, avant tout, de délivrer à ses clients, projet après projet, cette qualité de voussoirs, du premier au dernier.

Et Philippe Samama de préciser l'importance déterminante, bien que peu connue, de l'intervention de CBE dans l'investissement global d'un projet de tunnel :

« Globalement, le coût moyen d'un lot CBE, selon qu'il s'agit de moules et de carrousel, se situe entre 500 000 et 5 millions d'euros. Le lot voussoirs



6
© NICOLAS TOURRENC



7
© NICOLAS TOURRENC



© NICOLAS TOURENÇ

8

tout en étant souvent l'un des derniers maillons de la chaîne. Nous sommes donc contraints par le planning global des projets, avec des délais souvent compressés et des dates de mise en production peu flexibles. Il nous faut réaliser la conception, la fabrication, la phase d'installation sur site, et le réglage des moules et du carrousel. Notre grande force réside dans notre capacité de projection de moyens et de savoir-faire pour aller installer des usines clé en main, parfois dans des zones lointaines, voire très reculées. Cette projection s'effectue depuis Yangling, en Chine, pour le marché intérieur chinois et l'Asie, et depuis Saint-Avertin, en France, pour le reste du monde. »

« Ce que nous garantissons à nos clients, c'est une prestation de qualité dans ces délais contraints. Lorsque vous livrez des équipements dans le monde entier, cela représente un réel challenge pour une ETI, ce qui explique qu'il y ait assez peu de concurrents pour ce type d'activité. »

8- Un voussoir en cours d'évacuation du moule de fabrication.

9- Fabrication des moules de voussoirs pour le groupement Alliance sur le Grand Paris Express.

10- Quelques-uns des 294 moules pour les chantiers du Grand Paris Express.

PAS DE PRESTATION STANDARD

Par ailleurs, il faut souligner que, dans l'activité de CBE, il n'existe pas de produits standard. Le dimensionnement des moules et la cadence de production sont redéfinis à chaque projet en fonction de la géologie, du diamètre de l'ouvrage, de sa longueur... et pour des applications qui sont très diverses.

Si une grande part de l'activité de CBE est concentrée sur les lignes de métro, elle concerne aussi les lignes de tunnels routiers, les tunnels de refroidissement pour les centrales nucléaires, les tunnels pour le "pump storage" (remontée et descente d'eau entre deux barrages pour stocker de l'énergie), les tunnels pour les eaux usées et, de plus en plus, les tunnels pour les eaux d'orage. En effet, en raison du réchauffement climatique et des épisodes orageux de plus en plus violents que connaissent les grandes métropoles, les réseaux d'égouts, datant de plusieurs décennies, parfois du 19^e siècle, ne sont plus en mesure d'évacuer l'eau suffisamment rapidement. De ce fait, la création de réseaux complémentaires de ceux existants constitue désormais une activité en plein développement un peu partout dans le monde là où les villes très "bitumées" ne disposent plus de capacités d'absorption suffisante pour les orages violents.

LES CARROUSELS : DES LIGNES DE PRODUCTION CLÉ EN MAIN

Le deuxième grand produit de CBE est ce qu'on appelle les "carrousels" qui sont des lignes de production de voussoirs livrés clé en main. Dans un carrousel, les moules sont placés sur des rails qui leur permettent ainsi de se déplacer automatiquement sur chaque poste de la ligne de production : mise en place du joint et éventuellement d'une cage de renforcement, coulage du béton dans le moule, vibration du béton, étuvage, ouverture du moule, extraction du voussoir, nettoyage du moule, huilage et préparation pour le bétonnage suivant.

Les carrousels sont les équipements industriels qui assurent ainsi toutes les étapes de la fabrication d'un voussoir plus rapidement qu'en poste fixe. Dans ce dernier cas, les moules sont fixés au sol et les opérateurs se déplacent sur chaque moule pour effectuer les tâches liées à la production d'un voussoir.



© GUILLAUME FRAYSSE

9



© GUILLAUME FRAYSSE

10

La technique de renforcement par cage d'armatures commence à être remplacée par l'utilisation à travers le monde de fibres métalliques : c'est par exemple le cas sur plusieurs lignes en construction du Grand Paris Express. Les deux technologies sont complémentaires en fonction des impératifs de résistance requise par les voussoirs. « Pour la partie carrousel, le modèle industriel est différent de celui des moules que nous concevons, fabriquons dans notre usine de l'Île-Bouchard et installons sur site en totalité. Les moules sont de grands ensembles mécano-soudés qui font appel essentiellement à de la mécanique avec du calcul vibratoire pour le positionnement des vibreurs.

Pour les carrousels, il s'agit de mise en jeu de différentes technologies : de la mécanique, de l'électrique, de l'hydraulique mais aussi beaucoup d'automatisme et, de plus en plus, de robotique. C'est plus un métier d'intégrateur : nous assurons la conception des équipements, achetons les éléments auprès de nos fournisseurs, nous les acheminons et enfin nous les assemblons sur le site du client. »

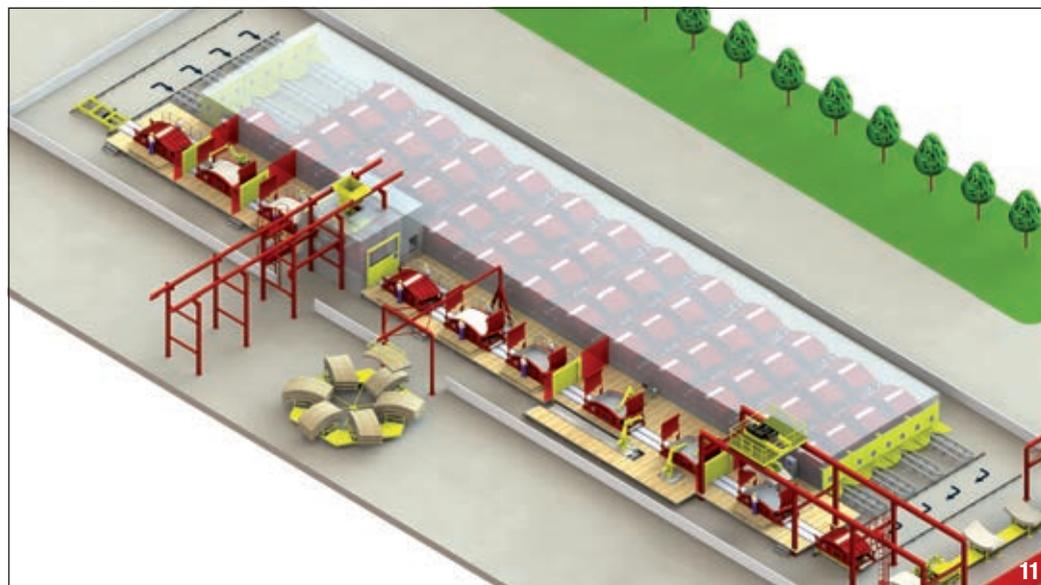
Les carrousels sont généralement implantés par CBE à proximité des chantiers de tunnels afin de réduire les coûts de transport des voussoirs. Ces lignes de production sont en mesure de sortir un voussoir toutes les 5 à 12 minutes. Elles peuvent produire jusqu'à 100 000 voussoirs pour les tunnels de grande longueur ou les tunnels doubles. La campagne moyenne de fabrication de voussoirs pour un projet se situe entre 12 et 36 mois.

À l'issue du chantier, la ligne peut être soit démontée, soit récupérée par le préfabricant qui l'a utilisée et être reconvertie pour y installer des moules d'une autre dimension. Les carrousels sont conçus pour être adaptés à plusieurs types de fabrication. C'est le cas, par exemple, des carrousels fournis par CBE à Alliance⁽¹⁾ et Stradal pour la réalisation des voussoirs de plusieurs lignes du Grand Paris Express.

Les moules à poste fixe sont généralement préférés aux carrousels dans les pays où le coût de la main d'œuvre est peu élevé.

ACIMEX : LE LEVAGE PAR VIDE D'AIR

CBE dispose d'une filiale qui propose son expertise en maintenance de charges lourdes depuis plus de 50 ans. Créée en 1971 et établie également à Saint-Avertin, Acimex



acquiert tout d'abord ses lettres de noblesse sur le territoire français dans le domaine de la préhension et le levage des plaques de tôle d'acier dans la sidérurgie et les industries mécaniques avec une technologie de levage par vide d'air, en l'occurrence avec des ventouses.

La société a ensuite étendu son savoir-faire et ses compétences au domaine du béton et du tube : ses produits permettent notamment d'extraire les voussoirs des moules dans lesquels ils viennent d'être coulés.

Acimex est rachetée en 2010 par CBE Group. Ce partenariat permet aux deux entités de proposer des solutions complémentaires sur de nombreux contrats. « En 2016, Acimex a ouvert en Chine

11- Schéma de principe d'un carrousel.

12- Acimex est spécialisée dans le levage des pièces lourdes grâce à la tech- nologie du vide.

une filiale qui produit dans notre usine CBE de Yangling, indique Philippe Samama, Shaanxi Acimex Mechanical Equipment Co., Ltd lui permettant d'être au plus près de ses clients chinois. L'ensemble des machines Acimex produites en Chine est au préalable conçu sur mesure dans notre bureau d'études de Saint-Avertin et bénéficie

donc de notre savoir-faire français. »

Parmi les projets internationaux récents d'Acimex : érecteurs, chariots à voussoir et démouleurs pour les tunneliers du métro de Sydney en Australie, érecteur à voussoir et chariot train pour le tunnelier d'une nouvelle autoroute en Sicile, pinces à voussoirs pour le métro de São Paulo au Brésil, érecteur et chariot à voussoir pour le métro de Riyad en Arabie Saoudite...

APS : UNE RÉFÉRENCE EN BRISE-LAME

Une autre branche de CBE intervient dans le domaine de la construction : APS qui assure la réalisation de blocs artificiels brise-lames pour la protection des digues portuaires avec deux





13

© CBE



14

© CBE

13- Un brise-lame "X bloc" produit dans l'usine APS pour le port de Calais.

14- Les moules pour la fabrication de brise-lames pour le port de Calais.

15- L'impressionnant parc de stockage des segments de voussoirs pour le projet HS2 (182 moules).

16- Montage à blanc d'un anneau-moule constitué de plusieurs voussoirs, pour le projet HS2 de ligne à grande vitesse au Royaume Uni.

© CBE



15

© CBE

HS2 (HIGH SPEED 2) EN BREF

HS2 est le projet phare de l'industrie de la construction en Grande-Bretagne et prévoit de relier Londres aux Midlands (Birmingham, Manchester, ...) par une ligne de Train à Grande Vitesse. En 2017, Systra a été sélectionné par la joint-venture Balfour Beatty-Vinci pour la conception du génie civil des lots N1 et N2, à 50/50 avec Mott McDonald. D'une longueur totale de 90 km, ces deux lots sont les plus importants, les plus complexes et les plus au nord géographiquement de la phase 1 du projet, comprenant également le raccordement jusqu'au centre-ville de Birmingham et reliant la ligne nouvelle au réseau existant West Coast Main Line dans le Staffordshire.

S'étendant sur un tracé d'environ 90 km, les lots N1 et N2 comprendront un nombre impressionnant d'ouvrages d'art, de tunnels et de chantiers de terrassement : 51 viaducs et structures en caissons totalisant plus de 14 km et 76 passages supérieurs, 7,5 km de tunnels bitubes, 35 linéaires de déblais sur un total de plus de 30 km, 76 passages inférieurs, 66 linéaires de remblai sur un total de plus de 33 km.



16

© CBE

port de Calais. L'usine était initialement configurée par APS pour la fabrication de blocs artificiels de 4 m³ pesant 10 tonnes chacun. Des interventions ont été requises au fil des mois pour passer à 6 m³, 8 m³, 10 m³ et enfin 12 m³. Ces derniers blocs pesaient 25 tonnes l'unité. »

Ces brise-lames sont produits dans des moules et des carrousels conçus et fabriqués par CBE.

6 GRANDS PROJETS EN COURS

Parmi le nombre impressionnant de projets - plus de 600 dont 230 carrousels depuis 1987 correspondant à la livraison de 28600 moules dans 53 pays à travers le monde - il était à l'évidence délicat de mettre en évidence les plus représentatifs.

Philippe Samama a choisi d'évoquer 6 d'entre eux, achevés ou en cours de réalisation qui reflètent la diversification qu'a su réaliser CBE dans la niche ultraspécialisée que constitue la fabrication de moules pour voussoirs :

- Le Grand Paris Express, en France ;
- HS2 Manchester-Londres, au Royaume Uni ;
- Los Angeles Outfall, aux États-Unis ;
- Snowy Hydro au sud de Canberra, en Australie ;
- Le tunnel sous le Yangtsé dans la province de Jiangsu, en Chine ;
- La ligne de métro express Airport Link Line à Shanghai, en Chine.

Grand Paris Express : pour ce projet d'extension du réseau de métro dans Paris et sa Grande Couronne (200 km de tunnels), CBE a livré 3 carrousels et 294 moules ainsi que deux carrousels de pré-stockage dans lesquels les voussoirs produits sont stockés pour leur donner une durée complémentaire d'étuvage. Cette prestation est considérable par son volume. ▶

types de produits : "X bloc"® et "ACCROPODE"™.

En 2013, la marque APS est créée afin d'officialiser le nombre de projets grandissants que réalise l'entreprise, liés à d'autres domaines d'application béton que le tunnel : blocs artificiels pour brise-lames (portuaire), traverses/dalles de traverses (ferroviaire), panneaux anti-bruit (ferroviaire/routier), murs (habitation).

En 2014, APS signe une première mondiale : la mise en place d'une usine automatisée de production de brise-lames pour la réalisation de la nouvelle Route du Littoral à La Réunion. Ce contrat en attire d'autres, avec des usines automatisées de production de blocs artificiels à Calais et en Écosse.

« APS est intervenue entre 2016 et 2018, précise Philippe Samama, pour la fabrication de blocs artificiels servant à former la digue principale du



17
© CBE



18
© CBE

Elle correspond à l'approvisionnement en voussoirs des chantiers des Lignes 11, 14 Sud, 15, 16, 17 et 18.

HS2 (High Speed 2) : le projet HS2 lancé par le gouvernement britannique a pour objectif de créer un nouveau réseau reliant à grande vitesse Londres, les Midlands et le Nord du pays, desservant 8 des 10 plus grandes agglomérations de Grande Bretagne parmi lesquelles les villes de Londres, Birmingham, Manchester et Leeds.

« La Ligne HS2 représente l'un des plus importants projets de construction en Grande-Bretagne depuis des décennies, précise Philippe Samama, d'un

montant de l'ordre de 100 milliards de livres. C'est l'équivalent du Grand Paris Express, en Grande Bretagne, mais pour des trains à grande vitesse plutôt que pour des métros. »

Entre 2019 et 2022, CBE a livré pour les lots N1 et N2 deux carrousels et 182 moules (voir encadré : HS2 en bref). Pour ce projet, CBE a réalisé dans son usine de l'Île-Bouchard le montage, à blanc, d'un anneau-béton garantissant le bon assemblage des voussoirs fabriqués dans les moules qui seront ensuite livrés sur le chantier.

Los Angeles Outfall (2020-2021) : le projet Outfall à Los Angeles consiste

17- Nettoyage automatisé avec des robots moules mis en œuvre sur le chantier Los Angeles Outfall aux États-Unis (60 moules).

18- Usine de pré-stockage de voussoirs pour le projet Snowy Hydro en Australie (90 moules).

19 & 20- L'usine CBE de Yangling dans la province du Shaanxi (Xi'an) en Chine.

en la construction d'un tunnel de 11,25 km de longueur et de 5,5 m de diamètre reliant la station de traitement des eaux usées de Carson et le collecteur océanique de Royal Palm Beach. Pour ce projet, CBE a livré un carrousel équipé de robots et 60 moules.

« Ce carrousel, précise Philippe Samama, est équipé de robots qui réalisent le nettoyage des moules, leur huilage et leur fermeture. Ces opérations qui étaient autrefois faites par des opérateurs sont, sur ce chantier, entièrement automatisées. Cette évolution est importante pour CBE. Elle illustre sa capacité d'être passé en 30 ans

CBE EN CHINE

En 2009, CBE a établi une usine en propriété exclusive - filiale à 100% de CBE - dans la région de Yangling près de Xi'an.

La grande ville de Xi'an est la capitale de la province du Shaanxi, dans le centre de la Chine. Nommée autrefois Chang'an ("paix éternelle"), elle constitue l'extrémité Est de la route de la soie et abritait les bâtiments gouvernementaux des dynasties Zhou, Qin, Han et Tang. Dans les sites archéologiques des plaines entourant Xi'an se trouve la célèbre Bingmayong ("armée de terre cuite"), composée de milliers de sculptures en terre cuite grandeur nature et façonnées à la main, ensevelies avec le premier empereur de Chine, Qin Shi Huang.

CBE a remporté des appels d'offres pour 120 projets de moules en Chine, des dizaines d'usines automatisées, réalisé plus de 750 ensembles de moules et fabriqué plus de 4670 moules en acier.

La qualité technique des tunnels segmentaires produits par les moules CBE est devenue la norme en Chine. À l'heure actuelle, il y a 35 villes dans le pays avec des métros en construction, dont 24 villes utilisent des moules en acier CBE pour leurs tunnels de métro.

Les produits sont également exportés vers le Vietnam, l'Inde, Singapour, Hong Kong, la Malaisie et d'autres pays asiatiques.

L'usine de Yangling couvre une superficie de 35 acres. Elle compte 200 employés.

Yangling CBE Company intègre la fabrication, le traitement, l'assemblage et le service après-vente de moules à voussoirs. Les produits sont conçus en France. La production et la transformation sont entièrement conformes au modèle d'usine français et adoptent les normes de qualité de l'Union Européenne. Fabriquer en Chine réduit considérablement les coûts et facilite le service après-vente en Chine et dans les pays alentour.



19
© CBE



20
© CBE

d'un métier assez traditionnel de mécanosoudure à un métier utilisant la robotique avec les développements de compétences que cela implique. De tels robots sont également mis en œuvre sur un chantier australien. »

Snowy Hydro (2020-2022) : le projet Snowy Hydro, au sud-ouest de Canberra en Australie, consiste à réaliser un tunnel de pompage pour stockage d'énergie de 27 km de long et de 9,9 m de diamètre et une station électrique souterraine entre deux barrages (Tantangara Reservoir et Talbingo Reservoir) situés à des altitudes différentes.

Pour ce chantier, CBE a livré 2 carrousels équipés de robots et 2 carrousels de pré-stockage ainsi que 90 moules.

Tunnel sous le Yangtsé (2021) : il s'agit d'un projet de double tunnel routier de 12 km de longueur équipé de 4 anneaux de 15,50 m de diamètre permettant de franchir en souterrain le fleuve et reliant la ville de Nantong à celle de Taicang.

Pour ce chantier, CBE a livré 40 moules.

Airport Link Line (2021) : ce projet situé à Shanghai consiste en un tunnel de 13,6 m de diamètre et de 68,6 km de longueur permettant de relier entre eux les deux aéroports de Shanghai Hangqiao, situé à proximité du centre-ville et celui de Pudong.

Pour ce chantier, CBE a livré 54 moules permettant la réalisation de 6 anneaux constitués chacun de 9 voussoirs pour atteindre un diamètre fini de 13,60 m. Ces 6 exemples illustrent la diversification qu'a su réaliser CBE tout en restant dans sa démarche d'origine qui demeure celle de concevoir et fabriquer des moules pour voussoirs puisqu'ils mettent en évidence la polyvalence des moules qui sortent de l'usine de l'île-

CBE INNOVE EN CHINE

CBE Group a livré à la ville de Chengdu, dans la province du Sichuan, des moules de voussoirs ainsi qu'un carrousel pour la réalisation d'un projet innovant de galerie technique.

La galerie technique de ce projet est divisée en plusieurs voussoirs faciles à manipuler et dotés d'une structure résistante. Habituellement réalisées à ciel ouvert et équipées de panneaux en bétons très grands et difficiles à manipuler, ces galeries ne rentrent pas dans une logique d'automatisation. L'innovation proposée permet de standardiser la réalisation de ce type de galerie, et de fournir un référentiel pour d'autres villes potentiellement intéressées par cette simplification de production.

Commandés au départ par le Groupement des Finances des Travaux Urbains de la ville de Chengdu, associé au Groupe n°23 des Chemins de Fer, les plans du carrousel et des moules destinés à la galerie technique ont tout d'abord été conçus par le bureau d'études à Saint-Avertin en France. Si le carrousel reste relativement standard, avec une simple adaptation technique sur le poste de bétonnage, les moules, eux, ont dû être adaptés. La galerie est en effet de forme ovale. Relativement courte, elle mesure 1 068 m de longueur. Sur cette longueur, 768 m ont été réalisés en voussoirs préfabriqués. Selon le souhait du client, le reste de la galerie a été fait en béton, coulé en place. Les anneaux en béton qui composent la partie de la galerie réalisée avec la technologie CBE Group se divisent chacun en 5 voussoirs.

Cette galerie technique se partage en deux tunnels : un premier qui permet d'un côté l'écoulement des eaux usées, et de l'autre le passage de câbles électroniques. Un second tunnel, également divisé en deux, est réservé à l'alimentation de l'eau, d'une part, et à des câbles électriques, d'autre part. C'est la première fois qu'un projet de cette nature est réalisé avec des voussoirs préfabriqués. L'essai s'est montré concluant : gain de temps sur la réalisation du projet, manutention simplifiée, résistance renforcée du tunnel font de la réalisation de cette galerie une réelle innovation dans le domaine souterrain, appelée à se reproduire dans les années à venir.

21- Les moules pour les tunnels de franchissement du Yangtsé en Chine (40 moules).

22- Fabrication des voussoirs pour le tunnel de la "Airport Link Line" à Shanghai (54 moules).

Bouchar : tunnels de métros et ferroviaires, tunnels routiers, tunnels d'assainissement, tunnels liés à l'énergie hydro-électrique.

Ils répondent également à deux grandes demandes de ses clients.

D'une part, suivant en cela le déploiement de l'industrie 4.0, CBE a développé des solutions pour répondre à

la demande croissante d'automatisation et de robotisation des carrousels. Notamment parce que ses clients ont du mal à trouver de la main-d'œuvre qualifiée et stable. D'autre part, il y a un besoin croissant d'augmenter la productivité de ces usines par l'utilisation de capteurs et le traitement des données. Par exemple, la digitalisation permet de rendre chaque voussoir traçable, aussi bien en termes de paramètres de production que de logistique. La demande pour les tunnels auxquels contribue CBE est tirée par deux tendances de fond : d'un côté, l'urbanisation croissante partout dans le monde qui demande beaucoup d'investissements en infrastructures de transport de plus en plus souterraines pour des contraintes d'espace, et en réseaux d'eaux usées.

Par ailleurs, le réchauffement climatique crée lui aussi indirectement un besoin en nouveaux tunnels. Pour évacuer rapidement hors des villes les eaux d'orages qui augmentent en fréquence et en intensité. Pour acheminer l'eau potable sur des distances croissantes. Pour stocker l'énergie générée par les renouvelables, par le pompage d'eau entre deux barrages. D'une façon globale, le marché de CBE bénéficie d'une croissance moyenne de 4 à 5% par an.

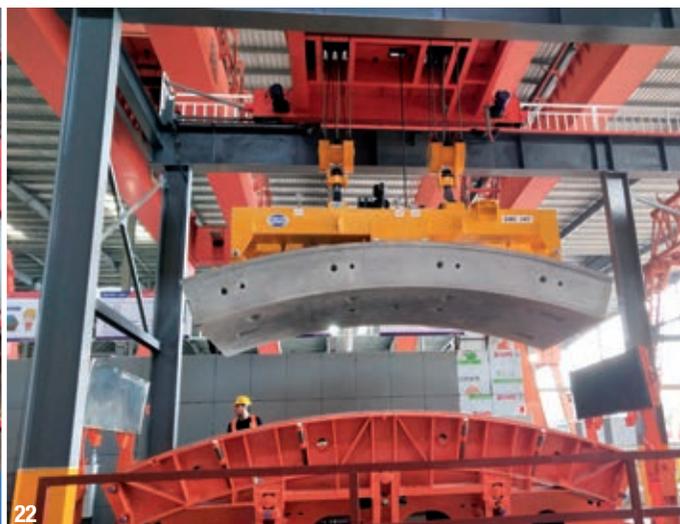
« *Tout en étant un leader mondial sur notre "petite niche", conclut Philippe Samama, nous sommes une société qui porte haut les couleurs de l'industrie française et de son savoir-faire en matière d'ingénierie, une valeur à laquelle je suis très attaché.* » □

1- **Alliance** : ce groupement est composé des sociétés Demathieu Bard, NGE, Impresa Pizzarotti et Implenia.



21

© CBE



22

© CBE



© RAZEL-BEC

EXTENSION ET RÉAMÉNAGEMENT DE LA STATION DE MÉTRO DE SAINT CHARLES À MARSEILLE - GALERIES SOUTERRAINES EN TRADITIONNEL EN MILIEU URBAIN

AUTEURS : ANTHONY AKL, INGÉNIEUR D'ÉTUDES INFRASTRUCTURE, EGIS - DINO MAHMUTOVIC, CHEF DE PROJET GÉOTECHNIQUE, EGIS - MICKAEL DA CRUZ ROCA, INGÉNIEUR TRAVAUX ET MÉTHODES RAZEL BEC - VIANNEY ROZE, INGÉNIEUR D'ÉTUDES TUNNELS, EGIS

LA MISE EN ACCESSIBILITÉ DE LA STATION DE MÉTRO DE SAINT CHARLES À MARSEILLE A NÉCESSITÉ D'IMPORTANTS TRAVAUX DE GÉNIE CIVIL ET OUVRAGES SOUTERRAINS, NOTAMMENT POUR LA RÉALISATION DE NOUVEAUX ESCALIERS MÉCANIQUES ET ASCENSEURS EXTÉRIEURS À LA STATION ACTUELLE. CES TRAVAUX ONT ÉTÉ RÉALISÉS EN MÉTHODE CONVENTIONNELLE DANS UN CONTEXTE URBAIN DENSE ET TRÈS FRÉQUENTÉ, AVEC DES AVOISINANTS SENSIBLES.

SAINT CHARLES - ÉLÉMENTS DE CONTEXTE LE PROJET

La gare SNCF de Saint Charles a été construite en 1848, et constitue aujourd'hui la principale gare de l'agglomération marseillaise avec un flux de passagers quotidien très important. La station de métro du même nom, située sous la gare ferroviaire, a été construite dans les années 1970 et n'a que très peu évolué depuis son inauguration. Ne répondant pas aux exigences d'accès aux personnes à mobilité réduite et à la loi handicap du 11 février 2005,

un ambitieux projet de réaménagement de la station a été lancé par RTM (Régie des transports métropolitains) en 2019 avec un objectif de fin de travaux avant la coupe du monde de rugby de 2023. Ce projet prévoit entre autres :

- Le désencombrement des quais en déplaçant les escaliers mécaniques dans de nouvelles galeries d'accès implantées à l'extérieur à la station de métro actuelle et reliant les quais à la salle d'échange ;
- La création d'ascenseurs permettant de relier les quais aux niveaux supérieurs ;

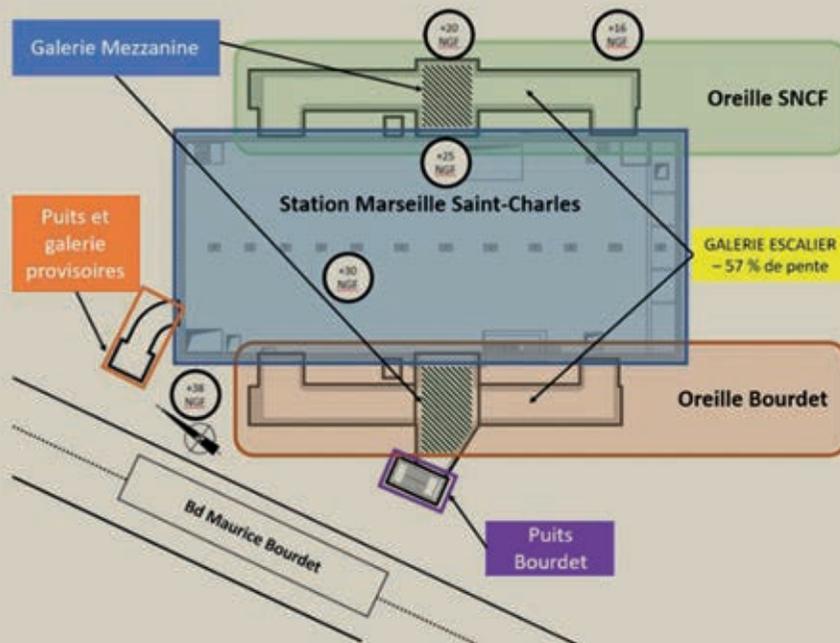
1- Oreille SNCF.

1- SNCF (French Rail) gallery.

- Le réaménagement de l'intérieur de la station de métro permettant de faciliter les flux de voyageurs. La figure 2 présente les ouvrages réalisés. On distinguera :
 - L'"oreille SNCF", nouvelle galerie d'accès entre la salle d'échange et les quais implantée sous la gare SNCF (figure 1) ;

- L'"oreille Bourdet", nouvelle galerie d'accès au droit du boulevard Bourdet et située directement sous un bâtiment administratif de RTM (le bâtiment Lunule) avec une faible couverture de matériaux ;
- Le puits Bourdet permettant d'accéder à la galerie Bourdet ;
- Le puits et la galerie provisoire, ouvrages d'accès au niveau commandement de la station de métro, permettant d'accéder à la galerie ;
- Chaque oreille est composée d'une galerie d'intersection et de deux

SCHÉMA DE PRÉSENTATION DES OUVRAGES



© RAZEL-BEC

2

galeries escaliers, inclinée de 57 % et débouchant sur des galeries d'accès aux quais.

LE CONTEXTE GÉOTECHNIQUE

Le projet est entièrement creusé dans les terrains détritiques du Stampien. Il s'agit d'alternances plurimétriques à métriques lenticulaires de Marnes, Poudingues et Sables. On retrouve ainsi :

- Des marnes sableuses. Leur couleur varie du gris vert à rouille, au

2- Schéma de présentation des ouvrages.
3- Illustration des différentes couches du Stampien.

2- Works presentation diagram.

3- Illustration of the various layers of the Stampian.

- gris beige. Elles peuvent présenter des natures silteuses ou gréseuses. Elles sont généralement indurées et compactes ;
- Des marnes franches très compactes. Leur couleur varie de gris à gris-beige ;
- Des sables moyens à fins, de couleur gris-brun, pouvant être localement induré ;
- Des poudingues se présentant sous la forme de galets centimétriques à décimétriques dans une matrice

sableuse, ou sous forme de sables grossiers plus ou moins cimentés. La figure 3 est une photo du front de taille. Elle permet de visualiser les différentes couches du Stampien.

LE CONTEXTE HYDROGÉOLOGIQUE

Le système aquifère du Stampien est discontinu en fonction des perméabilités des différentes formations traversées avec la possibilité de rencontrer des nappes captives.

On distingue plusieurs niveaux aquifères. Ils correspondent plus ou moins aux différents horizons de poudingues. Ainsi, trois niveaux principaux sont distinguables vers 15 NGF, 28 NGF et 36 NGF. Ces horizons sont toutefois discontinus en raison du pendage des couches et de leur hétérogénéité. Les débits d'exhaure restent relativement faibles, avec des pics ponctuels à 50 m³ par jour.

LES AVOISINANTS

Les puits d'accès et galeries s'insèrent dans un environnement fortement urbanisé.

Une enquête "Bâti" a été menée sur l'ensemble des bâtis situés dans la ZIG autour des ouvrages. Cette étude a porté sur près de 17 bâtis pour l'ensemble du projet.

À l'issue de l'enquête terrain, l'ensemble des bâtis a été classé en fonction de leur sensibilité, puis de leur vulnérabilité (croisement de la sensibilité et des tassements attendus). La figure 4 permet de visualiser la ZIG du projet et la vulnérabilité des différents avoisinants (vert : peu vulnérable, orange : vulnérable, rouge : très vulnérable).

LA CONCEPTION

OBJECTIFS

La conception des ouvrages à créer est conditionnée par le contexte géotechnique et la profondeur du projet. La sécurité du personnel, la stabilité des excavations et, compte tenu du caractère urbanisé du projet, la limitation de l'impact sur les ouvrages mitoyens en définissent les objectifs principaux.

On note les particularités suivantes :

- L'ensemble des ouvrages à réaliser est considéré sous nappes même si les débits attendus sont relativement faibles. L'eau provient essentiellement de circulations ponctuelles dans des passées sableuses franches dont la présence sur le projet a été contractuellement traitée dans une analyse de risques ; ▷



© RAZEL-BEC

3

4- Illustration de la zone d'influence géotechnique et de la vulnérabilité des bâtis.

5- Coupe type de la galerie escalier.

6- Illustration de la pose des soutènements provisoires et définitifs des galeries SNCF et Bourdet.

4- Illustration of the geotechnical zone of influence and the vulnerability of the building stock.

5- Typical section of the escalator gallery.

6- Illustration of the installation of temporary and permanent supporting structures for the SNCF and Bourdet galleries.

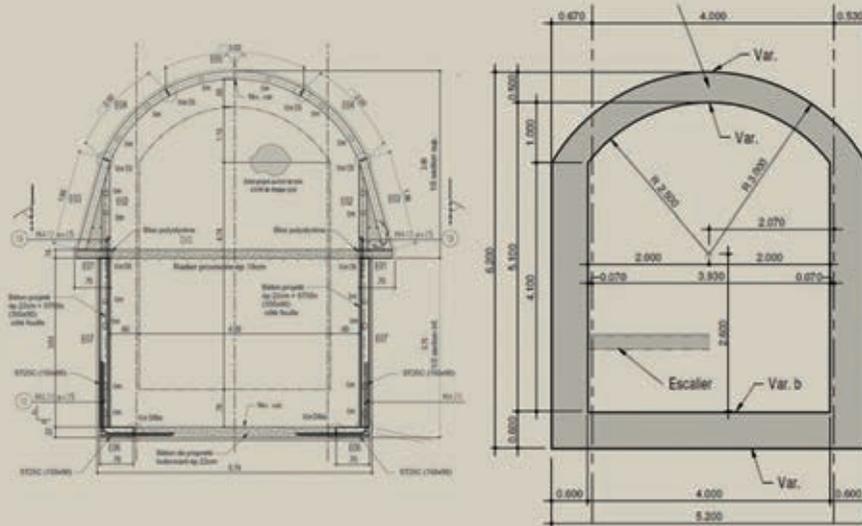


4

© EGIS

- La proximité avec les avoisinants impose une limitation forte des déplacements des soutènements pour les puits et les galeries ;
- L'ensemble des travaux du côté de l'oreille SNCF s'effectue depuis le niveau commandement où des locaux techniques sont maintenus en exploitation, et cet accès contraint fortement la logistique ;
- L'emprise disponible pour la réalisation des galeries est relativement restreinte étant donné la position des avoisinants et des ouvrages existants de la station ;
- La profondeur des ouvrages conduit à rencontrer des faciès géologiques très variables tant dans leur nature que dans leurs caractéristiques mécaniques.

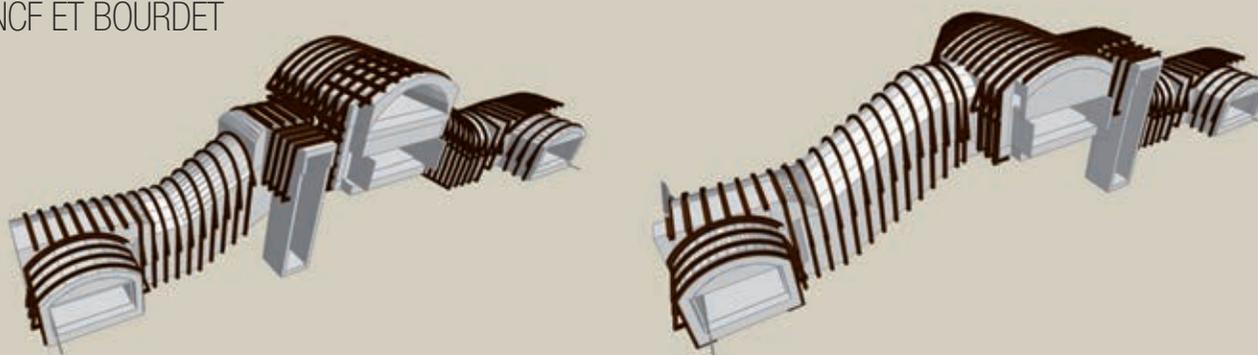
COUPE TYPE DE LA GALERIE ESCALIER



5

© FAZEL-BEC

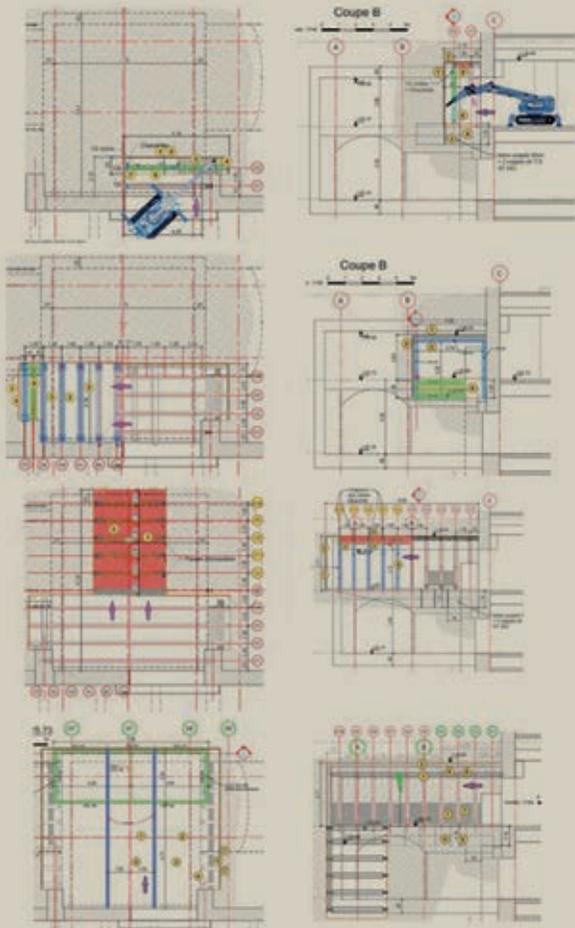
ILLUSTRATION DE LA POSE DES SOUTÈNEMENTS PROVISOIRES ET DÉFINITIFS DES GALERIES SNCF ET BOURDET



6

© FAZEL-BEC

PRINCIPE D'EXCAVATION DE LA DEMI-SECTION SUPÉRIEURE CÔTÉ SNCF



© RAZEL-BEC

7

LES SOUTÈNEMENTS PROVISOIRES

Concernant les galeries, les soutènements provisoires retenus sont des cintres HEB 180 à 220 mis en place tous les mètres et associés à du béton projeté (figure 6). Ce type de sou-

tènement permet de s'adapter à la variabilité des terrains rencontrés ainsi que de s'assurer de la limitation des déplacements.

L'utilisation de cintres dans un environnement contraint avec de nombreuses intersections et selon de multiples géo-

métries a représenté plusieurs défis à relever. Tout d'abord, la variabilité des profils fonctionnels ainsi que les intersections ont imposé la création de 11 sections types différentes de soutènement pour un linéaire inférieur à 200 m (figure 5).

TABLEAU A : LE PHASAGE

| Phasage côté SNCF | Phasage côté Bourdet |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> Réalisation du puits d'accès au niveau tunnel routier. Réalisation des ouvertures/trémies dans la station pour accéder au côté SNCF. Réalisation de la calotte de la galerie d'intersection SNCF en section divisée. Terrassement du stross de la caverne. | <ul style="list-style-type: none"> Réalisation du puits d'accès au niveau mezzanine. Réalisation de la galerie en entonnoir pour atteindre le gabarit de la galerie d'intersection en section divisée. |
| <ul style="list-style-type: none"> Coffrage de la caverne. Excavation des galeries escalier en section divisée. Excavation des galeries d'accès au quai. Étanchéité, ferrailage, coffrage et bétonnage des galeries escalier et accès quai. | |

7- Principe d'excavation de la demi-section supérieure côté SNCF.

8- Vue en plan et en élévation de la galerie d'intersection côté Bourdet.

7- Excavation technique for the upper half section on the SNCF side.

8- Plan and elevation views of the intersection gallery on the Bourdet side.

Compte tenu des volumes importants à réaliser, notamment au droit des intersections de galeries, des portiques et des sections de cintres à longueur variable ont été mis en place tous les mètres.

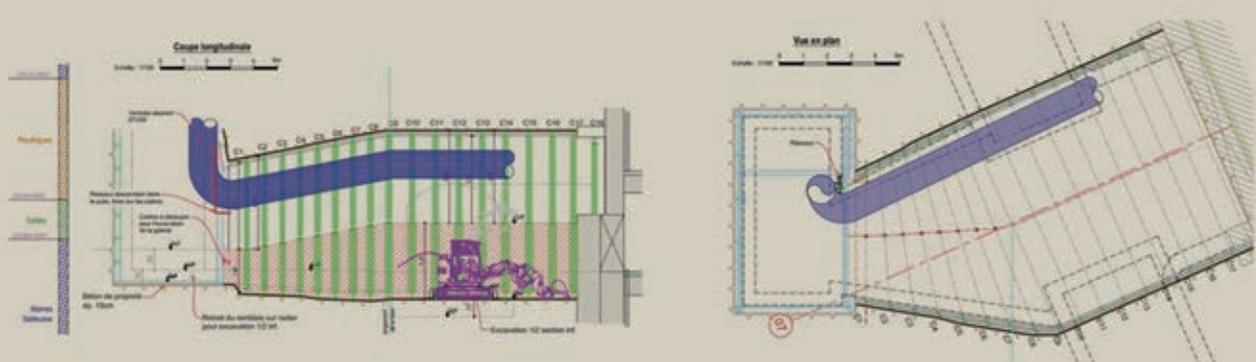
Concernant les puits d'accès, la technique des puits blindés a été retenue dans le cadre d'une variante proposée par l'entreprise.

Les passes successives de terrassement, nécessitent la mise en œuvre d'un soutènement composé de cadres métalliques posés tous les mètres et de béton projeté. Sur un des deux puits des butons centraux permettent de diviser par deux la portée des soutènements et limiter les déplacements vis-à-vis des avoisinants.

LE PHASAGE

Le creusement des galeries a été prévu pour être réalisé depuis le puits d'accès au niveau tunnel routier pour l'oreille SNCF et depuis le puits réalisé sur le boulevard Bourdet pour l'oreille Bourdet. Le phasage conçu est le suivant (tableau A et figures 7 et 8). ▶

VUE EN PLAN ET EN ÉLÉVATION DE LA GALERIE D'INTERSECTION CÔTÉ BOURDET



© RAZEL-BEC

8

9- Modélisation des galeries côté Bourdet et des avoisinants.

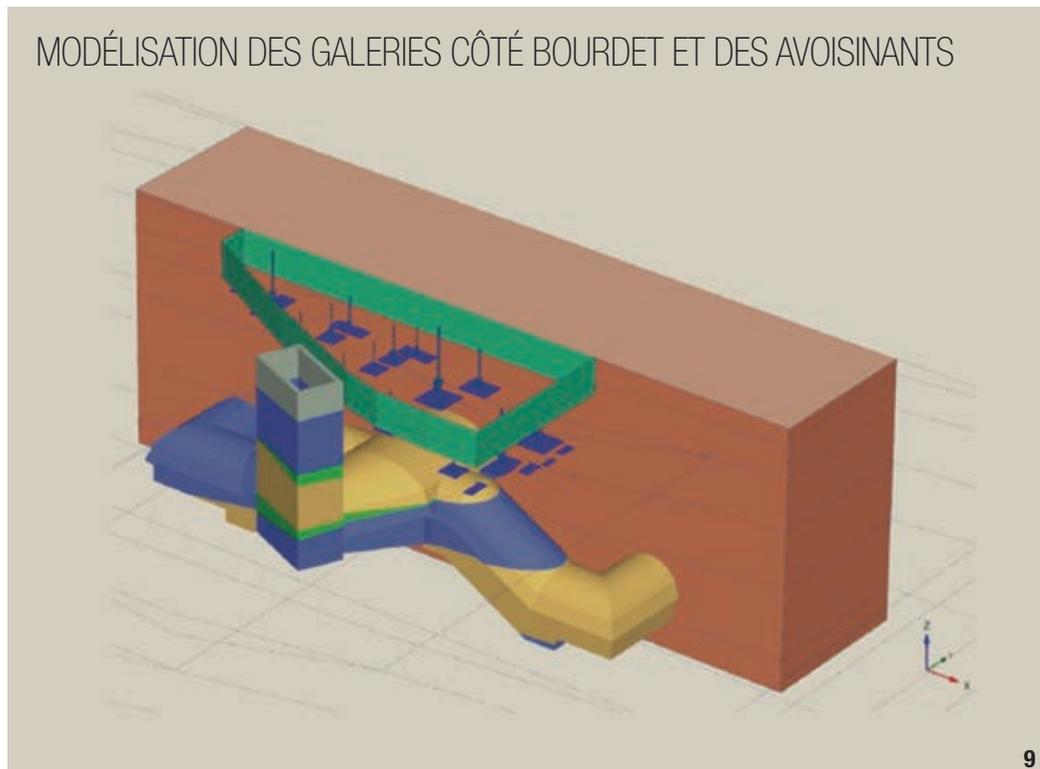
10- Installation de chantier sur le boulevard Maurice Bourdet.

9- Model of galleries on the Bourdet side and adjacent areas.

10- Construction plant on Maurice Bourdet boulevard.

La mise en œuvre du revêtement définitif de toutes les galeries d'intersection avant réalisation du creusement des galeries escalier a été imposée afin de bloquer les déformations au maximum et donc de limiter l'impact sur les avoisinants.

L'excavation des galeries d'intersection au niveau mezzanine ainsi que des galeries escaliers a été réalisée en section divisée afin de limiter les dimensions de la surface de front et réduire ainsi le risque d'éventuelles instabilités. De plus, du fait du faible gabarit disponible pour des engins puissants, notamment sur l'oreille SNCF, la quantité de cintres à mettre en œuvre sur des hauteurs supérieures à 5 m a été minimisée. Par ailleurs la capacité de reprise des charges des planchers de la station dans les niveaux tech-



niques étant relativement faible, les opérations de logistique ont dû intégrer cette contrainte.

Un des points clefs aura donc été la vérification du gabarit des machines pouvant travailler dans ces conditions (espace réduit, charges réduites et pente à 57 %) et l'adéquation de leur puissance disponible vis-à-vis du terrain afin de garder des cadences acceptables.

ÉVALUATION DES TASSEMENTS

Les déplacements ont été évalués avec des méthodes de calcul aux éléments finis. Au stade PRO les galeries ont été justifiées sur des modèles 2D avec une loi de comportement de type HSM et un modèle géotechnique issu du REX de la réalisation de la station de métro et des sondages de la campagne G2 (figure 9).

En phase EXE un modèle 3D a été réalisé sur chaque côté de la station. Étant donné la géométrie et le phasage complexe des ouvrages, la prise en compte de l'effet 3D a permis d'affiner l'estimation des déplacements.

La figure 9 permet de visualiser le modèle 3D réalisé et de se rendre compte du faible espace entre la galerie Bourdet et le bâtiment Lunule.





© FAZEL-BEC
11

Les modélisations ont permis de démontrer que les déplacements restaient dans les seuils définis au CCTP, ceci avec un jeu de paramètres raisonnablement prudent pour les terrains du Stampien.

LES TRAVAUX LE PLANNING DES TRAVAUX

Les travaux ont commencé au printemps 2021 avec les creusements des deux puits en méthode traditionnelle : le puits provisoire et le puits Bourdet. Par la suite, deux chantiers ont été menés depuis ces ouvrages : la réalisation de l'oreille SNCF et la réalisation de l'oreille Bourdet (figure 2).

Les travaux de creusement puis de revêtement de la galerie SNCF ont démarré à partir de mai 2021 et se sont terminés en août 2022. Ceux de la galerie Bourdet se sont déroulés entre juin 2021 et mai 2022.

L'organisation mise en place pour réaliser ces travaux a été évolutive en fonction des différentes phases de travaux passant d'une organisation avec du travail en 24h/24 sur 5 jours sur 7 à du travail en 7 jours sur 7 et a mobilisé plus de 90 personnes en pointe.

LA LOGISTIQUE DU CHANTIER

L'installation de chantier a été une des principales difficultés du projet en raison d'une faible surface au sol et des nombreuses contraintes relatives à chaque ouvrage. L'installation de chantier est répartie sur trois sites :

- Un premier site sur la place des Marseillaises ;
- Un deuxième site sur le boulevard Maurice Bourdet (figure 10) ;

11- Installation de chantier tunnel routier.
12- Puits d'accès Bourdet.

11- Road tunnel construction plant.
12- Bourdet access shaft.

→ Un troisième site dans un des niveaux de la station Saint-Charles (figure 11).

Une autre difficulté du projet est liée à la complexité du cheminement des flux logistiques nécessaires à l'approvisionnement du chantier. Une organisation rigoureuse a été mise en place dès l'installation du chantier en fonction de chaque zone de travaux.

L'oreille SNCF, située à l'aplomb de la façade de la gare SNCF de Marseille Saint Charles, ne dispose pas d'un accès direct vers la surface. L'accès nécessite donc un cheminement complexe à travers les différents niveaux de la gare métro existante en exploitation avec la présence de :

- Un pont roulant en surface pour descendre dans le puits provisoire ;
- Un chariot électrique dans le tunnel routier ;
- Un monte-charge pour descendre du tunnel routier au niveau commandement ;
- Un chariot pour le niveau commandement ;
- Un monte-charge pour descendre du niveau commandement au niveau mezzanine.

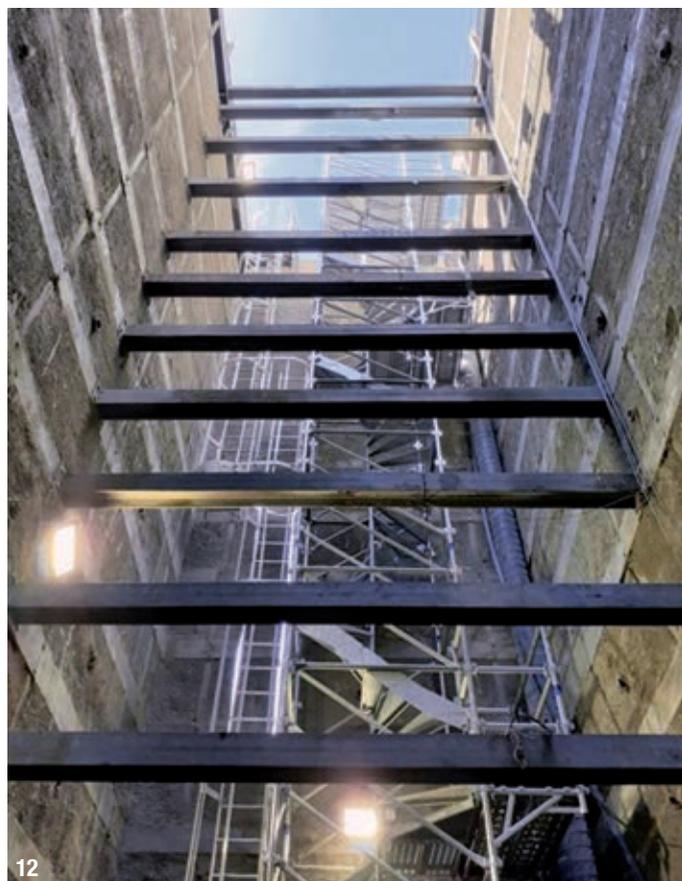
LA RÉALISATION DES PUITS D'ACCÈS

L'excavation des puits d'accès est réalisée en méthode traditionnelle avec cintres (HEB 180 à HEB 360) et béton projeté d'épaisseur 25 à 35 cm (figure 12).

Le creusement a été réalisé par :

- Une pelle 45 t en surface ;
- Une à deux mini pelles 2,5 t en fond de puits.

Le béton projeté est réalisé par voie semi-sèche avec l'utilisation d'un silo sous pression associé à la machine de projection, une lance de projection et une unité de surpression de l'eau. La voie semi-sèche permet d'avoir une réactivité quasi instantanée en cas d'aléa sans être dépendant des livraisons des centrales à béton de béton prêt à l'emploi.



12
© EGIS



13
© RAZEL-BEC

Le revêtement définitif de 30 à 60 cm d'épaisseur mis en œuvre sur un complexe d'étanchéité DEG extradossé est réalisé par levées de 2 à 3 m avec des panneaux de coffrage manportables. Une grue mobile en surface permet l'approvisionnement de l'étalement, du ferrailage, des coffrages et du béton.

LA RÉALISATION DES GALERIES

Les méthodes de réalisation des galeries des oreilles SNCF et Bourdet

sont identiques mais avec du matériel adapté aux contraintes logistiques des sites (tableau B).

Pour l'excavation des galeries (figure 13), l'enchaînement suivant des phases a été mis en œuvre :

- Excavation de la demi-section supérieure par travées de 1 m, pose des cintres HEB 180 à 360 à l'avancement puis remplissage en béton projeté ;
- Excavation de la demi-section inférieure par travées de 1 m.

13- Excavation de la galerie escalier.

14- Coffrage des piédroits et des voûtes.

13- Excavation of the escalator gallery.

14- Formwork of side walls and roofs.

Pour le revêtement des galeries l'enchaînement suivant des phases a été mis en œuvre :

- Mise en place d'une plateforme de travail : nacelle, étalement ou funiculaire dans les galeries inclinées ;
- Mise en œuvre du complexe d'étanchéité en piédroit et voûte ;
- Réalisation du revêtement en piédroit et voûte (figure 14) ;
- Démontage de la plateforme de travail ;
- Mise en œuvre du complexe d'étanchéité en radier ;
- Réalisation du revêtement en radier. L'épaisseur du revêtement varie de 40 cm à 60 cm.

L'AUSCULTATION

OBJET ET DOMAINE

D'APPLICATION

Les travaux s'inscrivent dans un contexte urbain très dense et nécessitent la surveillance des existants et des ouvrages à construire. Cette partie aborde le système d'auscultation mis en place permettant d'assurer la méthode observationnelle.

AUSCULTATION DES OUVRAGES

L'auscultation des ouvrages en construction permet de vérifier leur bon dimensionnement et leur bonne exécution en temps réel.

Le suivi des ouvrages à créer est assuré par :

- Des cibles de convergence posées à l'avancement des terrassements sur les cadres et les cintres par les équipes travaux après projection du béton. Elles permettent de suivre les déformations de l'ouvrage ;
- Des jauges de contrainte soudées sur les butons et sur les cadres,



14a
© RAZEL-BEC



14b
© RAZEL-BEC

TABLEAU B : MÉTHODES DE RÉALISATION DES GALERIES DES OREILLES SNCF ET BOURDET

| | Oreille Bourdet | Oreille SNCF |
|-----------------------------|---|--|
| Matériel pour l'excavation | • Pelle Butor + Chargeur + Pelle 5 t. | • Brokk 500 + Pelle 2,5 t + Chariot élévateur. |
| Matériel pour le revêtement | • Coffrage métallique pour les piédroits. • Étaie + coffrage bois pour les voûtes. • Stremaform + poutrelles + étais pour les radiers inclinés. | • Coffrage manportable pour les piédroits. • Étaie + coffrage bois pour les voûtes. • Stremaform + poutrelles + étais pour les radiers inclinés. |

déployées à l'avancement des terrassements ;
 → Des piézomètres pour les puits pour suivre le niveau d'eau ;
 → Un inclinomètre pour les puits pour suivre les déformations à proximité immédiate du puits ;
 → Un extensomètre en forage pour la galerie Bourdet pour suivre les déformations causées par le déconfinement suite à l'excavation.

SURVEILLANCE DES EXISTANTS

La Zone d'Influence Géotechnique (ZIG) comprend 17 avoisinants : bâtiments type ERP, escalier monumental de la gare et son soutènement, esplanade et bâtiments de la gare, tunnel routier, accès métro des Marseillaises, dalle Lunule et la station de métro existante. Une auscultation spécifique pour chaque avoisinant a été prévue en fonction de sa vulnérabilité face aux travaux. Il est à noter que l'intérieur de la gare a également été instrumenté, notamment les nez de quai et la charpente métallique. Les instruments utilisés sont des prismes optiques, des prismes voirie,

des fissuromètres et des pots à eau au niveau du vide sanitaire Lunule. Le suivi topographique des bâtiments est assuré automatiquement à l'aide de stations automatisées. Datant des années 70, la structure existante de la station métro a nécessité un suivi spécifique afin de relever les

potentielles déformations des poutres et dalles.

TYPE DE MESURES ET FRÉQUENCE

Les instruments suivants ont été automatisés : jauges de contrainte, cibles optiques sur les avoisinants, nivellement

en surface, pots à eaux, vibromètres et sonomètres.

Les instruments suivants ont été suivis manuellement : cibles de convergence en puits et galeries, suivi altimétrique dans la station, clous de nivellement en tête des puits, fissuromètres et piézomètres.

Les fréquences de mesure ont été définies en fonction de l'ouvrage ausculté, de la phase de travaux et de l'instrument utilisé.

Les différentes phases de mesure sont les suivantes :

- Phase 0 : mesures d'état zéro avant travaux ;
- Phase "courante" : phase de travaux courante ;
- Phase "critique" : travaux avec risque de déformations importantes (terrassement, soutènement) ;
- Clôture 1 : jusqu'à stabilisation des mesures (2 à 3 mois après la dernière phase critique) ;
- Clôture 2 : jusqu'à la réception de l'ouvrage.

DÉFINITION DES SEUILS

En fonction du type d'instrumentation, trois seuils ont été définis pour assurer un suivi correct des ouvrages et une surveillance des avoisinants : seuil contractuel, seuil de vigilance et seuil d'alerte.

RETOUR SUR LES MESURES EFFECTUÉES ET RÉSULTATS APRÈS FIN DU CHANTIER

Les travaux se sont déroulés dans de bonnes conditions. Aucun dépassement des seuils de déplacement n'a été relevé au cours du chantier. □

PRINCIPALES QUANTITÉS

- 7500 m³ de déblais
- 150 cintres métalliques et 25 cadres métalliques
- 357 T d'acier de soutènement
- 2900 m³ de béton de soutènement
- 2400 m³ de béton de structure
- 190 T d'acier de béton de structure
- Section d'environ 40 m²

PRINCIPAUX INTERVENANTS

- MAÎTRISE D'OUVRAGE :** Rtm (Régie des transports métropolitains)
- MAÎTRISE D'ŒUVRE :** Groupement Egis - Arep
- ENTREPRISE MANDATAIRE :** Razel-Bec
- PARTENAIRE AUSCULTATION ET SUIVI :** Sixense

ABSTRACT

EXTENSION AND RENOVATION OF SAINT-CHARLES METRO STATION IN MARSEILLE - UNDERGROUND GALLERIES BY CONVENTIONAL TECHNIQUES IN AN URBAN ENVIRONMENT

ANTHONY AKL, EGIS - DINO MAHMUTOVIC, EGIS - MICKAEL DA CRUZ ROCA, RAZEL BEC - VIANNEY ROZE, EGIS

The extension and renovation of the Saint-Charles metro station in Marseille is an ambitious project initiated by Régie des transports Métropolitains in 2019 with a view to work completion before the 2023 Rugby World Cup. Of the various planned improvements, the most complex ones are the construction of two underground galleries to receive escalators, and the installation of two lifts. These structures are built outside the current metro station box, underground and by a conventional technique. Due to the urban density, the construction plant had to be spread over 3 sites, with 2 access shafts: the temporary shaft and the Bourdet shaft. The land on which the project is carried out consists of the Stampian, which is an alternation of more or less indurated marly, sandy and puddingstone layers with erratic hydrological runoff. □

AMPLIACIÓN Y REMODELACIÓN DE LA ESTACIÓN DE METRO DE SAINT CHARLES EN MARSELLA - GALERÍAS SUBTERRÁNEAS TRADICIONALES EN MEDIO URBANO

ANTHONY AKL, EGIS - DINO MAHMUTOVIC, EGIS - MICKAEL DA CRUZ ROCA, RAZEL BEC - VIANNEY ROZE, EGIS

La ampliación y la remodelación de la estación de metro de Saint-Charles en Marsella constituyen un ambicioso proyecto impulsado por la Administración de transporte metropolitano (RTM) de la ciudad en 2019, con el objetivo finalizar las obras antes de la Copa del Mundo de Rugby de 2023. Entre los distintos acondicionamientos previstos, los más complejos son la realización de dos galerías subterráneas, que albergarán las escaleras mecánicas, y la instalación de dos ascensores. Estos elementos se construyen fuera del perímetro de la estación de metro actual, bajo tierra y siguiendo el método tradicional. La densidad urbana ha exigido una instalación de obra distribuida en tres emplazamientos y dos pozos de acceso: el pozo provisional y el pozo Bourdet. Los terrenos situados frente al proyecto están formados de Stampien, una alternancia de capas margosas, arenosas y de pudingas más o menos endurecidas, con escorrentías hidrológicas erráticas. □



1
© ARCADIS

PROLONGEMENT DE LA LIGNE 11 DU MÉTRO PARISIEN AU TUNNELIER

AUTEURS : ELVIS THELIOU, DIRECTEUR TECHNIQUE, NGE - PHILIPPE JUILLIEN, DIRECTEUR GRAND PROJET, DEMATHIEU BARD CONSTRUCTION - YOAN RODRIGUES, INGÉNIEUR D'ÉTUDES, ARCADIS

LE PROLONGEMENT DE LA LIGNE 11 DU MÉTRO PARISIEN A ÉTÉ RÉALISÉ SUR 3 KM AVEC UN TUNNELIER À PRESSION DE TERRE DE 9,12 M DE DIAMÈTRE, CREUSANT DANS LES MARNES DE PANTIN ET LES MARNES D'ARGENTEUIL. LE TUNNELIER A ÉTÉ MONTÉ AU FOND DE LA CAVERNE CONSTITUANT LA PARTIE SOUTERRAINE DE LA STATION LA-DHUY. LES DÉFORMATIONS EN SURFACE ONT ÉTÉ MAÎTRISÉES : SOULÈVEMENT MAXIMAL DE 1,5 MM ET TASSEMENT MAXIMAL DE 4,8 MM. LES VITESSES D'AVANCEMENT MOYEN POUR CHACUN DES TROIS TRONÇONS ONT ÉTÉ COMPRIS ENTRE 222 ET 380 M/MOIS.

DESCRIPTION DU PROJET DE PROLONGEMENT DE LA LIGNE 11

Le lot GC01 du prolongement de la Ligne 11 (figure 2) comprend 4 stations dont 2 réalisées partiellement en souterrain, 11 couloirs d'accès aux stations réalisés en souterrain, un tunnel de

3 km réalisé au tunnelier à pression de terre, 3 ouvrages annexes et 6 accès aux stations réalisés en puits blindés, 6 rameaux de connexion entre le tunnel et les ouvrages annexes, un tunnel d'arrière-gare en tranchée couverte de 40 m de long et une tranchée couverte de 135 m de long.

**1- Connexion
d'un rameau
au revêtement
du tunnel.**

**1- Connection
of a cross
passage to the
tunnel lining.**

Le diamètre fonctionnel du tunnel (figure 3) est de 7,75 m pour un rayon en plan minimal de 250 m et un dévers maximal des voies de 135 mm. En intégrant la tolérance d'exécution de 100 mm, le diamètre de l'intrados des voussoirs de 40 cm d'épaisseur est de 7,95 m.

TABLEAU A : CARACTÉRISTIQUES DES 3 TRONÇONS RÉALISÉS AU TUNNELIER

| Stations / Tronçons | PK | Z NGF radier station (m) | Vue en plan | Profil en long | Hauteur de couverture |
|---------------------|-------------|--------------------------|---|-----------------------------------|--|
| La Dhuis | | 86,68 | | | |
| Tronçon 1 | 10.5 9.5 | | Courbe R = 250 m et contre-courbe R = 253 m | Pentes maximales de 0,9% et -0,5% | Min. : 8,6 m Max. : 18,8 m |
| Montreuil/Hôpital | | 91,19 | | | |
| Tronçon 2 | 9.4 8.3 | | Courbe R = 400 m, AD, Contre-courbes R = 503 m et 253 m | Pentes maximales de 2% et -2% | Min. : 9 m (Autoroute A3) Max. : 21 m |
| Carnot | | 98,57 | | | |
| Tronçon 3 | 8.2 7.3 | | Courbe R = 353 m, AD, Coube et contre-coube R = 1200 m | Pente maximale de 0,7% | Min. : 13,5 m Max. : 21 m |
| Serge Gainsbourg | | 96,59 | | | |

Le tracé du tunnel s'inscrit dans un milieu urbain très dense avec de nombreux bâtiments au-dessus et à proximité du tunnel. Le creusement est décomposé en trois tronçons (tableau A) d'environ un kilomètre chacun.

Le tunnelier Herrenknecht d'un diamètre de 9,12 m démarre à la station

2- Plan de situation et profil en long.

2- Location plan and longitudinal profile.

La-Dhuis où s'effectue son montage, les approvisionnements et l'évacuation du marin. Il traverse les stations Montreuil-Hôpital et Carnot pour arriver à la station Serge-Gainsbourg où il est démonté.

Les anneaux sont en béton armé de 40 cm d'épaisseur et de 1,50 m ou 1,80 m de largeur. Ils sont renforcés

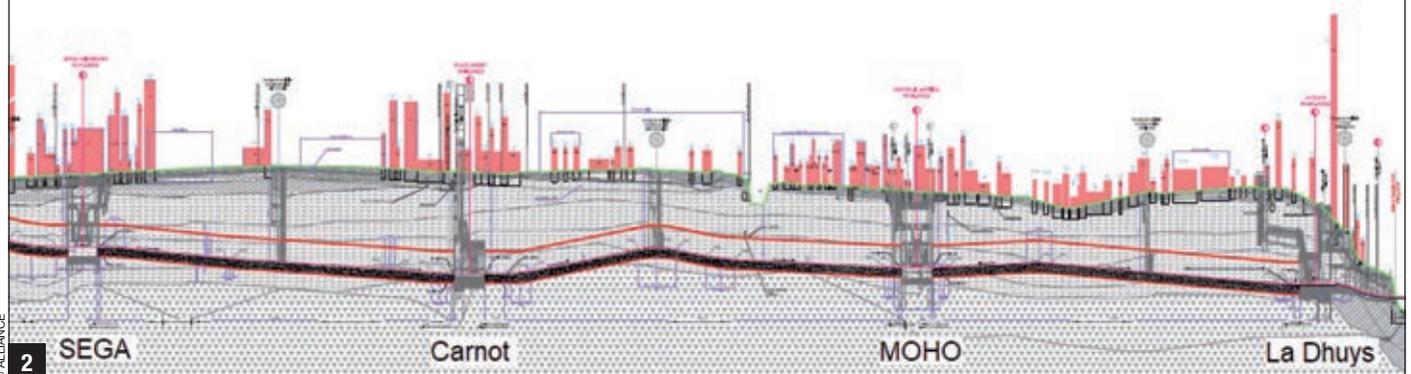
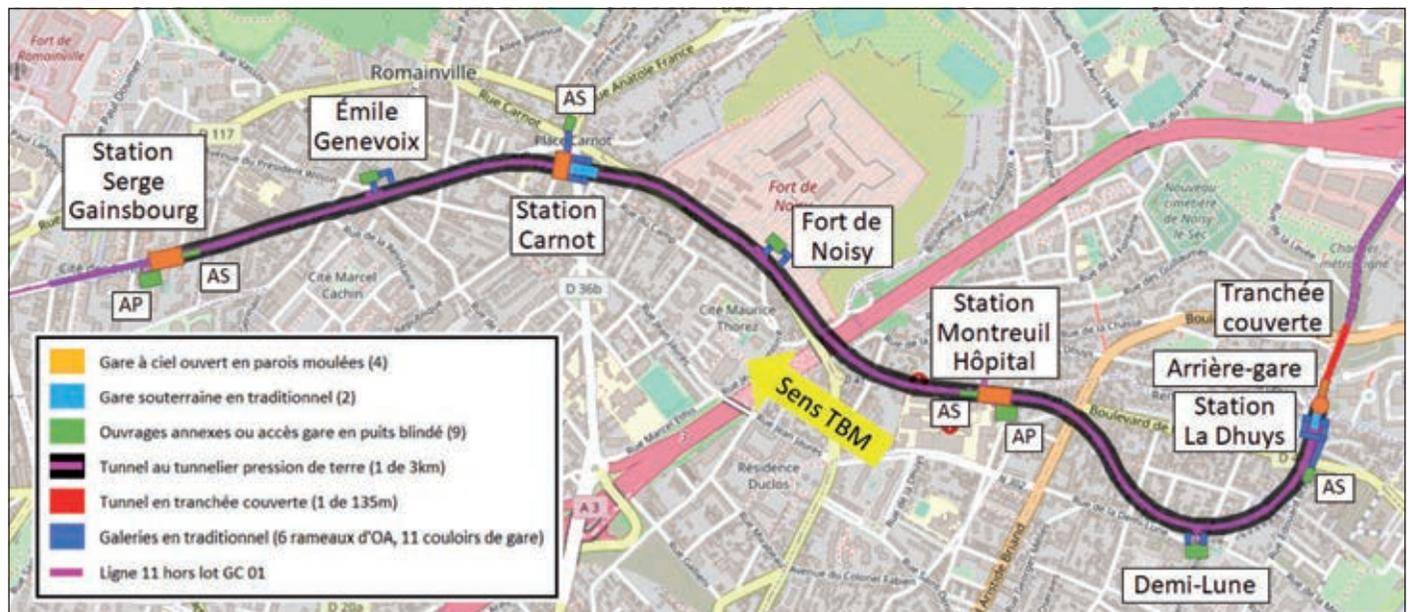
au droit des connexions des 6 rameaux (ventilation et accès pompiers) des 3 ouvrages annexes. Les rameaux sont partiellement creusés avant le passage du tunnelier en méthode conventionnelle (pleine section).

Le tunnel au tunnelier est majoritairement creusé dans les Marnes de Pantin et les Marnes d'Argenteuil supérieures sous une hauteur de couverture maximale de 21 m et minimale de 8,6 m au droit d'un bâtiment.

Le rechargement, réalisé après l'excavation du tunnel, est constitué d'un remplissage en grave-ciment et d'une dalle de répartition en béton de 30 cm. L'approvisionnement est réalisé depuis la station Montreuil-Hôpital pour la grave-ciment et depuis les trois ouvrages annexes pour la dalle de répartition.

CONTEXTE GÉOLOGIQUE, HYDROGÉOLOGIQUE ET GÉOTECHNIQUE

Le tunnel s'inscrit dans un contexte géologique caractérisé par la succession suivante :

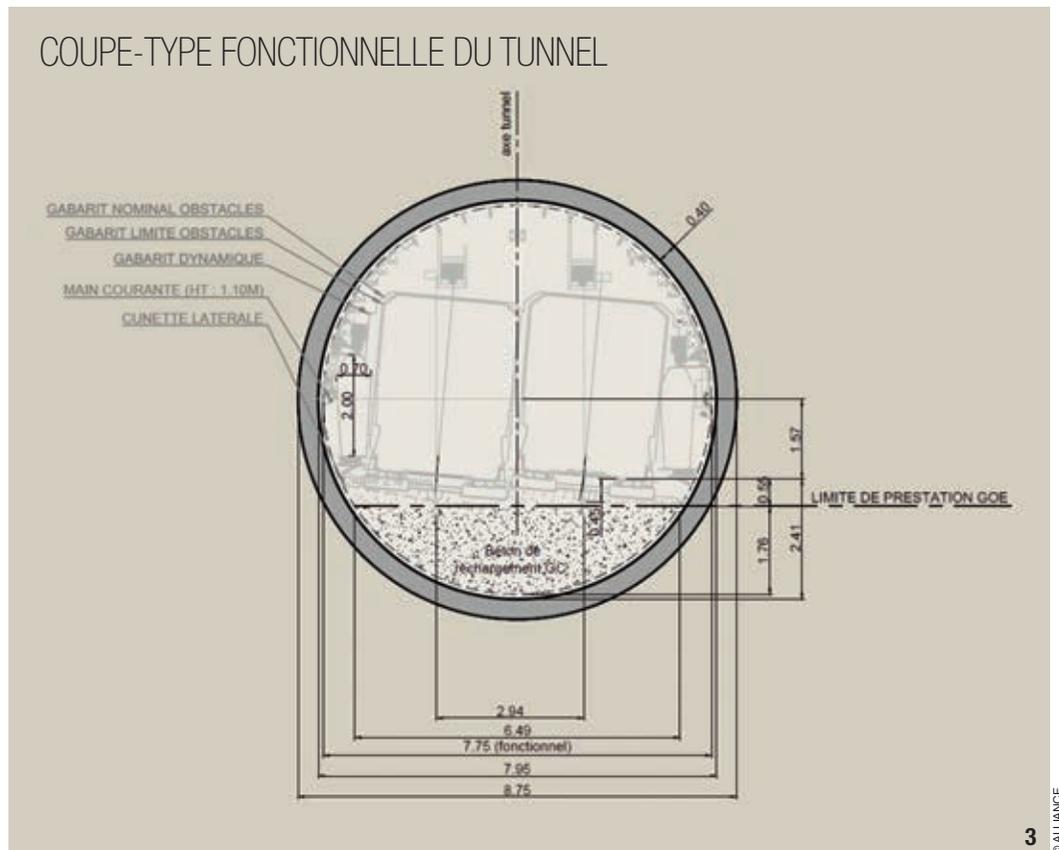


© ARCADIS

© ALLIANCE

- Les Remblais sur une épaisseur de 1 à 4 m, hétérogènes, constitués d'argiles, de marnes, de limons et de sables parfois graveleux ;
- Les Colluvions, présentes sur tout le versant de la station La-Dhuys, issues du fluage et du remaniement des Argiles Vertes, Marnes de Pantin et Marnes d'Argenteuil. Elles sont argileuses avec des passages d'argile sablo-limoneuse et des blocs marneux ;
- Le Calcaire de Brie, constitué de marnes beige marron à blanchâtres avec des cailloutis calcaires. Il peut contenir des passages de marnes sableuses et des blocs de silex ;
- Les Argiles Vertes, constituées d'argiles plastiques et gonflantes de couleur vert-kaki à vert foncé ;
- Les Marnes de Pantin sur 3 à 7 m, constituées de marnes compactes beige-blanches et de passages calcaireux à calcaires, pouvant contenir localement des cailloutis et blocs calcaires ;
- Les Marnes d'Argenteuil, constituées sur les 4 à 8 m supérieurs de marnes argileuses entrecoupées de bancs de marnes plus calcaires et sur les 2 à 5 m inférieurs de passages décimétriques de gypse s'intercalant entre les couches marneuses ;
- Les Masses et Marnes du Gypse, constituées de bancs gypseux parfois intercalés de marnes blanchâtres, et de bancs épais de gypse saccharoïde.

Le creusement au tunnel rencontre deux types de front : un front mixte Marnes d'Argenteuil/Marnes de Pantin sur plus de la moitié du tronçon et un front dans les Marnes d'Argenteuil. Un extrait des paramètres géotechniques



3 © ALLIANCE

riques retenus pour les études d'exécution du tunnel est donné dans le tableau B.

Il existe 3 formations aquifères sous le plateau : la nappe du Calcaire de Brie/colluvions limitée à sa base par les Argiles Vertes très peu perméables, la nappe des Marnes de Pantin limitée à sa base par les Marnes d'Argenteuil et la nappe des Masses et Marnes du Gypse.

Le profil en long géologique a été établi à partir des sondages carottés et pressiométriques.

3- Coupe-type fonctionnelle du tunnel.

3- Typical functional section of the tunnel.

Une zone d'altération/dissolution du gypse et d'approfondissement stratigraphique de 3 à 4 m a été identifiée entre les ouvrages Montreuil-Hôpital et Demi-Lune. L'étendue de l'anomalie liée à la

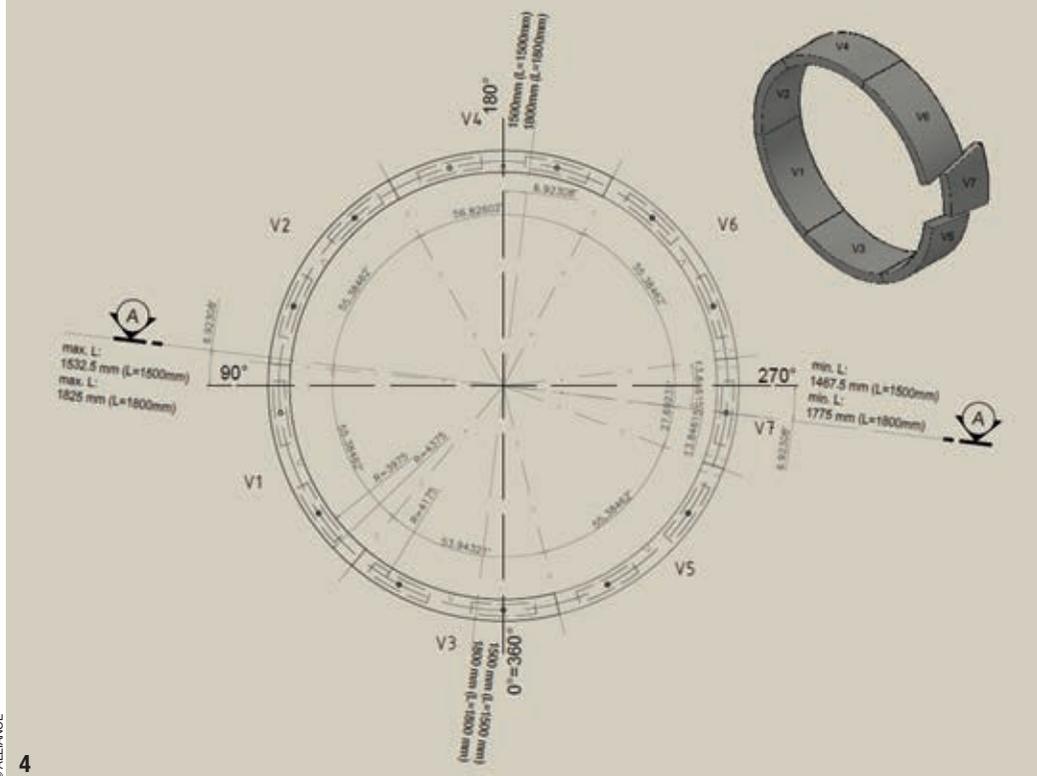
dissolution du gypse restait incertaine à l'issue des campagnes de sondages. Seules des reconnaissances réalisées depuis le tunnel pouvaient permettre de préciser les zones avec injections de comblement nécessaires. Dans les zones de front mixte Marnes de Pantin/Marnes d'Argenteuil, le contact de l'eau de la nappe des Marnes de Pantin avec les Marnes d'Argenteuil par migration le long du soutènement risquait d'induire un gonflement des Marnes d'Argenteuil. Une incertitude portait sur la pression

TABLEAU B : PARAMÈTRES GÉOTECHNIQUES DES TERRAINS

| Sol | γ_n kN/m ³ | E_M MPa | p_1^* MPa | c_u kPa | c' kPa | φ' ° | K_0 | α | c_{trav} kPa | φ_{trav} ° | E_{trav} MPa | σ_g kPa |
|---|---------------------------------|--------------|----------------|--------------|-------------|-----------------|-------|----------|-------------------|-----------------------|-------------------|-------------------|
| Remblais | 19 | 5 | 1 | 40 | 0 | 30 | 0,5 | 0,50 | 0 | 30 | 20 | - |
| Calcaire de Brie | 18.5 | 10 | 1,7 | 90 | 10 | 30 | 0,5 | 0,66 | 45 | 19 | 30 | - |
| Argiles Vertes | 19 | 11 | 1,2 | 90 | 25 | 17 | 0,95 | 1 | 60 | 0 | 22 | 260* |
| Marnes de Pantin | 19 | 30 | 2,5 | 80 | 20 | 15 | 0,6 | 0,66 | 7 | 12 | 90 | - |
| Marnes d'Argenteuil supérieures (les 3 premiers mètres de la formation) | 19 | 30** | 3,5 | 150 | 30 | 20 | 0,8 | 0,66 | 56 | 14 | 90 | 180* |
| Marnes d'Argenteuil supérieures (le reste de la formation) | 19 | 57** | 3,5 | 150 | 30 | 20 | 0,8 | 0,66 | 56 | 14 | 170 | 180* |
| Marnes d'Argenteuil inférieures | 18.5 | 100 | 4,5 | 200 | 50 | 25 | 0,7 | 0,66 | 71 | 14 | 303 | 180* |
| Masses et Marnes du Gypse avec dissolution/altérées | 19 | 25 | 5 | 140 | 5 | 30 | 0,6 | 0,66 | 5 | 30 | 76 | - |
| Masses et Marnes du Gypse | 23 | 200 | 5 | 300 | 60 | 35 | 0,5 | 0,50 | 60 | 35 | 800 | - |

© AFCADIS

CONSTITUTION D'UN ANNEAU DE VOUSOIRS

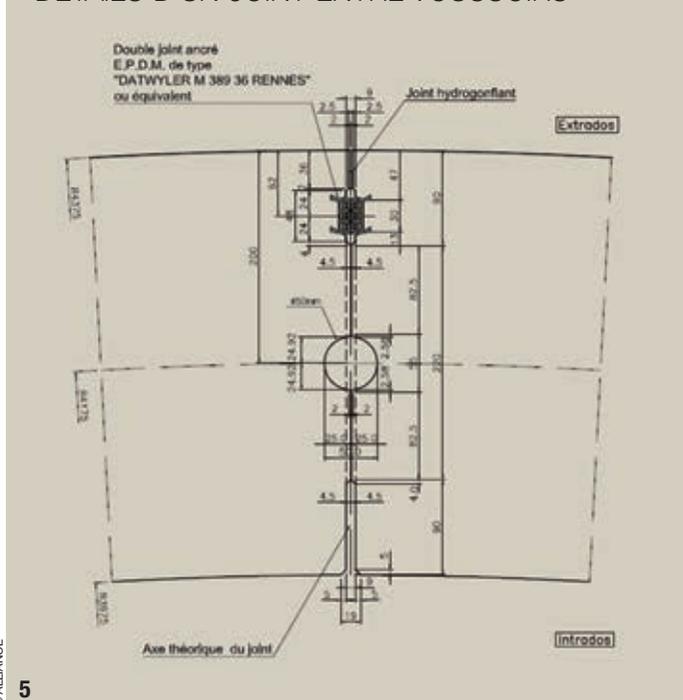


Front) qui garantit une pression du front efficace et active. Ce process a été complété par des contrôles continus pendant l'excavation : monitoring et pilotage du tunnelier, définition des seuils de vigilance et d'alerte des paramètres du tunnelier.

Les anneaux de 1,5 m ou 1,8 m de largeur sont composés de quatre voussoirs standards, deux contre-clés et une clé (figure 4). Le pincement des anneaux est de 65 et 50 mm. Deux patins (1,25 m x 0,22 m) avec doubles vérins agissent sur chaque voussoir.

Les voussoirs sont classés en deux types : un standard et un renforcé utilisé au droit des ouvertures des rameaux. Ils sont en béton armé avec une classe de résistance du béton C40/50 et un ratio d'armatures respectivement de 82 et 322 kg/m³. Les voussoirs à démolir au droit des futures ouvertures sont fibrés à 40 kg/m³. Au droit des joints annulaires sont disposés sur chaque voussoir pour relier les anneaux, deux douilles complétées par quatre bicônes pour les voussoirs renforcés. Le voussoir de clé est boulonné aux deux contre-clés par un système de 4 boulons. Les joints d'étanchéité des voussoirs comportent un joint hydrogonflant (figure 5).

DÉTAILS D'UN JOINT ENTRE VOUSOIRS



4- Constitution d'un anneau de voussoirs.

5- Détails d'un joint entre voussoirs.

4- Establishment of a ring of segments.

5- Details of a joint between segments.

paramètres les plus influents pour choisir le type de confinement le mieux adapté au projet. Pour ce projet, il s'agit :

→ De la géologie, avec le creusement du tunnel dans les Marnes de Pantin et d'Argenteuil qui présentent une lithologie et une granulométrie fine favorable au mode EPB, la gestion du gonflement et du colmatage étant aussi en sa faveur ;

→ Des traversées de station plus faciles pour un mode EPB ;

→ D'autres conditions de la matrice également en faveur du mode EPB. En milieu urbain très dense il a été choisi un tunnelier mode EPB équipé d'une bulle d'air déportée SFSS (Système Complémentaire de Support du

interstitielle dans les horizons peu perméables des Argiles Vertes et Marnes d'Argenteuil : elle a conduit à des hypothèses conservatives du point de vue de la charge d'eau conduisant à un dimensionnement conservatif des ouvrages et des pressions de confinement lors du creusement majorées.

CHOIX DU TYPE DE TUNNELIER ET CONCEPTION DES ANNEAUX DE VOUSOIRS

Une analyse multicritère, basée sur une approche du comportement de l'excavation selon le confinement type pression de boue (*slurry*) ou pression de terre (EPB), permet d'identifier les

MÉTHODE RETENUE POUR L'ÉTUDE D'IMPACT SUR LES AVOISINANTS

Des modèles 2D en éléments finis ont permis de définir les pressions de confinement le long du tracé pour maîtriser les tassements : 16 coupes types de calcul ont été étudiées pour couvrir toutes les situations compte tenu des différents profils lithologiques, des paramètres mécaniques des formations, des surcharges des bâtis et des ouvrages singuliers.

Des modélisations 3D ont été menées pour traiter des points singuliers, tels des bâtis fondés sur pieux pour lesquels il n'était pas possible de réduire l'étude à une "tranche" représentative du bâti et de son environnement. La figure 6 présente un exemple de déplacements verticaux dus au creusement du tunnel.

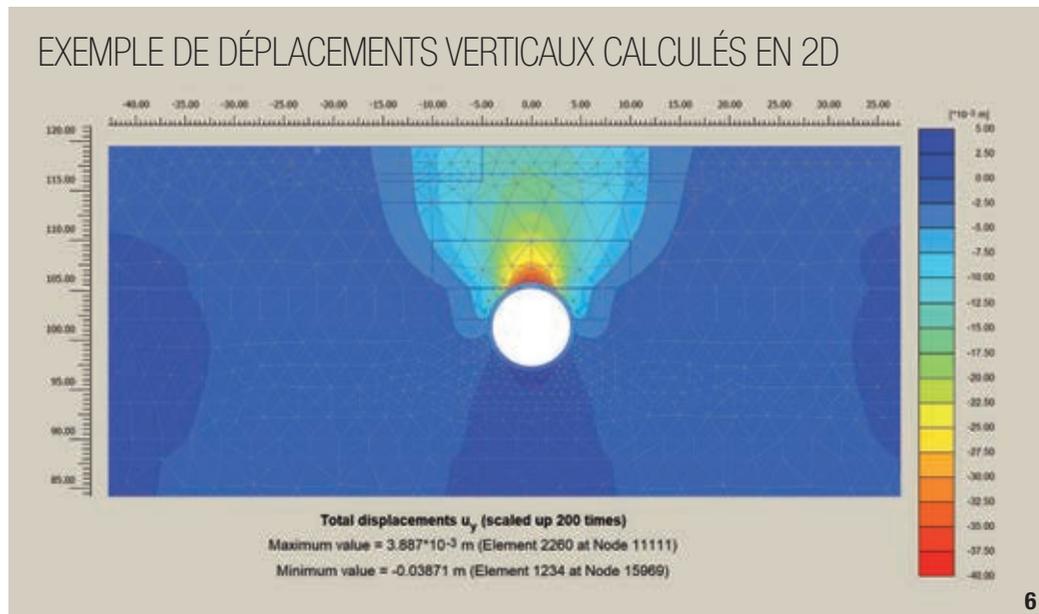
Une modélisation 3D a été réalisée pour vérifier l'incidence du creusement sur les pieux d'un projet de bâtiment R+7 et le dimensionnement des voussoirs du tunnel vis-à-vis des charges dues à ces fondations. Le pieu le plus proche se trouve à 3 m du rein du tunnel. Les 90 pieux ont été modélisés (figure 7).

Les principales conclusions de cette étude sont les suivantes :

- Le tassement maximal en surface est de l'ordre du centimètre ;
- L'impact du tunnel sur les pieux situés à plus de 20 m de son axe est négligeable ;
- Les tassements sont de l'ordre de 5 mm pour les pieux les plus proches du tunnel ;
- Les déplacements horizontaux des pieux lors du passage du tunnelier sont millimétriques ;
- Les pieux sont impactés en termes de flexion sur la quasi-totalité de leur hauteur. L'écart de moment de flexion reste inférieur à 25 kN.m et la charge verticale excentrée se situe toujours dans le noyau central des pieux ;
- La résistance de pointe et le frottement latéral des pieux n'ont pas subi de modification significative.

**MAÎTRISE DES ENTRÉES/
SORTIES DE TERRE**

L'estimation des tassements générés par les entrées/sorties de terre du tunnelier a été faite par méthode analytique. Ces tassements sont cumulés aux tassements liés à la réalisation des stations, estimés par ailleurs à l'aide de modélisations aux éléments finis, avant de les comparer aux seuils de dépla-



cements admissibles de chaque bâti avoisinant.

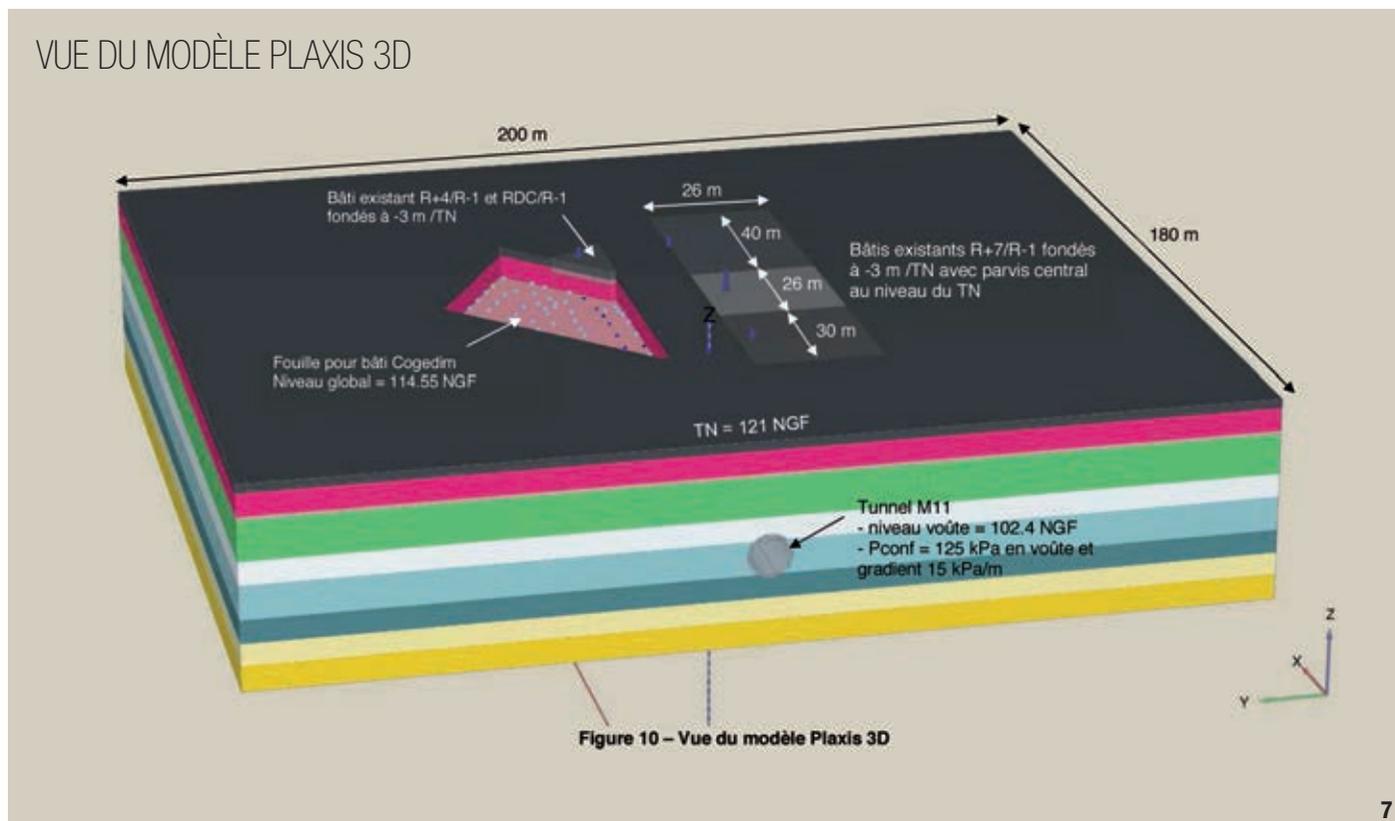
Afin de garantir la stabilité des terrains pendant les premiers ou derniers mètres d'excavation et limiter les tassements sur les bâtis situés à proximité des tympans, la solution retenue a été la réalisation d'une voûte parapluie, d'un boulonnage du front et la pose d'un joint d'étanchéité au droit des entrées/sorties. La figure 8 présente l'arrivée du tunnelier à la station Carnot.

6- Exemple de déplacements verticaux calculés en 2D.
7- Vue du modèle Plaxis 3D.

6- Example of vertical displacements calculated in 2D.
7- View of the Plaxis 3D model.

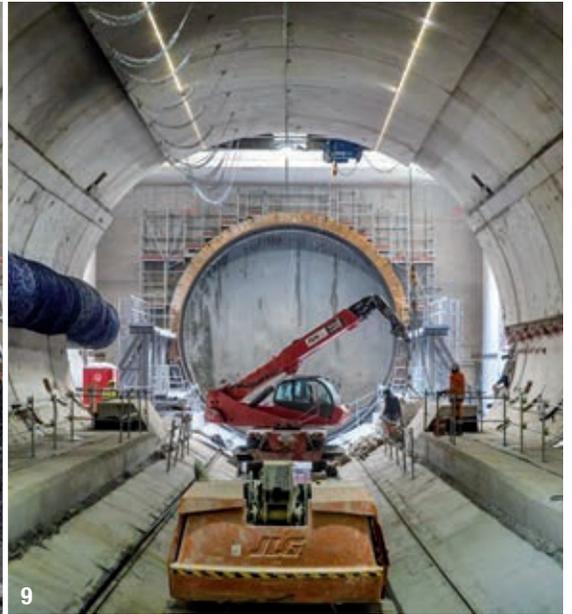
**RETOUR SUR LES POINTS MAJEURS DU CREUSEMENT AU TUNNELIER
INSTALLATION DE CHANTIER POUR LE DÉMARRAGE DU TUNNELIER À LA DHUYS**

L'installation de l'activité tunnel se situe sur la base principale du projet à La Dhuy. Elle regroupe l'ensemble des besoins en termes d'approvisionnement et d'évacuation du marin.





8 © ARCADIS



9 © ARCADIS

En surface, on trouve les zones de stockage des voussoirs manutentionnés à la grue à tour, les bacs à déblais partiellement enterrés et une emprise complémentaire pour installer les centrales à mortiers et de traitement des eaux. Une trémie d'accès au droit de la tranchée couverte permet d'évacuer le marin et sert à approvisionner les voussoirs et le magasin à bande qui se situe à l'intérieur de la tranchée. La ventilation et les accès se font depuis l'arrière-station.

MONTAGE ET DÉMARRAGE DU TUNNELIER DANS LE CORPS PRINCIPAL DE LA STATION LA-DHUIYS

Le montage a été réalisé en plusieurs phases. Les parties les plus lourdes du bouclier ont été montées en rive du puits au moyen d'une grue mobile. Une fois monté en fond de puits, l'élément a été ripé jusqu'à l'axe du projet pour être complété et enfin ripé à front en fond de la caverne (figure 10). Le bâti de poussée a été monté avant la mise en place et le ripage des deux

premières remorques. Pour mettre en place les deux dernières remorques, deux phases de creusement en mode dégradées de 9 et 22 m ont été nécessaires.

TRAVERSÉE DU CORPS PRINCIPAL DE LA STATION CARNOT

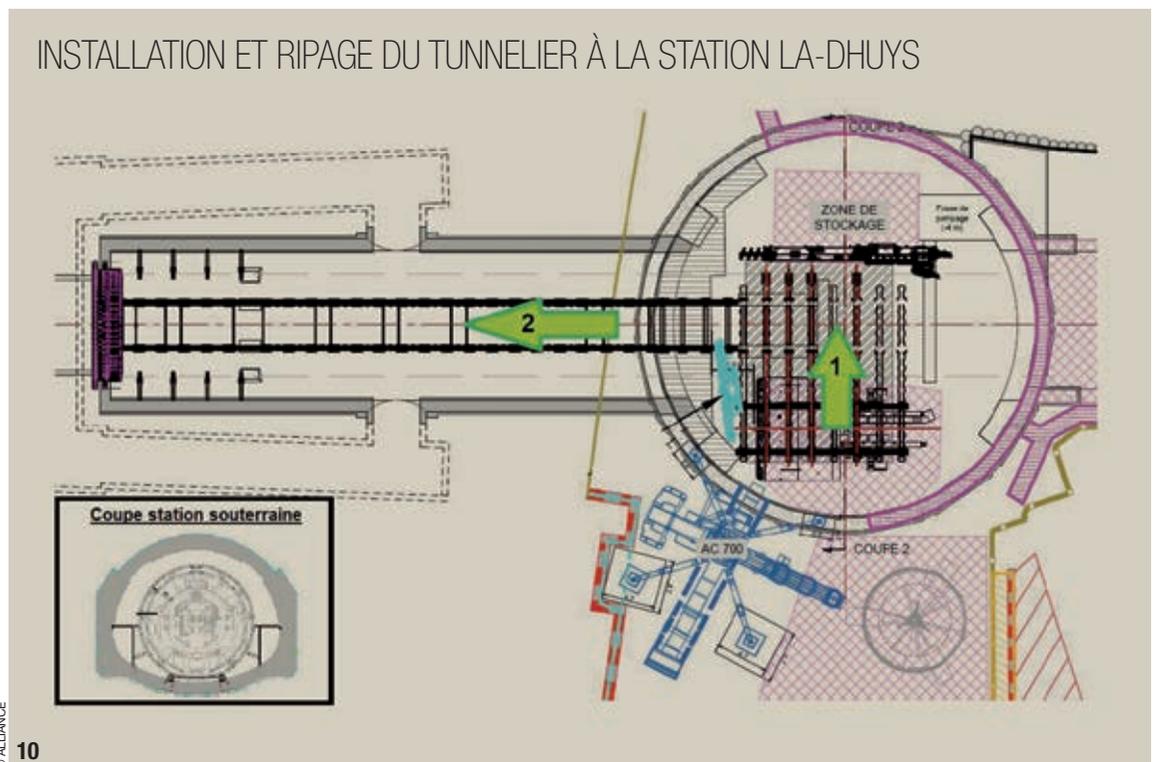
L'entrée en station (partie souterraine) se fait sous une pression de confinement abaissée sur les 12 derniers mètres à 25 kPa. Le tympan a été conforté pour recevoir le tunnelier par :

- Une voûte parapluie à doubles auréoles en tubes pétroliers Ø127/103 d'une longueur de 18 m inclinés à 2% appliquée sur un développé de 120° ;
- Un boulonnage du front en fibre de verre monolame de 9 m à 14 m de long ;
- Un béton projeté fibré concave de 15 cm d'épaisseur ;
- Un voile tympan définitif avec une réservation de 9,3 m de diamètre, dimensionné pour reprendre les pressions d'entrée du tunnelier. ▷

- 8- Arrivée du tunnelier à la station Carnot.
- 9- Préparatifs pour entrée en terre du tunnelier à la station Carnot.
- 10- Installation et ripage du tunnelier à la station La-Dhuys.

- 8- Arrival of the TBM at Carnot station.
- 9- Preparations for underground entrance of the TBM at Carnot station.
- 10- Installation and skidding of the TBM at La-Dhuys station.

INSTALLATION ET RIPAGE DU TUNNELIER À LA STATION LA-DHUIYS



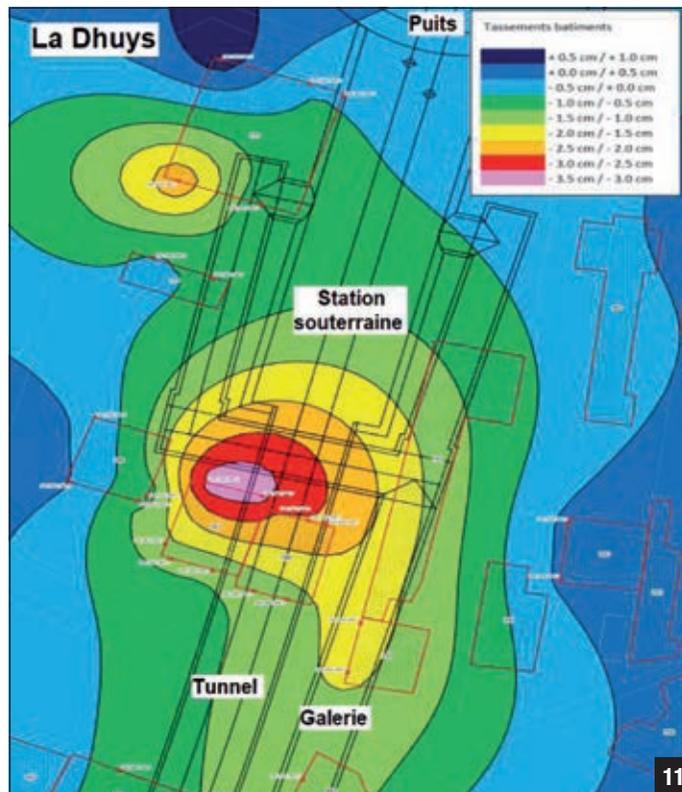
© ALLIANCE

10

En entrée comme en sortie de station, il n'est pas prévu de drainage car le toit des Marnes de Pantin aquifères a été reconnu à plus de 4 m au-dessus de la clé et les Marnes d'Argenteuil sont peu perméables.

L'entrée en station se réalise avec un massif de retenue en béton de 1,7 m de haut et 12 m de long. Dès le franchissement du tympan, le vide annulaire du bouclier n'est plus confiné jusqu'à ce que les brosses en arrière de la jupe soient au contact du voile tympan. Durant cette phase, l'injection à faible pression des anneaux est réalisée avec un mortier actif. Les anneaux sont équipés de douilles pour compléter les injections si nécessaire. Le ripage dans la station se poursuit après le durcissement du mortier actif. Des profilés métalliques scellés dans des longrines en béton permettent de riper le tunnelier pour l'entrée en terre. Ce dispositif et les voussoirs de ripage sont laissés dans le rechargement définitif.

L'entrée en terre s'effectue à travers la paroi moulée, avec une voûte parapluie similaire à celle de l'entrée en station (tubes pétroliers plus importants en raison de la sensibilité des bâtis en surface Ø 139,7 mm, épaisseur 8 mm). Les 11 premiers mètres sont réalisés à pression réduite à 25 kPa. Une virole (figure 9), composée de doubles joints à lèvres et d'un Bullflex est fixé sur un contre-voile liaisonné à la paroi moulée.



PLANNING RÉEL DU CREUSEMENT DU TUNNELIER AVEC IMPACT COVID

Les périodes d'activités du TBM sont décomposées en 5 phases. La première phase, d'une durée d'environ 6 mois, commence par le mon-

11- Tassements en surface à la station La-Dhuys.

11- Surface subsidence at La-Dhuys station.

tage et le ripage à front du bouclier, la mise en place du bâti de poussée, le démontage des systèmes de ripage, l'aménagement de la rampe d'accès à l'arrière-gare, la mise en place des deux premières remorques et les premiers tests.

La deuxième phase, d'une durée de 4 mois dont 1,5 mois d'arrêt lié au Covid-19, finalise le montage du tunnelier et le creusement en mode dégradé pour installer successivement les remorques 3 et 4.

Les 3 phases suivantes sont liées au creusement de chaque tronçon avec des cadences moyennes de 245 m/mois, 222 m/mois et 380 m/mois respectivement.

Chaque station est traversée en un peu plus d'un mois. Le démontage du bouclier et des remorques a duré 2,5 mois.

PARAMÈTRES DE CREUSEMENT ESSENTIELS (couple mobilisé, pas de pénétration et vitesse de rotation de la roue, coefficients Aftes, produit de bourrage)

Les principaux paramètres de creusement du tunnelier sont résumés dans le tableau C : il synthétise, pour le secteur 1 représentatif du projet, les coefficients d'utilisation du tunnelier, les couples, les poussées, les pénétrations et l'avancement. Le vide annulaire des anneaux a été comblé par deux types de mortier : un mortier actif à

TABLEAU C : PRINCIPAUX PARAMÈTRES DE CREUSEMENT DU TUNNELIER POUR LE TRONÇON 1

| | Tronçon 1 La Dhuys → Montreuil / Hôpital (MOHO) | | | | |
|--|--|-----------|----------------------------|----------------|-----------------------|
| | Dhuys/Demi-Lune | Demi-Lune | Demi-Lune → Argiles vertes | Argiles vertes | Argiles vertes → MOHO |
| Caractéristiques du tunnel | | | | | |
| Diamètre d'excavation | 9,12 m | 9,12 m | 9,12 m | 9,12 m | 9,12 m |
| Longueur d'un anneau | 1,50 m | 1,50 m | 1,50 m | 1,50 m | 1,50 m |
| Nombre de voussoirs par anneaux | 7 u | 7 u | 7 u | 7 u | 7 u |
| Caractéristique du tunnelier | | | | | |
| Coefficient d'utilisation (U) = (100 F/T) | 27% | 41% | 36% | 37% | 33% |
| Coefficient de disponibilité chantier (D) = (100(T-P)/T) | 76% | 83% | 77% | 73% | 89% |
| Coefficient de disponibilité machine (Dm) = (100 F/TP) | 56% | 71% | 61% | 58% | 78% |
| Taux de pannes (W) = (100 P/T) | 24% | 17% | 23% | 27% | 11% |
| | | | | | |
| Couple moyen [MN.m] | 3,3 | 3,3 | 2,5 | 2,5 | 2,9 |
| Poussée moyenne [MN] | 24,4 | 23,0 | 18,8 | 18,1 | 17,8 |
| Pénétration par rotation [mm/rev] | 13 | 14 | 19 | 21 | 19 |
| Pénétration [mm/min] | 27 | 31 | 39 | 45 | 39 |
| Synthèse cadence | | | | | |
| Avancement en m/semaine | 36,0 | 64,5 | 67,5 | 75,0 | 63,5 |

prise rapide utilisé principalement pour les entrées/sorties de station, et un mortier semi-actif ailleurs.

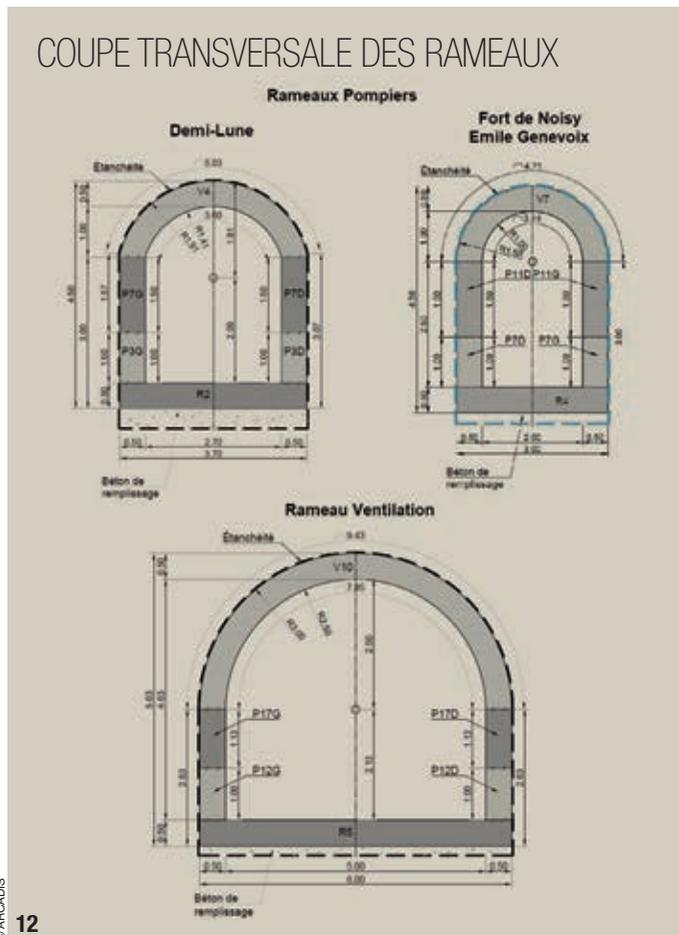
TASSEMENTS MESURÉS LE LONG DU TRACÉ

Les relevés réalisés lors du creusement du puits de La Dhuis et des galeries d'accès et des rampants ont montré que cette zone est soumise à de nombreuses variations géométriques des Argiles Vertes et Marnes de Pantin, avec une anomalie au droit des premiers bâtiments (venue d'eau en galerie), visible sur les déplacements en surface (figure 11). Ces variations n'ont pas été identifiées lors des différentes campagnes géotechniques. Malgré un confinement renforcé, les déformations n'ont pas pu être contenues.

Hormis ce secteur de La Dhuis, les déplacements en surface sur le premier tronçon sont compris entre un

12- Coupe transversale des rameaux.

12- Cross section of cross passages.



© ARCADIS

12

soulèvement maximal de +1,5 mm et un tassement maximal de 4,8 mm pour des estimations 10 à 18 mm. Concernant les tronçons deux et trois, les valeurs moyennes de tassements sont respectivement de 0,1 mm et 0,6 mm avec un tassement maximal de 5 mm pour des estimations de 10 à 15 mm.

ÉTUDE ET CONCEPTION DES INTERSECTIONS TUNNEL/ DOUBLES RAMEAUX

Les ouvrages annexes sont connectés au tunnel par des rameaux de section en intrados GC de 6,6 m² à 20,5 m² (figure 12).

Le creusement est réalisé en pleine section depuis l'ouvrage annexe avec des cintres HEB, un boulonnage de front et des boulons auto-forants en calotte et au-dessus du tunnel : il est anticipé avant le passage du tunnelier avec un arrêt du front à 5 m du tunnel. Les ouvertures dans les anneaux (figure 1) ont nécessité une structure de renfort provisoire uniquement pour le rameau de ventilation. Le rameau est constitué d'une section courante et d'un cadre de connexion au droit des anneaux du tunnel non lié. Les voussoirs reposent sur un bossage en béton armé. □

CHIFFRES CLÉS

- Montant du marché : 267 M€
- 4 stations + 3 ouvrages annexes
- Tunnel de 3 032 m de long (net de stations) et 7,95 m de diamètre intérieur
- Revêtement du tunnel : 1 828 anneaux soit 12 796 voussoirs
- Terres excavées : 465 000 t (200 000 m³)
- Délai global du marché : 80 mois
- Délai global du creusement : 18 mois
- Caractéristiques du tunnelier pression de terre : diamètre 9,12 m, longueur totale 106 m, poids 1 450 t

PRINCIPAUX INTERVENANTS

- MAÎTRE D'OUVRAGE : RATP
- MAÎTRE D'ŒUVRE :
Groupement Ars : Artelia / Richez Associés / Systra
- ENTREPRISES : Groupement Alliance : Nge / Demathieu Bard Construction / Implenia / Pizzarotti
- ÉTUDES D'EXÉCUTION : Arcadis
- FABRICATION DES VOUSSOIRS : G.I.E. Alliance
- ÉTUDES ET FABRICATION DU TUNNELIER : Herrenknecht
- CHARGEMENT ET ÉVACUATION DES DÉBLAIS DU TUNNELIER : Brezillon

ABSTRACT

EXTENSION OF LINE 11 OF THE PARIS METRO BY TUNNEL BORING MACHINE

ELVIS THELIOU, NGE - PHILIPPE JUILLIEN, DEMATHIEU BARD CONSTRUCTION - YOAN RODRIGUES, ARCADIS

The extension of Line 11 of the Paris metro was executed in three sections for a total of 3 km with an Earth Pressure Balance TBM 9.12 metres in diameter, digging over more than half of the length with a mixed face of Pantin marls and Argenteuil marls, and over less than half of the length with a working face in Argenteuil marls. The TBM was assembled at the bottom of the cavern constituting the underground part of La-Dhuis station. The surface deformations were kept under control: maximum uplift of 1.5 mm and maximum subsidence of 4.8 mm, for subsidence estimated in the design stage at between 10 and 15 mm. The average rates of advance for each of the three sections were between 222 and 380 m/month. □

PROLONGACIÓN DE LA LÍNEA 11 DEL METRO DE PARÍS CON TUNELADORA

ELVIS THELIOU, NGE - PHILIPPE JUILLIEN, DEMATHIEU BARD CONSTRUCTION - YOAN RODRIGUES, ARCADIS

La prolongación de la Línea 11 del metro de París se ha llevado a cabo en tres tramos sobre una longitud total de 3 km, con una tuneladora a presión de tierra de 9,12 m de diámetro, que ha perforado sobre la mitad de la longitud con un frente mixto de margas de Pantin y margas de Argenteuil y, sobre menos de la mitad de la longitud, con un frente en las margas de Argenteuil. La tuneladora se ha montado en el fondo de la caverna que constituye la parte subterránea de la estación de La-Dhuis. Se han controlado las deformaciones en la superficie: elevación máxima de 1,5 mm y asiento máximo de 4,8 mm, para unos asientos estimados en el diseño de entre 10 y 15 mm. La velocidad de avance media en cada uno de los tramos ha estado comprendida entre 222 y 380 m/mes. □



© DEMATHIEU BARD CONSTRUCTION

LIGNE 17 - LOT 1 DU GRAND PARIS EXPRESS - TRANSFERT DU TUNNELIER

AUTEURS : DJOUMA BARADJI, RESPONSABLE TRAVAUX TUNNEL, INGEROP -
NORDINE LASRI, CONDUCTEUR DE TRAVAUX TBM, DEMATHIEU BARD CONSTRUCTION

LA LIGNE 17 DU GRAND PARIS EXPRESS EST UNE LIGNE NOUVELLE QUI RELIERA LES GARES DE SAINT-DENIS-PLEYEL ET LE-MESNIL-AMELOT. UN PREMIER TRONÇON (LIGNE 17 SUD), D'ENVIRON 6 KM, EST COMMUN AVEC LA LIGNE 16 ENTRE LES GARES SAINT-DENIS-PLEYEL ET LE-BOURGET-RER). UN SECOND TRONÇON (LIGNE 17 NORD), D'ENVIRON 20 KM, RELIERA LES GARES LE-BOURGET-RER (GARE EXCLUE) ET LE-MESNIL-AMELOT. 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, COMPORTERA SIX NOUVELLES GARES ET 14 OUVRAGES DE SÉCURITÉ.

PRÉSENTATION DU LOT

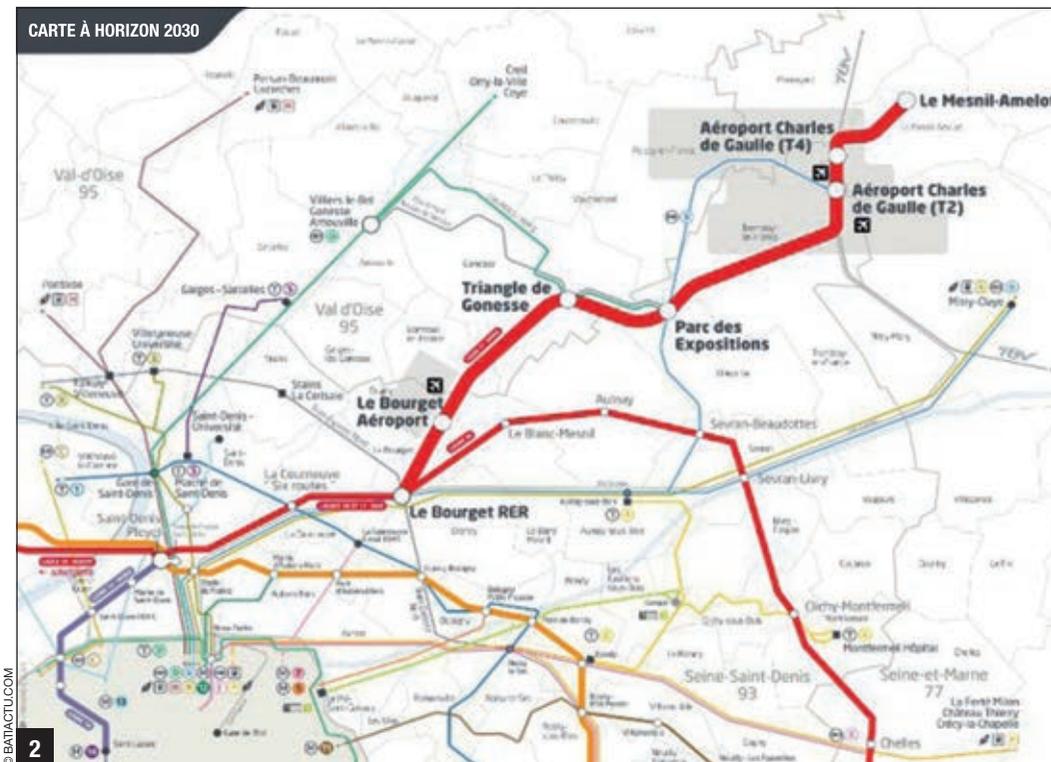
Les travaux de génie civil de l'infrastructure de la Ligne 17N sont décomposés en 4 lots (figure 2). Le lot 1 correspond aux travaux de génie civil entre l'OA3406P exclu et la tranchée couverte de Gonesse incluse. Ce marché de travaux, attribué au groupement Avenir, a été notifié en janvier 2019,

il consiste en la réalisation du tunnel du secteur Sud de la Ligne 17 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 annexes se trouve sur le chemin critique, il s'agit de l'ouvrage annexe

1- Tunnelier Florence en cours de démontage.

1- Florence TBM under-going disassembly.

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. C'est depuis ce puits rectangulaire, d'une section utile de 20 m de largeur et de 46 m de longueur, que cette machine longue d'une centaine de mètres, bap-



© BATACTU.COM
2

tisée Florence, entamera son creusement.

Au cours de la période de préparation de chantier, la temporalité des projets réalisés par les membres du groupement Avenir 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 (tronçon de liaison au site de maintenance et de remisage de Champigny). Ayant déjà réalisé une longueur de

2- Carte du tronçon de la Ligne 17 du Grand Paris Express.
3- Intérieur de la cloche.

2- Map of the section of Line 17 of the Grand Paris Express.
3- Inside of the air chamber.

tunnel de 2,6 km, il avait la capacité de répondre au besoin d'exécuter les 6 km du lot 1 de la Ligne 17.

Le tunnelier Steffie a finalisé son trajet dans l'ouvrage 807 de la Ligne 15 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 vérification a pu être réalisée avant qu'il soit transporté pour montage sur le site du puits de



© DEMATHIEU BARD CONSTRUCTION
3

Flandres, à Bonneuil-en-France, démarrage du premier tir du projet.

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, selon la cinétique suivante :

- Un premier tir d'une longueur de 3419 m, formé par 1688 anneaux de voussoirs préfabriqués dont 1659 anneaux de voussoirs de largeur 2 m et 29 anneaux de voussoirs renforcés et instrumentés de largeur 1,5 m au droit des rameaux ;
- Un deuxième tir d'une longueur de 2653 m, formé par 1388 anneaux de voussoirs de 1,5 m standards, 29 anneaux de voussoirs de 1,5 m standards et renforcés et 1125 anneaux de voussoirs de 2 m standards.

Le montage et le lancement du tunnelier en vue de la réalisation du tir 1 ont été réalisés dans l'ouvrage annexe OA 3502P. Le montage en surface du tunnelier et de ses équipements a commencé le 06/02/2020 et l'installation du tunnelier en fond de puits de l'ouvrage annexe 3502P a été finalisée le 14/12/2020. Le premier tir allant de l'OA3502P à l'OA3406P/01E01 (dit ouvrage d'entonnement L16/L17N) a été réalisé du 04/01/2021 au 17/05/2022.

Le tunnelier Florence ayant réalisé le tir 1 d'une longueur de 3419 m a été démonté à son puits d'arrivée et transféré vers le site de la gare de Triangle-de-Gonesse afin de réaliser le second tir du projet.

Le montage du tunnelier à la gare de Triangle-de-Gonesse a été finalisé le 29/11/2022 et le creusement a démarré le 30/11/2022 en vue de la réalisation du tunnel du tir 2 d'une longueur de 2653 m qui reliera la gare de Triangle-de-Gonesse à l'ouvrage annexe OA3502P et le tunnel du tir 1 réalisé.

SORTIE DU TUNNELIER FLORENCE SOUS CLOCHE DANS L'OUVRAGE D'ENTONNEMENT OA 3406P/01E01

Au terme du creusement du premier tir du projet entre l'ouvrage puits de Flandres (OA3502P) et l'ouvrage Roland (OA3406P), le tunnelier a réalisé sa sortie sous cloche pressurisée. Cette méthode est utilisée lorsque la pression hydrostatique reste importante aux abords du tympan de sortie et risque de perturber le clavage du dernier anneau du tunnel.

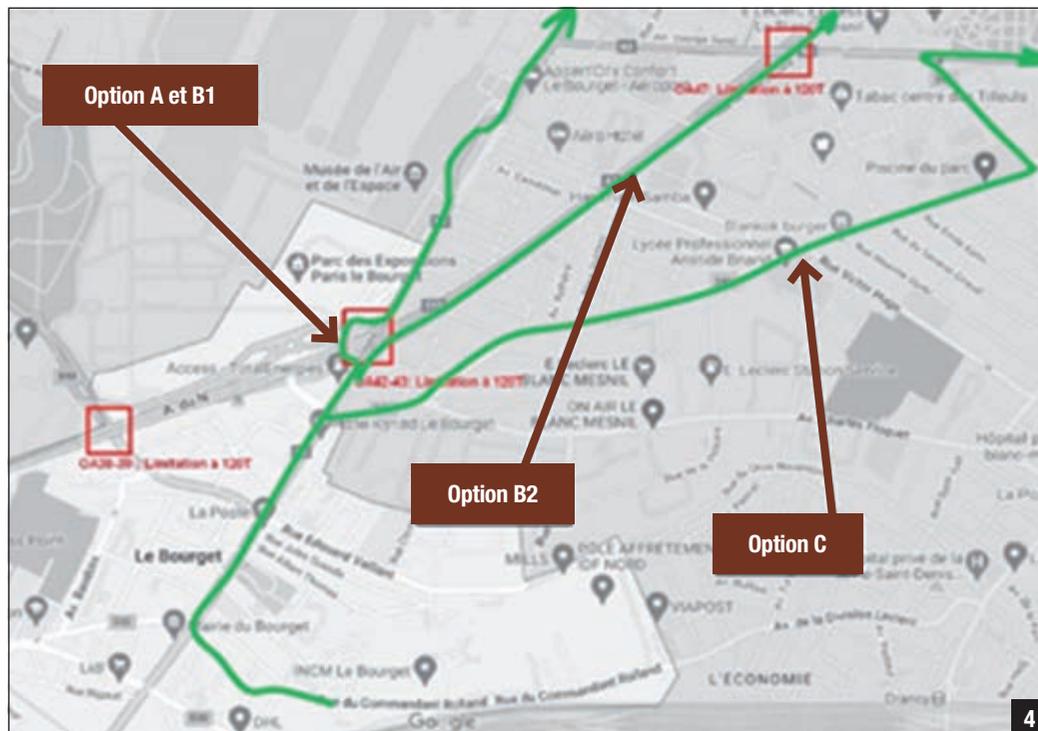
On a procédé à l'installation de cet élément de sortie, en parallèle du creusement, par une équipe autonome qui s'est d'abord occupée de la partie génie civil liée à la sortie du tunnelier : bétonnage des longrines de cloche, bétonnage des blocs de poussée du bâti de retenue et rechargement en béton de la station.

La cloche a alors été installée et connectée au tympan par un joint d'étanchéité bétonné. La cloche a ensuite été fermée par un masque métallique puis le bâti de poussée a été mis en place (figure 3).

Pour finir, la cloche a été remplie de matériaux et mise en pression avec de la bentonite afin d'installer une pression supérieure à la pression hydrostatique en sortie.

La sortie de terre du tunnelier a donc été opérée en maintenant une pression de confinement permettant l'avancée du bouclier sous cloche dans la station. Après 11 m d'avancement, le dernier anneau a pu être clavé, assurant une étanchéité entre le terrain et la station, le bouclier du tunnelier se trouvant alors en position de démontage.

Dernière étape avant le démontage du tunnelier, la dépose des éléments de sortie de terre a été opérée. Ainsi, le bâti de retenue a été décomprimé et déposé, de même que le masque et la cloche ; les matériaux étant dans la cloche ayant tous été évacués par la vis de marinage du tunnelier et transportés vers l'ouvrage Flandres via les convoyeurs.



© NOTE RECONNAISSANCE ITINÉRAIRES COUTURIER

DÉMONTAGE DU TUNNELIER

Le démontage du tunnelier dans l'ouvrage Rolland a démarré au mois de juillet 2022.

Les conditions de l'ouvrage ainsi que les moyens de levage qu'il était possible de mettre en place ont nécessité un démontage en plusieurs phases reprises ci-dessous :

a- Démontage et levage de la roue de coupe : la roue de coupe a été

déconnectée du bouclier et a été levée à l'aide d'une grue 750 t ;

b- Désaccouplement de l'ensemble bouclier - jupe : le corps de la machine, constitué du bouclier et de la jupe a été séparé afin de respecter les contraintes de levage. La partie bouclier a même été séparée en quatre segments. Ces différentes parties ont ensuite été levées successivement ;

c- Levage de la vis et de l'érecteur ;

d- Démontage des remorques : le fond de puits étant libéré de la présence du bouclier, les remorques 1, 2, 3 et 4 sont ripées dans la station. Lorsque la remorque 1 est entièrement dans le puits, elle est désaccouplée de l'ensemble des remorques 2, 3 et 4. Le démontage puis levage de cette remorque débute alors. Le démontage et levage des autres remorques a suivi le même process.



5a

© DEMATHIEU BARD CONSTRUCTION



5b

© DEMATHIEU BARD CONSTRUCTION

4a & 4b- Extrait carte du conseil départemental de Seine-Saint-Denis.

5- Roue de coupe en position verticale prête pour chargement sur remorque à l'aide la grue 750 t et pour transport.

4a & 4b- Excerpt from the Conseil Départemental map of Seine-Saint-Denis.

5- Cutting wheel in vertical position ready for loading on trailer with the 750-tonne crane and transport.



6a

© DEMATHIEU BARD CONSTRUCTION



6b

© DEMATHIEU BARD CONSTRUCTION



7

© DEMATHIEU BARD CONSTRUCTION

Toutes ces pièces démontées ont été collectées en surface, nettoyées et préparées en vue de leur transfert vers le site du Triangle-de-Gonesse, là où le tunnelier Florence entame son second tir en fin d'année 2022.

L'ensemble du démontage a été réalisé par les équipes Avenir (Demathieu Bard - Implenia - Pizzarotti - Bam) avec une supervision du fabricant du tunnelier. L'ensemble du process s'est déroulé en onze semaines.

TRANSFERT DU TUNNELIER DE LA LIGNE 17 DE L'OA 3406P VERS TDG

DIMENSIONS DES COLIS EXCEPTIONNELS

Afin de permettre le transport des différents éléments constituant le tunnelier, ces derniers ont été classés en deux types de colis. On distingue les colis exceptionnels dont le transport nécessite l'obtention d'un arrêté du fait de leurs dimensions et les colis standards ne nécessitant pas d'arrêté pour leur transport. Les colis standards sont composés par les remorques du tunnelier. Les colis exceptionnels comportent la jupe, la roue de coupe, l'entraînement, l'ensemble poutre-érecteur-vis et le bouclier séparé en quatre segments. Le tableau A synthétise les différents éléments du tunnelier composant les colis exceptionnels et leurs dimensions. Les convois les plus dimensionnants sont : la roue de coupe et la jupe qui seront transportées en position verticale,

6a & 6b- Transport roue de coupe complète en position verticale la nuit.

7- Transport jupe complète en position verticale la nuit.

6a & 6b- Transport of the complete cutting wheel in vertical position at night.

7- Transport of the complete skirt in vertical position at night.

l'entraînement principal et les 3 segments bas du bouclier (3, 4 et 5) du fait de leur poids et l'ensemble vis-poutre-érecteur en raison de son importante longueur.

Le transport des éléments du tunnelier en colis exceptionnels permet de réduire le temps de démontage et le montage du tunnelier. En effet, plus les colis sont dimensionnants, moins les opérateurs auront de découpage à faire pour le démontage et moins de soudure à faire pour le remontage.

CHOIX DES ITINÉRAIRES

Le transport des différents éléments du tunnelier en colis exceptionnel a

été confié à l'entreprise Couturier par le groupement Avenir. Afin de déterminer les itinéraires qui conviendraient aux spécificités des différents colis, Couturier a procédé à une reconnaissance d'itinéraires pour le transfert des éléments du tunnelier de la Ligne 17N entre l'OA3406P/01E01 situé au 43b rue du commandant Rolland, le Bourget et la gare de Triangle-de-Gonesse (TDG) située au chemin de Gonesse à Villepinte.

Des échanges préparatoires entre le CD93 et Couturier ont permis au groupement Avenir et à son sous-traitant d'identifier les points difficiles en termes d'ouvrages à franchir, repris sur le fond de la carte ci-dessous (points en rouge, transmis par le CD93) (figure 4).

L'ouvrage le plus impactant est celui de la D932, en limite Le Bourget/Le Blanc Mesnil, dont l'état des pathologies ne permet d'espérer aucune possibilité de recalcul, bien qu'il soit sur le trajet naturel pour aller du Bourget à Gonesse.

La reconnaissance d'itinéraires réalisée par Couturier a permis d'éviter les ouvrages difficiles identifiés par le CD93. Cependant, chaque variante d'itinéraire implique le franchissement d'autres ouvrages pour lesquels des études ont été demandées par les gestionnaires à Avenir et à son sous-traitant Couturier afin de garantir l'absence d'impact sur ces derniers lors du passage des convois exceptionnels. ▷

TABLEAU A : SYNTHÈSE DES DIFFÉRENTS ÉLÉMENTS DU TUNNELIER COMPOSANT LES COLIS EXCEPTIONNELS ET LEURS DIMENSIONS

| Dénomination | Longueur (mm) | Largeur (mm) | Hauteur (mm) | Poids (t) |
|--|---------------|--------------|--------------|-----------|
| Segment de bouclier avant 1 | 7250 | 6000 | 2950 | 78 |
| Segment droit bouclier (2) | 7300 | 4950 | 2850 | 60 |
| Segment gauche bouclier (6) | 7250 | 4950 | 2900 | 60 |
| 3 segments bas du bouclier (3, 4 et 5) | 9758 | 7115 | 4920 | 175 |
| Croix érecteur | 5200 | 4999 | 2100 | 28 |
| Ensemble poutre-vis-érecteur | 17486 | 5803 | 6885 | 132 |
| La roue de coupe | 10100 | 5200 | 10100 | 120 |
| La jupe | 9536 | 5005 | 9680 | 91 |
| L'entraînement | 6689 | 5888 | 3870 | 219 |



8a

© DEMATHIEU BARD CONSTRUCTION



8b

© DEMATHIEU BARD CONSTRUCTION

Il s'agit des ouvrages ci-dessous :

- Pour l'option A, franchissement d'un ouvrage en courbe sur A1 ;
- Option B1, franchissement d'un ouvrage droit sur A1 parallèle à l'ouvrage de la D932 ;
- Option B2, trajet par l'autoroute A1, limité en hauteur ;
- Option C, franchissement de deux ouvrages sur l'autoroute A3 (par le D932 et par le DD970) et franchissement d'un ouvrage sur l'autoroute A1 (par la D970).

Parmi les itinéraires reconnus, certains n'ont pas été retenus, dont le départ vers l'avenue de la Division Leclerc vers l'est en raison de la présence d'îlots et d'un portique mobile qui sont infranchissables pour les convois du tunnelier.

Cela a conduit à retenir une sortie du chantier vers la D932 (ex RN2) à l'ouest.

La sortie de chantier vers la route nationale a également nécessité l'interdiction de stationnement des véhicules sur toute la longueur de la rue du Commandant Rolland (côté pair). De plus, préalablement au transport des convois, il a été nécessaire de déposer des panneaux de signalisation et procéder à un élagage des arbres sur les itinéraires retenus afin de faciliter le passage des convois.

Des aménagements ont également été réalisés en accord avec le gestionnaire de site de l'OA3406P/01E01 (titulaire L16) pour permettre la sortie des colis du chantier. Ces aménagements ont consisté à modifier l'entrée du chantier pour faciliter

le virage des convois vers la D932. Les itinéraires ci-dessous ont été retenus et les colis ont été classifiés par itinéraire en fonction de leur spécificité.

Avant tout transport, Couturier a attendu la délivrance des arrêtés spécifiant les caractéristiques des convois et la durée de la validité de l'arrêt par le département :

8a & 8b- Tympan d'entrée en terre à TDG.

9- Tunnelier prêt au démarrage.

8a & 8b- Adit front wall at TDG. 9- TBM ready to start.

- Un itinéraire pour les colis : croix érecteur, segment bouclier avant (1), segment bouclier droit (2) et segment gauche bouclier (6) ;
- Un itinéraire pour les colis : roue de coupe complète, 3 segments bas du bouclier (3, 4 et 5), ensemble vis-poutre-érecteur et jupe complète ;
- Un itinéraire pour le transport de l'entraînement principal.

CHARGEMENT DES COLIS

Les différents éléments du tunnelier ont été démontés en fond de puits et stockés en surface dans l'emprise donnée à la L17N sur le site de l'OA3406P/01E01 avant le transport. Le chargement des colis du bouclier (3 segments bas (3, 4 et 5), segment bouclier avant (1), segment bouclier droit (2) et segment gauche bouclier (6)), de l'entraînement et de l'ensemble poutre-érecteur-vis a été effectué à l'aide de chandelles. Les différents colis ont été stockés sur les blocs en béton à l'aide de la grue 750 t. Une fois les colis en place sur les chandelles, les remorques viendront se positionner en-dessous des colis et, par vérinage, la charge des colis est récupérée par ces dernières. Cette méthode de chargement a permis d'éviter des manutentions avec la grue. Le chargement des colis composés de la jupe et de la roue de coupe a été effectué à l'aide de la grue 750 t (figure 5).

TRANSPORT DES COLIS

Les colis sont transportés sur des remorques dont les dimensions varient



9

© DEMATHIEU BARD CONSTRUCTION

10- Ensemble du tunnelier remonté.

10- Entière TBM reassembled.

en fonction des caractéristiques des convois. À distinguer :

- Les remorques type 12 lignes et 3 files pour la roue de coupe et la jupe ;
- Les remorques type 16 lignes et 2 files pour l'entraînement principal, l'ensemble poutre-vis-érecteur ;
- Et des remorques type 8 lignes pour les différents segments du bouclier et la croix érecteur.

Le transport des convois se fait de nuit (figures 6 et 7).

STOCKAGE DES COLIS SUR TDG

Le déchargement des colis du bouclier sera également effectué à l'aide de chandelles. Les différents colis en place sur les remorques seront descendus sur des blocs en béton sur le site de TDG.

MONTAGE DU TUNNELIER À TDG POUR LE TIR 2

Le tunnelier démonté dans l'ouvrage Rolland est remonté dans la gare de TDG pour réaliser les 2,6 kilomètres du second tir du projet.

Le démarrage à TDG est assez inédit. Les démarrages classiques de tunnelier sont généralement réalisés par phases, où chaque phase correspond à l'avancement d'une partie du tunnelier suivie d'un arrêt pour connecter une nouvelle remorque ; dans le cas présent, le tunnelier est complètement assemblé avant démarrage. Il s'agit donc d'un démarrage avec une configuration définitive.

Le second tir devant commencer le plus rapidement possible, la fin du démon-



10
© DEMATHIEU BARD CONSTRUCTION

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)

TUNNELIER : Herrenknecht

tage des remorques dans l'ouvrage Rolland se fait en parallèle du montage du bouclier à TDG, ce qui nécessite une planification et une gestion précise des ressources (moyens humains, matériels ...).

Le choix fait par les équipes d'Avenir de transporter les éléments du tunnelier en gros colis a assurément contribué à optimiser le temps de remontage du tunnelier en évitant des étapes de démontage supplémentaires qui auraient entraîné des étapes de remontage additionnelles.

Également, tout le système de convoyeur est mis en place par les équipes Avenir ce qui permet de transporter les déblais depuis la sortie de vis de marirage jusqu'aux casiers de stockage des déblais.

Le groupement Avenir a finalisé le montage du tunnelier et des équipements annexes le 29/11/2022. L'entrée en terre sur le site de TDG est particulière car le creusement au démarrage se fait hors nappe. Par conséquent, la mise en place d'une cloche pressurisée comme dispositif d'entrée en terre n'est pas nécessaire.

Cette entrée en terre a donc nécessité la réalisation d'un tympan en béton d'épaisseur 170 cm en contact avec la paroi clouée. Ce tympan est réalisé de manière que la tête de coupe s'y insère sans le creuser et vienne se mettre en contact directement avec la paroi clouée. À l'intrados du tympan est mis en place un système d'étanchéité permettant d'assurer l'étanchéité à l'interface terrain/station et permettre le scellement du premier anneau dans le tympan (figure 8).

Le creusement au tunnelier en vue de la réalisation du second tir du projet a démarré le 30/11/2022. Le tunnelier sera arrêté pendant 15 jours après la réalisation des 100 premiers mètres pour la dépose du dispositif d'entrée en terre (figures 9 et 10). □

ABSTRACT

LINE 17 - WORK SECTION 1 FOR THE 'GRAND PARIS EXPRESS' PROJECT - TRANSFER OF THE TUNNEL BORING MACHINE

DJOUMA BARADJI, INGEROP - NORDINE LASRI, DEMATHIEU BARD CONSTRUCTION

The transfer of the tunnel boring machine between exit shaft 3406P and Triangle-de-Gonesse (TDG) station is described in detail in this article. This transfer involved bringing the machine out in an air chamber and then disassembling it in order to reassemble it on the surface in large parts that could be transported quickly at night over several kilometres. The parts were then cleaned and prepared for reassembly in TDG station. Thanks to this method, the TBM was completely transferred in 11 weeks. Finally, the space available at the start of this second hole allows complete assembly of the machine and hence a quick start to tunnel driving. □

LÍNEA 17 - LOTE 1 DEL GRAND PARIS EXPRESS - TRASLADO DE LA TUNELADORA

DJOUMA BARADJI, INGEROP - NORDINE LASRI, DEMATHIEU BARD CONSTRUCTION

En este artículo se describe en detalle el traslado de la tuneladora entre el pozo de salida 3406P y la estación de Triangle-de-Gonesse. El traslado ha consistido en extraer la máquina en una campana, desmontarla y volver a montarla seguidamente en superficie en grandes bloques, que se han transportado rápidamente y de noche a varios kilómetros de distancia. A continuación, los bloques se han limpiado y preparado para su reensamblaje en la estación de TDG. Esta metodología ha permitido trasladar el conjunto de la tuneladora en 11 semanas. Finalmente, el espacio disponible en el punto de inicio de este segundo lanzamiento permite el montaje completo de la máquina y, por tanto, un inicio rápido de la perforación. □



© TOBYHAWKES.CO.NZ

PROJET D'ASSAINISSEMENT TIDEWAY À LONDRES - LOT EST

AUTEURS : ALEXANDRE CHAIZEMARTIN, DIRECTEUR TECHNIQUE DU PROJET TIDEWAY, VINCI CONSTRUCTION - CLÉMENT UHRING, DIRECTEUR TECHNIQUE, VINCI HELLAS - PIERRE-ÉDOUARD DENIS, RESPONSABLE TECHNIQUE MATÉRIAUX DU PROJET TIDEWAY EAST, VINCI CONSTRUCTION GRANDS PROJETS

L'OBJECTIF DU PROJET TIDEWAY À LONDRES EST D'ÉLIMINER LA POLLUTION DE LA TAMISE PROVENANT DES REJETS D'EAUX USÉES DANS LA RIVIÈRE. L'OUVRAGE VIENT SUPPLÉER LA CAPACITÉ INSUFFISANTE DU RÉSEAU D'ÉGOUTS EXISTANT PAR LA CONSTRUCTION D'UN TUNNEL PRINCIPAL QUI PERMETTRA DE COLLECTER ET D'ACHEMINER LE TROP PLEIN DU RÉSEAU VERS LA STATION D'ÉPURATION DE BECKTON. LE PROJET COMPREND AUSSI, SUR 24 SITES, LA RÉALISATION D'OUVRAGES DE CONNEXION AU RÉSEAU EXISTANT ET DES PUIS QUI LES RELIENT AU TUNNEL PRINCIPAL.

CONTEXTE ET ÉTENDUE DU PROJET

L'actuel réseau d'assainissement de Londres a été conçu au XIX^e siècle, à l'époque victorienne, par l'ingénieur Joseph Bazalgette. Il collecte à la fois les eaux usées et les eaux pluviales. La population londonienne ayant été multipliée par 5 depuis cette époque, la capacité du réseau d'assainissement n'est plus suffisante ce qui entraîne des rejets réguliers d'eaux usées dans la rivière lors de fortes précipitations. Pour faire face à ce problème environnemental, le projet Thames Tideway Tunnel (Tideway) fut

conçu pour capter les surplus d'effluents avant leur rejet dans la rivière et les acheminer jusqu'à la station d'épuration, réduisant drastiquement les épisodes de rejet dans la Tamise. En 2015, l'organisme de régulation des marchés de l'eau et de l'assainissement en Grande Bretagne (Ofwat) désignait un consortium d'investisseurs, Bazalgette Tunnel Limited, comme société responsable de la réalisation du projet Tideway, à la suite d'un appel d'offre lancé par la société des eaux Thames Water. Ce projet de collecteur géant (les Londoniens l'appellent le *Super Sewer*)

1- Levage d'un tunnelier avec Matador 3 à Chambers Wharf.

1- Lifting a TBM with Matador 3 at Chambers Wharf.

s'étend d'Acton Town à l'ouest de Londres à Abbey Mills à l'est avec un tunnel principal de 32 km de long et 7,2 m de diamètre intérieur qui suit globalement le cours de la Tamise,

des tunnels de connexion et 24 sites de raccordement au réseau existant (figure 2).

Le Lot Est de Tideway, présenté ici, comprend la partie Est du Tunnel Principal de 5 km de long entre Chambers Wharf et Abbey Mills, un tunnel de connexion de 4,5 km de long entre la station de pompage de Greenwich et Chambers Wharf et des puits et ouvrages de connexion sur six sites ainsi que des aménagements paysagers (figure 3). Il est réalisé par le consortium Costain/Vinci Construction Grands Projets/Bachy Soletanche.



© TIDEWAY PHOTO THÈQUE
2

À l'est le projet se raccorde au Lee Tunnel, de même diamètre, qui connecte la station de pompage d'Abbey Mills à la station d'épuration de Beckton (projet Lee Tunnel construit par le consortium Morgan Sindall/Bachy Soletanche Ltd/Vinci Construction Grands Projets et mis en service en 2016).

DONNÉES ET CONTRAINTES DU SITE

Les chantiers se situent dans le tissu urbain dense de l'agglomération londonienne et dans différents arrondissements de la ville qui sont autant

2- Schéma d'un raccordement au réseau existant.

3- Plan de situation Tideway East.

2- Diagram of connection to the existing network.

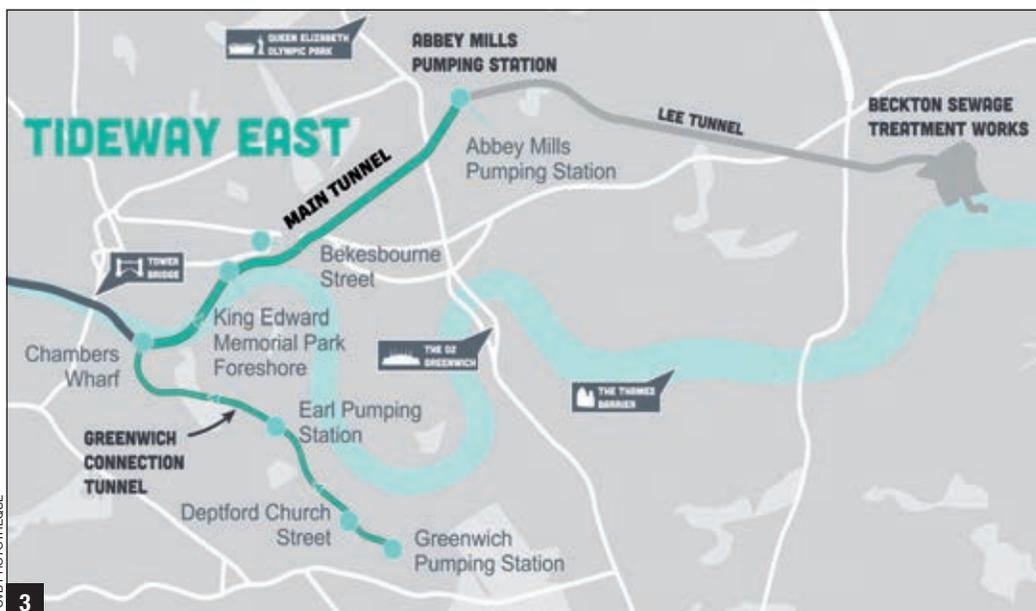
3- Location plan of Tideway East.

d'autorités administratives avec des conditions différentes à satisfaire. Les emprises de chantier négociées lors du permis de construire (DCO - Development Consent Order) sont optimisées afin de limiter l'impact du projet sur la ville. Cela implique, pour un projet d'une telle envergure, de fortes contraintes spatiales auxquelles s'ajoutent des exigences strictes concernant la maîtrise du bruit afin de limiter les nuisances pour le voisinage. De hautes palissades anti-bruit entourent les chantiers et des hangars acoustiques ont été construits au-dessus des puits

de lancement des tunneliers pour abriter certaines activités devant se déroulant la nuit. Des systèmes sophistiqués de mesure en continu du bruit et de la qualité de l'air déclenchent des alarmes en cas de dépassement des limites édictées par le DCO.

Pour faciliter l'acceptabilité du chantier par les riverains, le DCO exige aussi le respect d'horaires spécifiques pour la circulation liée au chantier, limitant ainsi les risques d'embouteillage pendant les heures de pointe ou encore les risques d'accident aux heures d'ouverture et de sortie des écoles voisines. La volonté d'évacuer tous les déblais du tunnel principal par voie fluviale a nécessité l'extension temporaire du site par un batardeau dans la rivière, l'accès par barge étant alors possible à toute heure, indépendamment des fortes marées de la Tamise (figure 4).

La construction d'ouvrages souterrains en milieu urbain implique aussi de nombreuses interfaces avec les réseaux et ouvrages souterrains existants, parfois très sensibles aux mouvements de terrain. Le site de Greenwich en est représentatif, avec la traversée de deux viaducs ferroviaires, trois conduites de gaz importantes et des collecteurs d'égouts principaux situés parfois à moins de 1 m des excavations. L'installation d'une instrumentation spécifique et parfois de renforts temporaires ou permanents sur les ouvrages existants s'est révélée indispensable avant de démarrer les travaux.



© CVB PHOTO THÈQUE
3

DESCRIPTION ET CONSTRUCTION DE L'OUVRAGE TUNNELS

La réalisation des tunnels a nécessité l'utilisation de deux tunneliers de diamètres différents : 8,8 m pour le tunnel principal (MNTLD) et 6,45 m pour celui de Greenwich (GRECT).

La profondeur des tunnels variant de 52 m à 65 m, les situe dans la partie supérieure de la craie londonienne, roche tendre et fissurée avec des pressions d'eau pouvant atteindre 6 bars. Les tunnels situés en partie sous la Tamise et en partie en zone très urbanisée ont été réalisés avec des TBM à pression de boue capables de résister à la pression hydrostatique et de minimiser les tassements en surface. Les deux tunneliers ont été assemblés en fonds de puits (figure 5). Leur démarrage s'est effectué grâce à des galeries de lancement réalisées en excavation traditionnelle.

Des traitements de terrain profond ont été réalisés depuis la surface afin de permettre l'excavation des galeries de lancement et de créer des zones d'arrêt sécurisées pour limiter les risques d'intervention hyperbare et faciliter la maintenance de la roue de coupe. Des conduites relient en permanence le tunnelier à la station de traitement des boues, située en surface, qui sépare les matériaux excavés : les sables et graviers sont extraits puis le mélange restant de craie et bentonite est pressé



© CVB PHOTOTHÈQUE

4- Vue aérienne du site de Chambers Wharf.

5- Descente d'une partie du bouclier du tunnelier Annie.

6- Outil coffrant à son entrée dans le tunnel.

4- Aerial view of the Chambers Wharf site.

5- Lowering part of the shield of TBM Annie.

6- Sectional formwork at its entrance in the tunnel.

dans des filtres spéciaux pour diminuer sa teneur en eau avant son évacuation par barge. Le revêtement primaire des 5,5 km de MNTLD est constitué de 3090 anneaux de 1,8 m de long et de 7,8 m de diamètre, chaque anneau comptant 7 voussoirs en béton fibré de 35 cm d'épaisseur.

Les 4,5 km de GRECT sont formés de 3050 anneaux de 1,5 m de long et de 5,50 m de diamètre, chaque anneau comptant 6 voussoirs en béton fibré de 30 cm d'épaisseur. L'étanchéité entre les voussoirs du revêtement primaire est assurée par des joints EPDM testés pour résister à des pressions hydrostatiques de 13 bars (figure 7).

Les nouveaux puits situés sur la route du tunnelier ont été partiellement remblayés et remplis d'eau pour la traversée du TBM. Cela reconstitue des conditions d'excavation proches de celles rencontrées dans la craie. La traversée se déroule ainsi sans arrêt, optimisant le programme de construction et réduisant les risques inhérents à un transfert de tunnelier.

Pour des raisons de durabilité, le Client a souhaité qu'un revêtement intérieur soit réalisé dans les tunnels. Ce revêtement en béton fibré, d'une épaisseur de 24 cm pour MNTLD et 18 cm pour GRECT, est coulé en place à l'aide d'outils coffrant cylindriques, d'une longueur de 7,5 m pour GRECT et 9 m pour MNTLD. Sont installés progressivement dans chaque tunnel 6 outils disposés l'un derrière l'autre mais laissant un espace entre chaque paire. Lors d'un cycle, les 3 coffrages de tête réalisent 3 nouvelles sections et les 3 coffrages de queue claquent les espaces laissés entre les sections réalisées lors du cycle précédent. Des vérins hydrauliques permettent de déployer des bracons d'appui contre le revêtement du tunnel lors de l'installation et de rétracter le coffrage avant de le déplacer (figure 6).

PUITS

Le projet comprend 5 puits circulaires de grand diamètre (entre 17 et 25 m de diamètre intérieur) et de grande profondeur (de 52 à 65 m). Leur fonction



© CVB PHOTOTHÈQUE



© CVB PHOTOTHÈQUE



© CVB PHOTOTHÈQUE
7

est de relier le réseau d'assainissement existant en surface aux nouveaux tunnels situés en profondeur. Ces puits traversent plusieurs couches géologiques typiques de l'est de Londres : remblai superficiel, alluvions, graviers avec parfois de l'argile londonienne, sable et enfin la craie.

La géologie et la grande profondeur ont dicté le choix de parois moulées comme soutènement des puits. Selon le diamètre des puits, ces parois ont une épaisseur allant de 1 m à 1,50 m. Afin de contrôler leur verticalité et de limiter les tassements pouvant affecter les structures voisines les parois ont été réalisées sous bentonite au moyen d'hydrofraises (figure 8).

Le radier des puits en béton armé est conçu avec une forme concave en sous-face afin d'augmenter la résistance à la pression hydrostatique et de réduire le ferrailage. Au-dessus du radier les puits reçoivent un revêtement en béton armé qui assure leur étanchéité et supporte la dalle de couverture. Accroché en console au revêtement, un "tube vortex", en

7- Voussoirs du tunnel sur train d'acheminement.

8- Hydrofraise en position sur le puits de Greenwich.

9- Vortex tube achevé vu du radier.

7- Tunnel segments on transport train.

8- Hydro-cutter in position on the Greenwich shaft.

9- Completed vortex tube viewed from the invert.

béton armé avec revêtement intérieur en acier inox de 3 m de diamètre, permet de contrôler la chute des effluents collectés en surface jusqu'au radier en fond de puits (figure 9). En haut de ce tube une structure béton en forme de sifflet crée un vortex qui dissipe l'énergie et limite l'impact du flot sur le radier. Afin de réduire la durée de construction

des puits le consortium et son sous-traitant spécialisé Slipform Engineering ont développé un outil de coffrage glissant permettant de réaliser en bétonnage continu, sur 50 m de haut, l'ensemble du revêtement du puits et du tube vortex (figure 10). Des formulations de béton spécifiques associées à des procédures de contrôle rigoureuses ont été mises en place pour répondre à ce défi technique.

Les puits sont recouverts par une dalle en béton, elle-même camouflée sous des aménagements paysagers renforçant l'intégration du projet dans son environnement et offrant de nouveaux espaces publics aux Londoniens (figure 11).

OUVRAGES DE CONNEXION

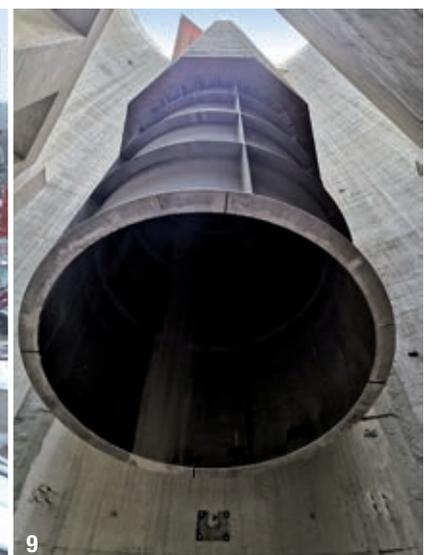
Les ouvrages de connexion des chambres souterraines qui se connectent d'un côté sur le puits et de l'autre sur des chambres ou des collecteurs existants. Profonds d'environ 12 m ces ouvrages sont fondés dans les sables denses. Leurs dimensions varient selon les sites, les plus grands ayant des

emprises d'environ 250 m². Le soutènement de ces chambres est constitué de parois moulées ou de pieux sécants. Sur le site de Greenwich où la chambre est bâtie contre des structures existantes sensibles, une séquence de construction *top down* a été adoptée afin de réaliser le contreventement permanent rigide en béton armé au fur et à mesure de l'excavation, minimisant ainsi les tassements.

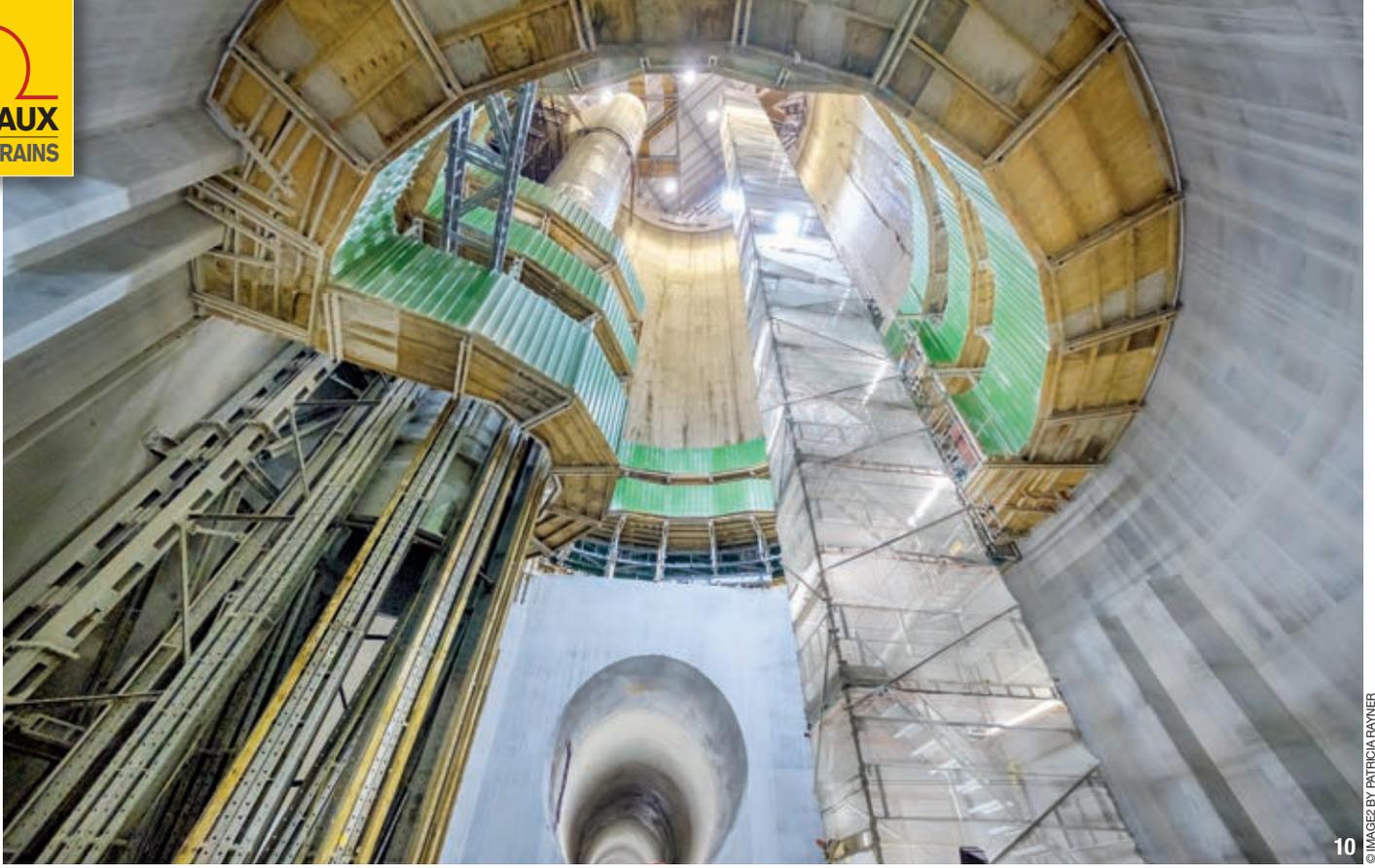
Sur le site de Earl, où le sol est fortement contaminé, des traitements de terrain utilisant les techniques de Deep Soil Mixing et de Jet Grouting ont été réalisés pour former un bouchon étanche qui isole les travaux de la nappe et des sables contaminés. La complexité de ces travaux réside dans la jonction avec les ouvrages existant en briques, parfois centenaires, et dans l'obligation de maintenir la continuité du réseau durant les travaux. Pour cela, des conduites temporaires de plus de 2 m de diamètre ont été installées au travers des chambres en construction et seront retirées pour la mise en service (figure 12). ▷



8
© CVB PHOTOTHÈQUE



9
© CVB PHOTOTHÈQUE



10

© IMAGES BY PATRICIA RAYNER

PLANNING DE RÉALISATION DES TRAVAUX ET ÉTAT D'AVANCEMENT

Le programme des travaux est axé sur la réalisation des deux tunnels car les puits de Chambers Wharf et de Greenwich devaient être partiellement réalisés pour lancer les tunneliers, d'une part, et leur achèvement ne peut pas débuter avant le démontage des installations des travaux de tunnel, d'autre part.

La réalisation des travaux préparatoires, incluant des travaux maritimes conséquents, les travaux géotechniques, le creusement des puits et le lancement des tunneliers, ont pris environ 4 ans. Le creusement des tunnels a ensuite duré environ 12 mois suivis de quelques mois de démontage et installations pour le revêtement secondaire dont la réalisation est prévue en 9 mois. La durée prévisionnelle de l'ensemble du projet qui est actuellement à 78 % d'avancement est de 9 ans.

INITIATIVES ENVIRONNEMENTALES

Le projet Tideway, qui vise à dépolluer la Tamise, est donc, par sa fonction, un projet environnemental. Cependant, comme tout projet majeur d'infrastructure, sa construction a des impacts environnementaux significatifs. Pour limiter ces impacts, un objectif de réduction de l'empreinte carbone du projet de 8 % a été fixé et une des initiatives notables a consisté à rechercher des solutions pour diminuer l'empreinte carbone des bétons ainsi que leur quantité.

L'empreinte carbone de chacune des formules de béton a été estimée à l'aide de l'outil CO₂CRETE IMPACT®, considérant le volume et la composition des

formules ainsi que le transport du béton. Sur cette base, une évaluation globale de l'empreinte carbone a été réalisée à l'aide de la matrice EXEGY® (marque de Vinci permettant de promouvoir les bétons "bas carbone") qui a permis de déterminer les meilleures formules en fonction de leurs propriétés et des émissions de CO₂ associées. Ainsi, hormis les voussoirs du tunnel, environ 96 % des bétons utilisés pour les ouvrages permanents ont des formulations "bas carbone" comprenant jusqu'à 73 % de laitier dans le liant hydraulique.

La réduction la plus notable des quantités de béton a été obtenue sur l'épaisseur du revêtement secondaire des tunnels. Structurellement cette diminution a nécessité l'emploi d'un béton plus performant avec une empreinte

10- Coffrage glissant et vortex tube.

11- Rendu architectural du site achevé de King Edward Memorial Park.

10- Sliding form-work and vortex tube.

11- Architectural depiction of the completed location of King Edward Memorial Park.

carbone légèrement supérieure à celle du béton initialement prévu mais ceci a été largement compensé par la réduction des quantités. Au total la quantité de béton dans les tunnels a été diminuée de 11 000 m³ ce qui a généré

une réduction de 4 500 t CO₂e (soit 4 500 voyages Paris New York aller-retour en avion).

L'impact environnemental a aussi été réduit par la maximisation du transport fluvial, en particulier pour le marinage des tunnels, les voussoirs et les cages d'armatures préfabriquées. Le site du creusement du tunnel de Greenwich n'ayant pas d'accès direct à la Tamise, mais seulement à un affluent étroit et peu profond, des travaux de dragage ont été nécessaires pour permettre le passage des barges. Grâce à cet aménagement provisoire et à une organisation minutieuse de la logistique marine pour concilier les horaires de marées, de travail, la productivité du tunnelier et les capacités de stockage, environ 40 % du marinage de ce tunnel ont pu être évacués par barge (figure 13).

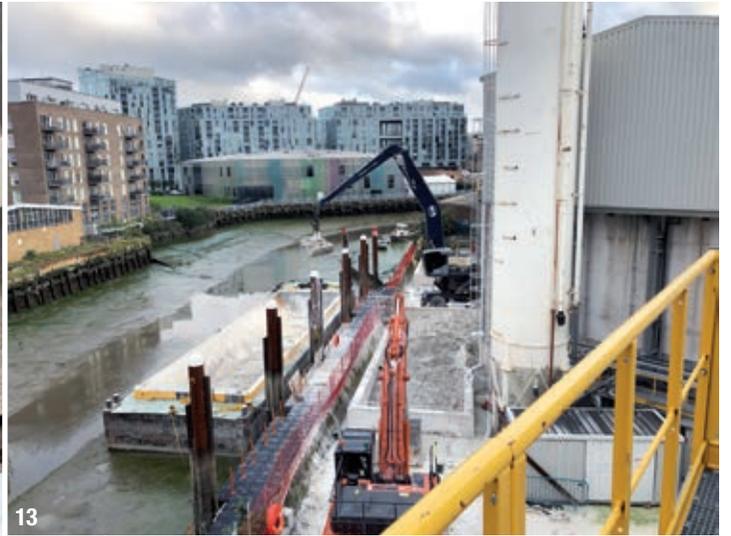


11

© WESTON WILLIAMSON LTD



12



13

© CVB PHOTO THÉQUE

12- Chambre d'interception de Greenwich avec conduite temporaire.

13- Barge de mariage à Greenwich.

12- Greenwich interception chamber with temporary conduit.

13- Muck removal barge at Greenwich.

Enfin, des équipements novateurs ont aussi permis de réduire les impacts environnementaux : une hydrofraise électrique a été utilisée pour la première fois au Royaume Uni pour réaliser des parois moulées, éliminant les émissions de CO₂ et réduisant de façon importante le niveau sonore de la machine ; une presse Giken a été utilisée pour battre les palplanches des batardeaux afin de diminuer significativement les vibrations et le bruit inhérents à ce type de travaux. □

CHIFFRES CLÉS

VOUSSOIRS PRÉFABRIQUÉS TUNNELS : 39 000 u

DÉBLAIS TUNNEL PAR ROUTE : 84 000 m³

DÉBLAIS TUNNEL PAR BARGES : 400 000 m³

TUNNEL 2nd LINING : 40 000 m³

BÉTON AUTRE QUE TUNNEL : 120 000 m³

BÉTON POUR PAROIS MOULÉES : 34 000 m³

EFFECTIF DE POINTE SUR LE PROJET :

700 personnes dont 250 pour l'encadrement

MONTANT DU PROJET : 1,3 Mds €

PRINCIPAUX INTERVENANTS

CLIENT : Bazalgette Tunnel Ltd

MAÎTRE D'ŒUVRE : Jacobs (Tideway)

BUREAU D'ÉTUDE PRINCIPAL : Mott McDonald

GROUPEMENT D'ENTREPRISES :

Costain Ltd, Vinci Construction Grands Projets, Bachy Soletanche Ltd

FOURNITURE TBM : Herrenknecht

ABSTRACT

TIDEWAY SEWERAGE PROJECT IN LONDON - EAST WORK SECTION

ALEXANDRE CHAIZEMARTIN, VINCI CONSTRUCTION - CLÉMENT UHRING, VINCI HELLAS - PIERRE-EDOUARD DENIS, VINCI CONSTRUCTION GRANDS PROJETS

The East work section of the Tideway sewerage project in London, carried out in a dense urban environment, entails a great variety of underground works employing various techniques. Apart from the geological constraints, limiting the impact of the works was a decisive objective in the choice of technical solutions, whether to minimise ground movements, the noise level or the carbon footprint. Following the Slurry Shield TBMs and hydro-cutters, innovative formwork made it possible to optimise the completion time for the watertight concrete linings of the tunnels and shafts. Above ground, landscaping works will enable Londoners to enjoy new green spaces. □

PROYECTO DE SANEAMIENTO TIDEWAY EN LONDRES - LOTE ESTE

ALEXANDRE CHAIZEMARTIN, VINCI CONSTRUCTION - CLÉMENT UHRING, VINCI HELLAS - PIERRE-EDOUARD DENIS, VINCI CONSTRUCTION GRANDS PROJETS

El lote Este del proyecto de saneamiento Tideway, en Londres, incluye una gran variedad de obras subterráneas que, en un medio urbano denso, precisan el uso de distintas técnicas. Más allá de las características geológicas, limitar el impacto de las obras ha sido un objetivo determinante en la elección de las soluciones técnicas para minimizar los movimientos de terreno, el nivel de ruido o la huella de carbono. Tras el paso de las tuneladoras de presión de lodos y las hidrofresas, unos innovadores encofrados han permitido optimizar el tiempo de realización de los revestimientos de hormigón estancos de los túneles y los pozos. En la superficie, la planificación paisajística permitirá a los londinenses disfrutar de nuevos espacios verdes. □



1
© ALLTI GEIE

MODÉLISATION DES INCERTITUDES ET OPTIMISATION DE LA GESTION DES MATÉRIAUX EXCAVÉS SUR LE TUNNEL DE BASE DU MONT-CENIS

AUTEUR : CÉLINE PAGNIER, INGÉNIEUR PROJETS, BG INGÉNIEURS CONSEILS SAS

LA TRANSFORMATION DES MATÉRIAUX EXCAVÉS DU TUNNEL DE BASE DU MONT-CENIS EN MATÉRIAUX ÉLABORÉS (GRANULATS À BÉTON ET MATÉRIAUX POUR REMBLAIS) CONSTITUE LE PILIER DE LA GESTION DES MATÉRIAUX SUR LE PROJET. LES CONTRAINTES LOGISTIQUES INHÉRENTES À CETTE DÉMARCHE SONT ACCENTUÉES PAR LE CONTEXTE ALPIN, ET L'ANTICIPATION DES SITUATIONS CRITIQUES PAR UNE ÉTUDE PROBABILISTE PERMET DE FIABILISER LE BON DÉROULEMENT FUTUR DU CHANTIER.

INTRODUCTION

La section transfrontalière de la nouvelle ligne ferroviaire Lyon-Turin est constituée d'un tunnel bitube d'une longueur de 57,5 km : le tunnel de base du Mont-Cenis. Compte-tenu des contraintes logistiques importantes en partie dues au contexte alpin, des énormes quantités de matériaux excavés (de l'ordre de 20 Mt) et de béton nécessaires (de l'ordre de 5 Mm³), la mise en place d'une démarche de gestion et d'emploi des matériaux

excavés (GEME) est nécessaire tout au long du projet. Cette démarche est transversale au projet et implique les nombreux acteurs générateurs et utilisateurs de matériaux du projet, sur l'ensemble de la vallée de la Maurienne. Elle vise à mettre en place une politique de développement durable, à travers la préservation de la ressource minérale, la réduction de l'émission de gaz à effet de serre par la limitation du transport des matériaux, et la limitation de la mise en dépôt définitif des matériaux excava-

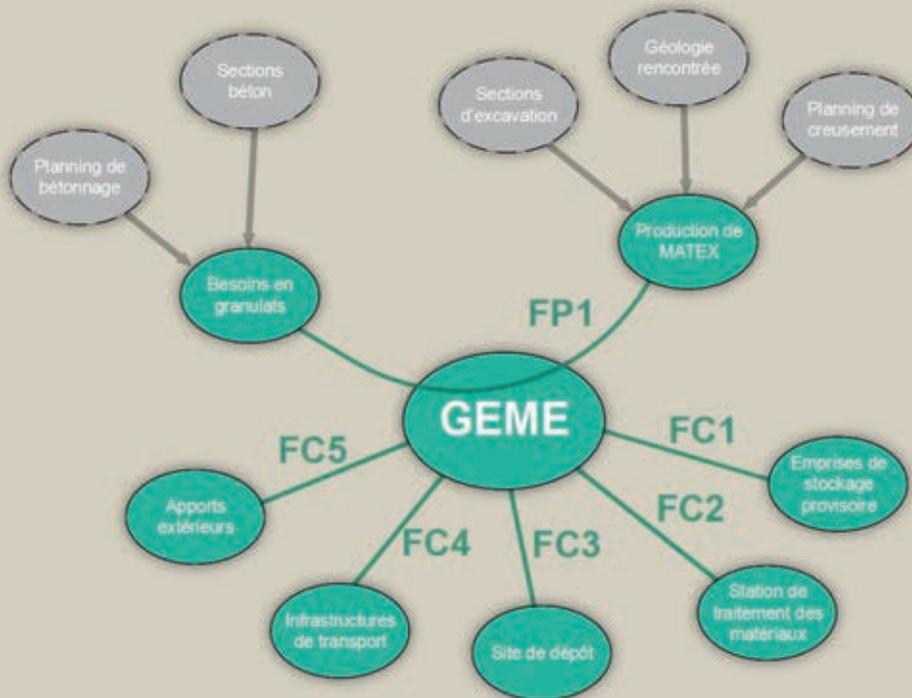
1- Vue aérienne du site logistique de Saint-Félix.

1- Aerial view of the Saint-Félix logistics site.

vés. Les matériaux excavés, lorsque leurs caractéristiques le permettent, peuvent alors être utilisés pour combler les besoins du projet sans recourir à des matériaux issus des exploitations

de carrières. La GEME est là pour optimiser ce processus, en prenant en compte les différentes contraintes qui s'appliquent sur la transformation de matériaux excavés (MATEX) en matériaux élaborés (figure 2). Ainsi, à partir d'hypothèses choisies sur les principaux éléments qui influent directement sur la production et le besoin (en gris sur la figure 2), il est possible de quantifier la propagation des incertitudes aux différentes fonctions de la GEME. Ces résultats permettent de

FONCTION PRINCIPALE ET FONCTIONS CONTRAINTES DE LA GEME



2- Fonction principale et fonctions contraintes de la GEME.

3- Principaux critères de classification des MATEX envisagés sur le chantier.

2- Main function and constraint functions of the excavated materials management plan (EMMP).

3- Main classification criteria for excavated materials planned on the site.

LOGISTIQUE DE SURFACE

Les MATEX sont pré-caractérisés au front, mais leur classement définitif n'intervient qu'après réalisation des essais présentés sur la figure 3. Au sein de la vallée, la GEME met en relation trois sites de dépôt définitif d'une capacité totale estimée à environ 10 Mt, six sites de stockage provisoire (figure 1), deux stations de traitement des matériaux (STM) permettant la production de granulats à béton, une station de traitement des matériaux permettant la production de matériaux de remblais techniques, et une installation terminale embranchée (ITE) permettant le chargement de trains à destination de sites extérieurs. La complexité de la mise en place d'une logistique de surface est amplifiée par la nécessité de mettre en relation simultanément l'ensemble des six acteurs générateurs et utilisateurs de matériaux du projet. La simulation des flux permet alors de faire le lien entre les nœuds logistiques (sites ou acteurs) selon le type de matériau considéré. ▷

tirer des premières conclusions sur la sensibilité des différentes données d'entrée vis-à-vis des incertitudes introduites. Le retour d'expérience permettra, tout au long du déroulement du chantier du tunnel de base, d'affiner le modèle en tenant compte des aléas rencontrés.

HYPOTHÈSES

CLASSIFICATION DES MATÉRIAUX D'EXCAVATION

Les matériaux d'excavation (MATEX) peuvent être répartis en différentes classes selon leurs qualités intrinsèques et leurs usages potentiels. Ainsi, sui-

vant la recommandation GT35R1F2 de l'Aftes, les MATEX rencontrés sur le chantier du tunnel de base du Mont-Cenis sont classés en trois catégories :

→ Les MATEX de classe 1 (CI1) sont les matériaux de très bonne qualité, dont les caractéristiques géotechniques et minéralogiques permettent, après traitement, leur utilisation comme matériaux pour la production de granulats pour béton ;

→ Les MATEX de classe 2 (CI2) sont les matériaux de qualité moyenne dont les caractéristiques permettent la production de matériaux pour la

construction de remblais courants et/ou spécifiques ;

→ Les MATEX de classe 3 (CI3) sont les matériaux dont la qualité ne permet ni une utilisation en granulats pour béton, ni une utilisation en remblai pour les besoins du projet.

Les retours d'expérience de grands chantiers suisses (Lötschberg, Gothard, Nant de Drance) et des premières excavations et reconnaissances des ouvrages du tunnel de base du Lyon-Turin ont permis de synthétiser les principaux critères permettant la classification des MATEX (figure 3).

PRINCIPAUX CRITÈRES DE CLASSIFICATION DES MATEX ENVISAGÉS SUR LE CHANTIER

| Paramètre évalué | Norme | Principaux critères de classification des MATEX | | | | |
|--|---------------|---|---|-----|-------|------|
| | | CI1 | CI1s | CI2 | CI3a | CI3b |
| Teneur en charbon | - | < 2% | | | | |
| Matériaux évolutif (anhydrite, ...) ou dangereux (amiante, etc.) | - | NON | | | | OUI |
| Indice de résistance au poinçonnement (IS ₅₀) | IRSM, 1985 | IS ₅₀ parallèle ≥ 2 N/mm ² | | | - | - |
| | XP P94-429 | IS ₅₀ perpendiculaire - isotrope ≥ 2,5 N/mm ² | | | - | - |
| Essai Los Angeles | EN 1097-2 | ≤ 45* | | | - | - |
| Indice de broyabilité | AFNOR P18-579 | ≤ 70* | | | - | - |
| Matière organique | NF P94-055 | ≤ 3% | | | ≤ 10% | - |
| Teneur en sulfates | NF EN 1744-1 | < 0,2 % | > 0,2 % et < 4 % | | - | - |
| Teneur en soufre total | NF EN 1744-1 | < 1 % | > 1 % <i>limite supérieure à définir</i> | | - | - |

(*) Valeurs indicatives, qui devront être ajustées avec l'expérience acquise au fil du chantier (en particulier avec les résultats des essais sur les granulats)

4- Représentation des incertitudes introduites sur la production de MATEX.

5- Représentation des exutoires possibles selon la classe de MATEX.

4- Representation of the uncertainties introduced regarding the production of excavated materials (MATEX).

5- Representation of possible outlets depending on the MATEX class.

MÉTHODOLOGIE D'ANALYSE MODÉLISATION DES INCERTITUDES

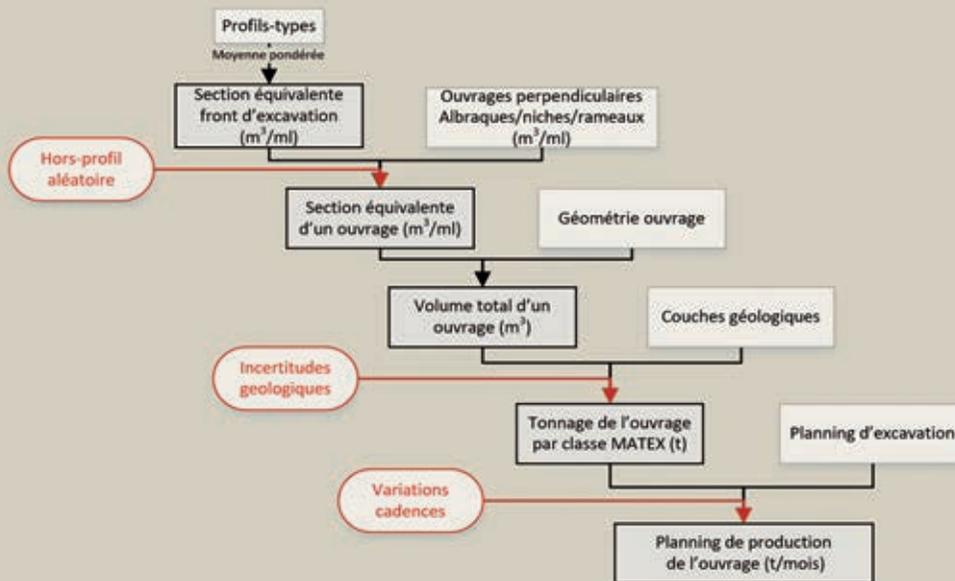
Afin de rendre compte des incertitudes sur les données d'entrée, notamment la géologie et ses impacts sur le creusement et le revêtement, un certain nombre de paramètres sont randomisés. L'idée est alors de choisir des variables ayant un impact sur le déroulement du chantier, mais dont l'ajout d'incertitudes est contrôlé. Ainsi, le choix a été fait de modéliser des incertitudes sur des paramètres dont les retours d'expérience permettent de caractériser efficacement les plages de variations et les évolutions possibles. Parmi les incertitudes relevant de la géologie figurent :

→ La localisation des limites lithologiques. Le point kilométrique (PK) à la limite de deux lithologies est modélisé par une loi triangulaire dont la valeur la plus probable est issue du modèle géologique et les valeurs limites dépendent de l'incertitude choisie et de la taille des lithologies d'une part et d'autre de la limite ;

→ La masse volumique du sol en place pour chacune des lithologies. Cette valeur est modélisée par une loi normale de moyenne et d'écart-type dépendants des essais et forages ;

→ La caractérisation d'une lithologie en classes de MATEX. Les coefficients de répartition correspondent aux pourcentages moyens de chacune des classes de MATEX qu'il est possible d'obtenir pour une lithologie. Ils sont modélisés par des lois normales de moyennes et d'écart-types dépendants des lithologies.

REPRÉSENTATION DES INCERTITUDES INTRODUITES SUR LA PRODUCTION DE MATEX



4

© ALLTIGE

De plus, ces lithologies et leurs rencontres lors du creusement vont introduire des incertitudes sur l'excavation et le revêtement :

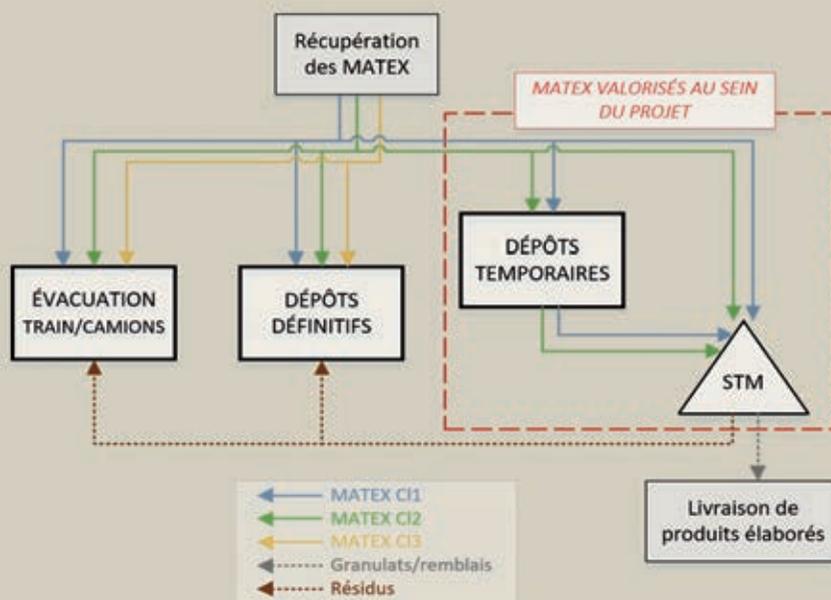
→ Le hors-profil géologique. Selon le type d'excavation (explosif, tunnelier, etc.) et la lithologie rencontrée, le hors-profil non technique peut varier. Ainsi, pour chaque ouvrage et chaque mois, le hors-profil est

modélisé selon une loi uniforme dépendant de l'excavation (jusqu'à 5% pour de l'explosif et jusqu'à 2% pour un tunnelier) ;

→ Les cadences mensuelles d'excavation. Ces cadences sont modélisées par des lois normales, dans lesquelles chaque front d'excavation possède une vitesse d'avancement mensuelle

moyenne dépendant du planning d'avancement et de la nature de l'excavation (explosif ou tunnelier). La moyenne et l'écart-type sont modulés selon les lithologies rencontrées par le front d'excavation mais également selon une incertitude représentant les aléas attendus (venues d'eau, arrêts divers, etc.) ;

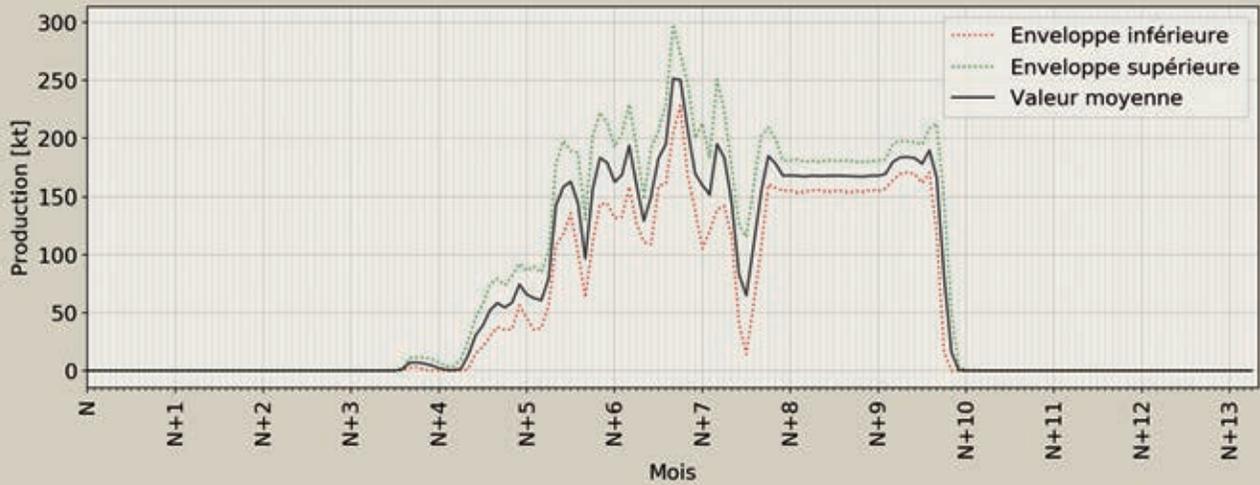
REPRÉSENTATION DES EXUTOIRES POSSIBLES SELON LA CLASSE DE MATEX



5

© ALLTIGE

REPRÉSENTATION DES INCERTITUDES SUR LA PRODUCTION DE MATEX CL1



© ALLTI GEE

6

→ Les cadences de revêtement. Celles-ci étant étroitement liées aux cadences d'excavation (ordonancement des tâches), les incertitudes des cadences d'excavation sont répercutées sur les cadences de revêtement ;

→ La quantité de granulats dans le béton. Celle-ci est dépendante du type de béton (projeté, de revêtement, de radier, etc.) mais également des pertes (rebond et pertes diverses). La quantité de granulats dans le béton est modélisée par une loi normale de moyenne dépendant du type de béton et d'écart-type 0,05 t de granulats par m³ de béton. Par exemple, pour un front d'excavation, la production mensuelle de MATEX est dépendante des variables

6- Représentation des incertitudes sur la production de MATEX Cl1.

7- Représentation de la loi du déficit en granulats sur l'ensemble des simulations.

6- Representation of uncertainties regarding the production of MATEX Cl1.

7- Representation of the law of aggregate deficit on all the simulations.

aléatoires concernant le hors-profil, les caractéristiques géologiques rencontrées, et la variation de cadence (figure 4).

Ainsi, pour une simulation donnée, une géologie aléatoire est mise en place (PK limite entre lithologies, caractéristiques des lithologies, etc.).

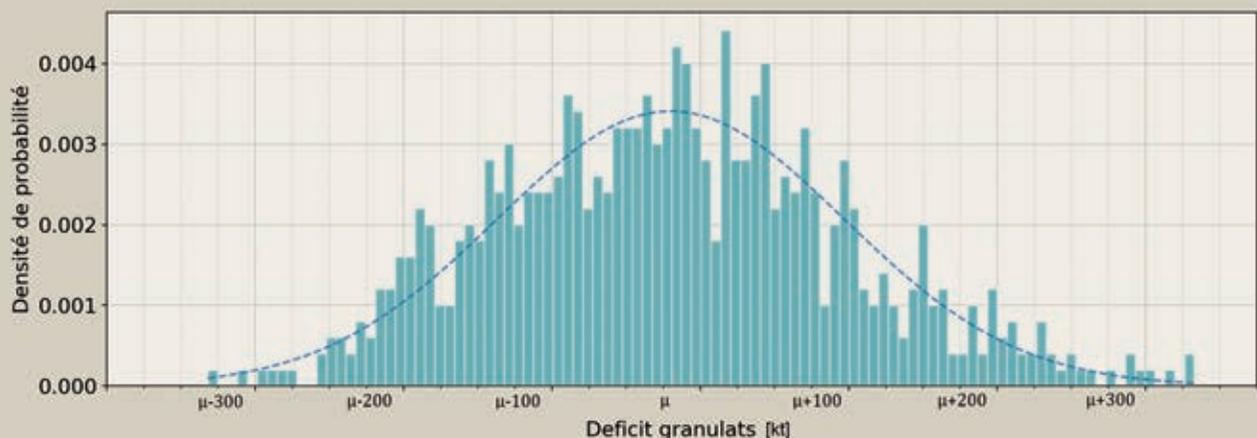
Au sein de cette simulation, tous les mois, de nouvelles valeurs aléatoires sont recalculées pour chaque front, concernant les vitesses d'excavation, de revêtement, le hors-profil, la quantité de granulats. Ces valeurs permettent alors de calculer une synthèse mensuelle, concernant la production de MATEX de chaque chantier du projet par classe de MATEX ainsi qu'un besoin en granulats selon les classes granulaires attendues.

MODÉLISATION DES FLUX LOGISTIQUES

Une fois que les flux en entrée et en sortie des descenderies, c'est à dire la production de MATEX et le besoin en matériaux élaborés, sont calculés aléatoirement, des règles sont instaurées en surface pour modéliser la gestion des flux d'un bout à l'autre de la chaîne logistique. Le but de cette gestion est de modéliser des scénarios GEME cohérents et réalistes tout en optimisant l'utilisation des matériaux en granulats et en remblais.

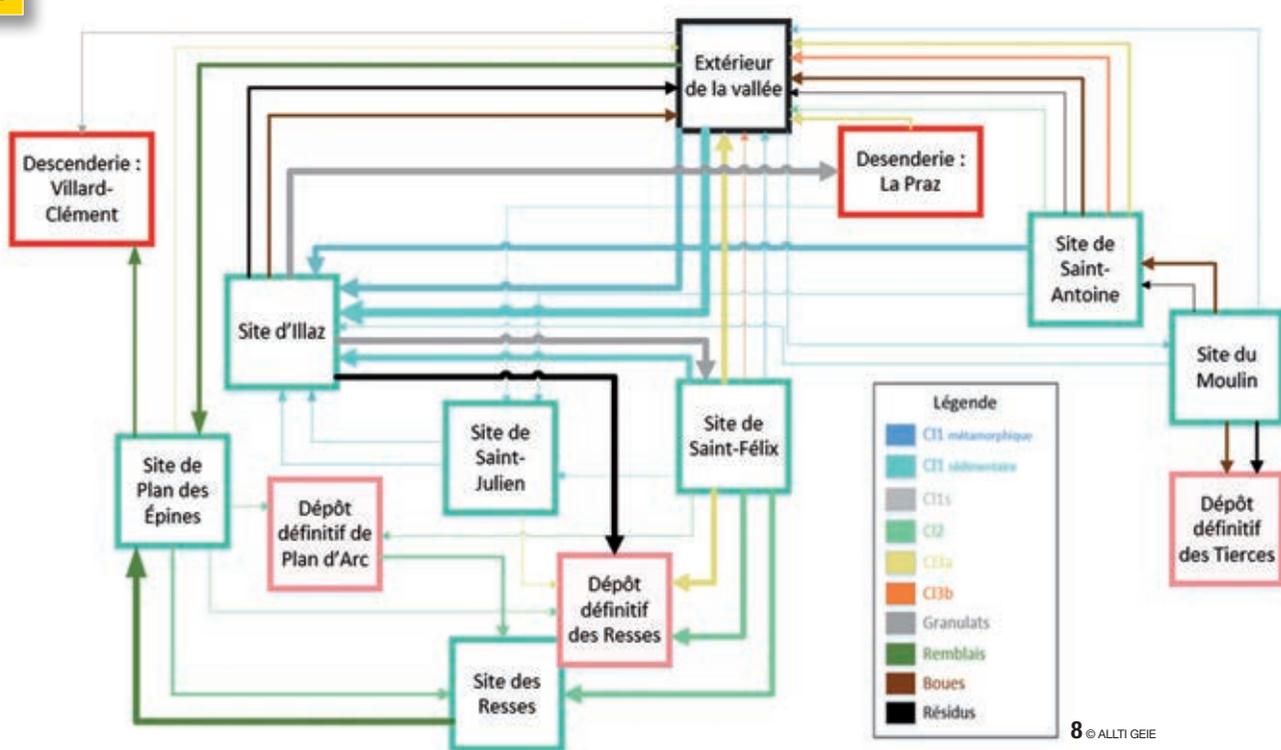
Une fois les MATEX récupérés en surface, ils peuvent être dirigés vers quatre types d'endroits (figure 5) : un site de transformation si le MATEX est de qualité suffisante, un site de dépôt provisoire (en attente de valorisation), ▷

REPRÉSENTATION DE LA LOI DU DÉFICIT EN GRANULATS SUR L'ENSEMBLE DES SIMULATIONS



© ALLTI GEE

7



8 © ALLTI GEIE

un site de dépôt définitif extérieur à la vallée (avec un transport en poids-lourds ou en train) ou enfin un site de dépôt définitif au sein de la vallée. Des règles de priorité sont alors mises en place pour savoir où doit se diriger un flux de MATEX selon sa nature, les états des stocks et les prévisions futures de besoin et production. Afin de vérifier la cohérence des flux et la véracité du modèle logistique mis en place, la conservation de la matière est vérifiée grâce à l'équation suivante :

$$Production + Déficit = \Delta Stock + \text{Évacuation} + \text{Besoin}$$

RÉSULTATS PRODUCTION ET BESOINS

La méthode utilisée (méthode de Monte-Carlo) consiste à simuler un grand nombre de scénarios élémentaires (N ~1000), issus de données d'entrée fixes, des règles prédéfinies, ainsi que des lois aléatoires introduites. Chacune des simulations va permettre d'obtenir des résultats différents concernant la production de MATEX, le besoin en matériaux élaborés, les déficits, la variation des stocks et les évacuations extérieures.

Les productions totales par classe de MATEX (tableau A) correspondent à la production totale du projet. Ces valeurs sont dépendantes de la géologie et du hors-profil uniquement. En revanche, à l'échelle d'un mois, la production mensuelle d'une classe de MATEX dépend également de la cadence d'excavation des différents fronts. Afin de représenter cette variabilité mensuelle, il est possible d'illustrer la production mensuelle moyenne, ainsi que des

enveloppes supérieures et inférieures, correspondant à une variation de deux écart-types autour de la moyenne (figure 6).

Les besoins totaux en granulats (tableau A) sont limités à une faible plage de variation autour de la valeur moyenne, le caractère aléatoire étant limité au hors-profil et aux faibles pertes. Cependant, de la même manière que pour les MATEX, le besoin mensuel peut fortement varier d'une simulation à l'autre à cause du caractère aléatoire des cadences d'avancement.

TRANSFORMATION DES MATEX

La transformation des MATEX en granulats et remblais s'effectue par les STM. Celles-ci doivent être dimensionnées afin de pouvoir produire mensuellement autant de matériaux que les valeurs extrêmes de la demande. De plus, si la disponibilité de MATEX adéquats n'est pas suffisante, alors le projet doit s'approvisionner hors de la vallée. La quantification de ce déficit en granulats permet de connaître la quantité de matériaux qu'il faut importer sur le chantier depuis des carrières extérieures. Cette quantification est présentée sous la forme d'une loi aléatoire dont les valeurs sont issues de toutes les simulations (figure 7).

TABLEAU A :
BESOIN EN GRANULATS ET PRODUCTION DE MATEX DU PROJET

| Type de matériaux | Moyenne | Écart-type |
|----------------------|---------|------------|
| Production MATEX C11 | 9499 kt | 177 kt |
| Production MATEX C12 | 6019 kt | 152 kt |
| Besoin en granulats | 8991 kt | 54 kt |

8- Représentation des flux de matériaux entre sites.

8- Representation of material flows between sites.

Le déficit peut ensuite être modélisé par une loi normale de moyenne μ dont les paramètres sont connus.

FLUX ET TRANSPORT

La modélisation des flux entre les différents sites (figure 8) intervenant dans la GEME permet d'anticiper les besoins concernant la capacité des bandes transporteuses, de quantifier le trafic supplémentaire sur les voiries empruntées par les poids-lourds, et de prévoir des stratégies pour la gestion du remplissage des stocks sur les sites de dépôts. Ces éléments donnent une vision globale de l'impact du chantier sur l'environnement, sur le territoire et sur la gestion des dépôts. L'introduction d'incertitudes permet de déterminer des scénarios extrêmes, pour lesquels le chantier doit être résilient. Les capacités d'évacuation par la route mais aussi depuis les installations

ferroviaires doivent toujours permettre d'évacuer les matériaux excédentaires, au risque de se retrouver avec des arrêts de chantier dus à une saturation des dépôts.

De même, les dépôts provisoires et définitifs ne sont pas toujours remplis à la même vitesse ni à la même fréquence selon le déroulement du chantier, et la mise en lumière des scénarios possibles, représentés par des lignes de couleurs différentes pour chaque scénario, permet d'anticiper le cycle de remplissage des stocks de matériaux (figure 9).

La vitesse doit pouvoir être anticipée avant la phase chantier pour prévoir un phasage adéquat de remplissage du dépôt ainsi que les moyens humains et matériels correspondants.

CONCLUSION

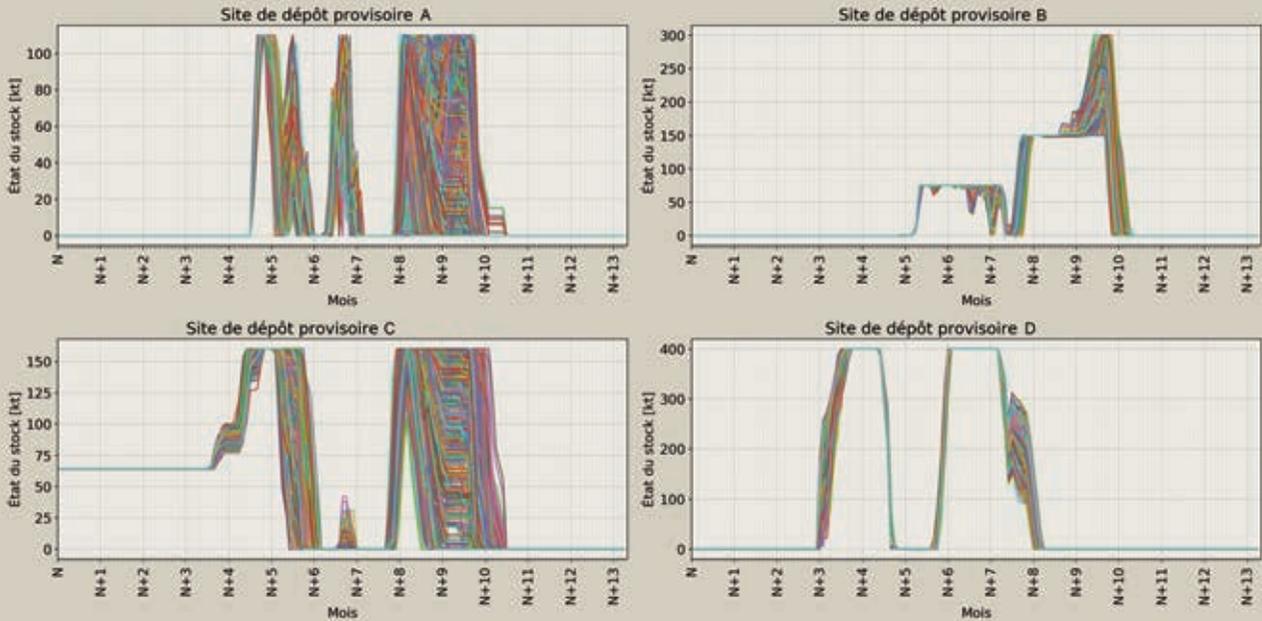
Le tunnel de base du Lyon-Turin est un exemple d'application de l'amélioration de la gestion des flux de matériaux au sein d'une opération de réalisation d'un tunnel de grande ampleur.

La GEME s'impose comme une solution désormais inévitable pour les grands chantiers souterrains.

La réalisation d'une modélisation détaillée de la GEME sur le chantier permet d'anticiper des scénarios extrêmes mais probables et de préparer en amont les solutions de résilience à mettre en place.

De plus, les résultats sur les paramètres influant fortement le bon déroulement de la GEME permettent de préciser les points d'attention en phase de chantier (caractérisation précise de la géologie notamment). Les intervalles de confiance obtenus

REPRÉSENTATION DES INCERTITUDES SUR LE REMPLISSAGE DES SITES DE DÉPÔT PROVISOIRE



© ALTI/GEIE

9

9- Représentation des incertitudes sur le remplissage des sites de dépôt provisoire.

9- Representation of uncertainties regarding the filling of temporary deposit sites.

sur certaines grandeurs caractéristiques (flux, déficit, transformation) ont permis quant à eux de réaliser des estimations techniques et économiques selon des scénarios plus ou moins optimistes ou pessimistes.

PRINCIPALES QUANTITÉS

QUANTITÉ DE MATÉRIAUX EXCAVÉS : 20 Mt
MATÉRIAUX EXCAVÉS VALORISABLES : 15 Mt
QUANTITÉ DE BÉTON NÉCESSAIRE : 5 Mm³
NOMBRE DE SITES LOGISTIQUES : 12

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE :
Tunnel Euralpin Lyon Turin TELT-SAS
MAÎTRE D'ŒUVRE :
Alti GEIE (Alliance Lyon Turin Ingénierie : Arcadis, Amberg, BG Ingénieurs-Conseils, Lombardi, Neosia)

À l'issue de ces modélisations, des mécanismes contractuels ont été mis en place afin de tenir compte des problématiques identifiées, et en particulier la nécessité de maximiser la valorisation des MATEX au sein du projet. La méthodologie et le code de calcul développés sont quant à eux applicables à tout projet générant des flux de matériaux, qu'il s'agisse de matériaux excavés ou de besoins en matériaux élaborés. □

GLOSSAIRE

GEME : gestion et emploi des matériaux excavés.
MATEX : matériaux excavés.
STM : station de traitement des matériaux excavés.

ABSTRACT

UNCERTAINTY MODELLING AND OPTIMISATION OF EXCAVATED MATERIAL MANAGEMENT ON THE MONT CENIS BASE TUNNEL

CÉLINE PAGNIER, BG INGÉNIEURS CONSEILS SAS

The Mont Cenis Base Tunnel is located in a severely constrained mountainous environment. *Uncertainty modelling, notably on the geology encountered and the work schedules of the various worksites, was carried out on the cross-cutting theme of an excavated materials management plan (EMMP) at the French end. The EMMP makes it possible to efficiently recycle excavated materials in order to meet the need for materials produced on this same project, from a circular economy perspective. The results of this probabilistic analysis made it possible to detect critical periods and anticipate solutions that are appropriate (sizing of logistic infrastructure) and resilient for the adverse scenarios based on this modelling.* □

MODELIZACIÓN DE LAS INCERTIDUMBRES Y OPTIMIZACIÓN DE LA GESTIÓN DE LOS MATERIALES EXCAVADOS EN EL TÚNEL DE BASE DEL MONT-CENIS

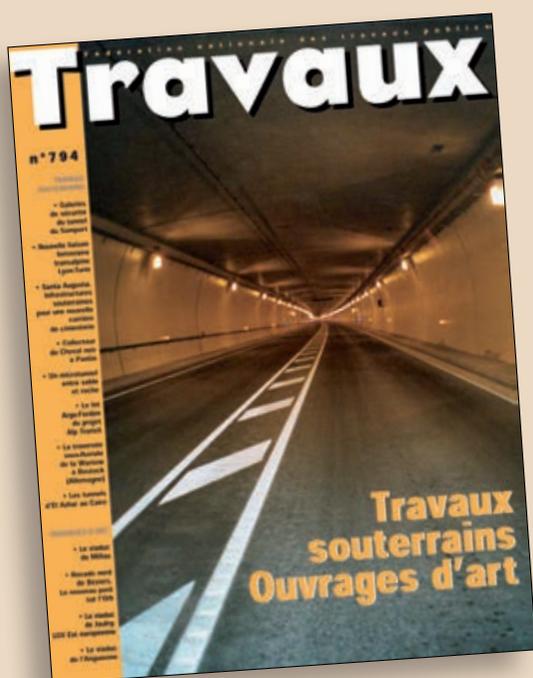
CÉLINE PAGNIER, BG INGÉNIEURS CONSEILS SAS

El túnel de base del Mont-Cenis está situado en un contexto montañoso fuertemente restringido. *Se ha llevado a cabo una modelización de las incertidumbres, en particular de las relativas a la geología hallada y las planificaciones de trabajo de las distintas obras, sobre la temática transversal de la gestión y el empleo de los materiales excavados (GEME) del lado francés. La GEME permite aprovechar eficazmente los materiales excavados para cubrir las necesidades de materiales elaborados en ese mismo proyecto, en una óptica de economía circular. Los resultados de este análisis probabilista han permitido identificar períodos críticos y prever soluciones adecuadas (dimensionamiento de infraestructuras logísticas) y resilientes para los escenarios desfavorables derivados de esta modelización.* □

TRÉSORS DE NOS ARCHIVES : LES TUNNELS D'EL AHZAR AU CAIRE

PAR JOËL PETIT, DIRECTEUR DE SECTEUR - SYLVESTRE GUILLIEN, DIRECTEUR DE PROJET - PIERRE GIRAUD, DIRECTEUR DE SITE, VINCI CONSTRUCTIONS GRANDS PROJETS - JEAN-PHILIPPE RENARD, DIRECTEUR DE ZONE, SOLETANCHE BACHY - BERNARD FALCONNAT, DIRECTEUR DÉPARTEMENT TRAVAUX SOUTERRAINS - JEAN-MICHEL CHARVIER, INGENIEUR DE SITE, SCETAURROUTE
TRAVAUX N°794 - NOVEMBRE 2003

RECHERCHE D'ARCHIVES PAR MICHEL MORGENTHALER



Fondée en 970 lors de la conquête du Caire par la dynastie califale chiite des Fatimides, la mosquée El Ahzar est associée à l'université du même nom, qui est la plus ancienne université islamique encore active au monde après la Qaraouine au Maroc et la Zitouna en Tunisie. Pour réduire le trafic saturé dans le quartier historique fatimide inscrit par l'Unesco, les autorités décident en 1988 d'établir une liaison souterraine. Le chantier de la Ligne 2 du métro du Caire venant de s'achever, la réutilisation de son tunnelier s'impose. Un contrat est signé le 5 avril 1998 avec le groupement Campenon Bernard SGE (Vinci Construction Grands Projets), pilote, Arab Contractors, Bouygues, Eiffage, Spie Travaux Publics et Soletanche Bachy, qui s'adjoindra le concours de Scetauroute pour la conception. Les outils sont disponibles, les méthodes sont rodées, les équipes se connaissent. Mais la plus récente carte du quartier date de 1912. Il faut trouver deux passages pour les tubes forés au tunnelier, en évitant un émissaire,

en maîtrisant les tassements, en limitant les expropriations pour les stations de ventilation. Le tracé est approfondi à 35 m. Le tunnel est foré sur 1 750 m, et comprend deux tranchées couvertes de 350 et 400 m aux extrémités. Sans modification depuis le métro, le tunnelier fore en Ø 9,4 m, dégagant un Ø intérieur de 8,5 m. Survient en mars 1999 la catastrophe du tunnel du Mont Blanc, qui impose le durcissement des mesures anti-incendie. La largeur de la chaussée étant réduite, une évacuation par la galerie sous chaussée est prévue avec un original système d'accès par toboggan Ø 80 cm. La nature du sol et les précautions qu'il a fallu prendre en raison du contexte urbain historique, ainsi que la survenue d'un renard hydraulique, ont nécessité d'importants travaux géotechniques : 138 000 m³ de parois moulées (jusqu'à 87 m de profondeur) avec l'Hydrofraise 8000 à contrôle de verticalité gyroscopique, 137 km de forages d'injection, 29 000 m³ de terrain injecté, 28 000 m³ de jet grouting. □

ABSTRACT

TREASURES FROM OUR ARCHIVES: THE EL AHZAR TUNNELS IN CAIRO

TRAVAUX No. 794 - NOVEMBER 2003

J. PETIT - S. GUILLIEN - P. GIRAUD - J. RENARD - B. FALCONNAT - J.M. CHARVIER

The El Ahzar mosque, founded in 970 when Cairo was conquered by the Shia dynasty of the Fatimid Caliphate, is associated with the university of the same name, which is the oldest Islamic university still functioning in the world, after Al Qaraouine in Morocco and Ez-Zitouna in Tunisia. To reduce traffic congestion in the historical Fatimid district recognised by the UNESCO, in 1988 the authorities decided to create an underpass. The works on Line 2 of the Cairo metro had just been completed, so its TBM had to be re-used. On 5 April 1998 a contract was signed with the consortium formed by Campenon Bernard SGE (Vinci Construction Grands Projets), the leader, Arab Contractors, Bouygues, Eiffage, Spie Travaux Publics and Soletanche Bachy, which would be assisted by Scetauroute for the design. The tools are available, the methods are tried and tested, and the personnel know one another. But the most recent map of the district dates from 1912. Two passageways have to be found for the tubes bored by TBM, avoiding an outfall sewer, controlling subsidence, and limiting expropriations for the ventilation stations. The alignment is deepened to 35 m. The tunnel is drilled over 1,750 m, and includes two cut-and-cover tunnels, 350 and 400 metres long, at either end. Without any change since working on the metro, the TBM bores to dia. 9.4 m, creating an inner dia. of 8.5 m. In March 1999 the Mont Blanc tunnel disaster occurred, requiring more stringent fire resistance measures. The width of the pavement being limited, evacuation by the gallery under the pavement is planned with an original system of access via a slide of dia. 80 cm. Given the nature of the soil and the precautions that had to be taken because of the historical urban environment, and due to the occurrence of internal erosion, major geotechnical works were required: 138,000 m³ of diaphragm walls (up to 87 metres deep) by Hydrofraise 8000 with gyroscopic verticality control, 137 km of injection drill holes, 29,000 m³ of injected ground, and 28,000 m³ of jet grouting. □

TESOROS DE NUESTROS ARCHIVOS: LOS TÚNELES DE EL AHZAR EN EL CAIRO

TRAVAUX N°794 - NOVIEMBRE DE 2003

J. PETIT - S. GUILLIEN - P. GIRAUD - J. RENARD - B. FALCONNAT - J.M. CHARVIER

Fundada en 970 durante la conquista de El Cairo por la dinastía califal chií de los Fatimies, la mezquita El Ahzar está asociada a la universidad homónima, la universidad islámica en actividad más antigua del mundo después de la Qaraouine en Marruecos y la Zitouna en Túnez. Para reducir el tráfico saturado en el barrio histórico fatimí catalogado por la Unesco, en 1988 las autoridades deciden crear un enlace subterráneo. Dado que acababan de finalizar las obras de la Línea 2 del metro de El Cairo, se impone reutilizar su tuneladora. El 5 de abril de 1998 se firma un contrato con el consorcio formado por Campenon Bernard SGE (Vinci Construction Grands Projets) como director de obra, Arab Contractors, Bouygues, Eiffage, Spie Travaux Publics y Soletanche Bachy, que a su vez incorpora a Scetauroute para el diseño. Las herramientas están disponibles, los métodos, probados, y los equipos se conocen. Pero el mapa más reciente del barrio data de 1912. Es preciso encontrar dos pasos para los tubos perforados por la tuneladora, evitando un emisario para el saneamiento, controlando los asentamientos y limitando las expropiaciones para las estaciones de ventilación. El trazado discurre a una profundidad de 35 m. El túnel se perfora a lo largo de 1750 m e incluye dos tramos cubiertos de 350 y 400 m en sus extremos. Sin modificaciones desde la obra del metro, la tuneladora perfora en Ø 9,4 m, liberando un Ø interior de 8,5 m. En marzo de 1999 se produce la catástrofe del Mont Blanc, que impone un endurecimiento de las medidas contra incendios. Dada la escasa anchura de la calzada, se prevé una evacuación por la galería bajo la calzada, con un original sistema de acceso por tobogán Ø 80 cm. La naturaleza del suelo y las precauciones que hubo que tomar debido al contexto urbano histórico, así como la aparición de un renard hidráulico, exigieron importantes obras geotécnicas: 138 000 m³ de pantalla de hormigón (hasta 87 m de profundidad) con la Hidrofresa 8000 con control giroscópico de verticalidad, 137 km de perforaciones de inyección, 29 000 m³ de terreno inyectado y 28 000 m³ de jet grouting. □

Les tunnels d'El Azhar

Une nouvelle génération de tunnels routiers

Pour réduire la circulation dans les rues du quartier de la mosquée El Azhar, et contribuer ainsi à valoriser les trésors architecturaux laissés par les Fatimides, les autorités égyptiennes décident en 1998 d'établir une liaison souterraine entre l'est du Caire et la place de l'Opéra.

Cet ouvrage est placé sous l'autorité de la NAT (National Authority for Tunnels), et le 5 avril 1998 un contrat de conception-construction est signé avec le consortium franco-égyptien conduit par Vinci Construction Grands Projets et Arab Contractors, pour la réalisation de ces tunnels routiers de 2,5 km de longueur.

Les particularités de l'ouvrage tiennent aux difficultés de son insertion dans le sous-sol du vieux Caire, aux mesures nouvelles prises pour la protection des usagers et des structures en cas d'incendie, et au délai record de 40 mois.

■ LA NAISSANCE DU PROJET

À l'Est du Caire, dans des quartiers de maisons entassées autour des monuments laissés par les Fatimides, les rues traversantes sont rares. La principale d'entre elles, qui passe devant la célèbre mosquée El Azhar, est en permanence saturée. Le trafic y est si dense qu'on a dressé en son milieu une grille pour empêcher les piétons de la traverser. C'est une véritable coupure pour ce quartier historique que l'Unesco a inscrit dans la liste des sites exceptionnels (photo 1).

Au début de 1998, les autorités égyptiennes décident d'affirmer leurs efforts de rénovation des sites anciens. La saturation du trafic, dans la rue El Azhar, ressort alors comme l'un des principaux obstacles à cette rénovation. L'autopont construit en 1980, n'a rien résolu, car il n'a pas été poursuivi assez loin vers l'Est. Seule la création d'une vraie voie de transit souterraine pourrait contribuer au rétablissement de l'unité de ce quartier.

Malgré une certaine contestation, l'idée prend alors rang, au Caire, parmi les projets d'importance nationale. La liaison souterraine ira de bout en bout, depuis Salah Salem Road jusqu'à la place de l'Opéra (figure 1). Elle comprendra deux tunnels unidirectionnels, réservés aux véhicules légers et minibus, avec un gabarit de 4 m autorisant le passage éventuel des bus. En revanche leur accès sera interdit aux camions. Le projet est aussitôt placé sous l'autorité de la NAT (National Authority for Tunnels, maître d'œuvre du métro). Les objectifs de délais inhabituels, ne laissent place qu'à une seule solution : utiliser le tunnelier qui vient d'achever le creusement de la ligne 2 du métro.



Photo 1
Trafic saturé sur cette artère séparée par une grille
Traffic congestion on this artery separated by a grating



Figure 1
Plan de repérage dans Le Caire
Map showing location in Cairo

Joël Petit
DIRECTEUR DE SECTEUR
Sylvestre Guillien
DIRECTEUR DE PROJET
Pierre Giraud
DIRECTEUR DE SITE
Vinci Construction Grands Projets

Jean-Philippe Renard
DIRECTEUR DE ZONE
Solétanche Bachy

Bernard Falconnat
DIRECTEUR DÉPARTEMENT TRAVAUX SOUTERRAINS

Jean-Michel Charvier
INGÉNIEUR DE SITE
Scetauroute



Figure 2
Plan du tracé du contrat
Layout plan of contract

LE LANCEMENT DU PROJET

Deux mois de négociations s'achèvent le 5 avril 1998 avec la signature d'un contrat avec le groupement du métro qui réunit sous le pilotage de Campenon Bernard SGE (Mivr CGP), Arab Contractors, Bouygues, Eiffage, Spie TP et Solétanche Bachy. La mise en vigueur prendra effet à la fin du mois de mai 98.

Les outils (tunnelier, ateliers de parois, engins) sont mobilisables. Les méthodes, les procédures sont rodées. Les équipes franco-égyptiennes se connaissent depuis quinze ans. Le chantier peut démarrer sans délai. Mais la construction doit attendre la conception qui part de la feuille blanche. Pour compléter ses capacités de conception le groupement associe la direction des travaux souterrains de Scauroute à son travail.

LA RECHERCHE DU TRACÉ ET DU PROFIL EN LONG

L'indispensable topographie d'un quartier inextricable

Il faut d'abord prendre la mesure de l'environnement. La première épreuve est pour l'équipe de topographie. La dernière carte de ce quartier date de 1912. Pour retrouver la configuration des rues et des bâtisses derrière les tentures des boutiques, pour apprécier les profondeurs des fondations environnantes, sur une zone de 125 hectares, une équipe de vingt ingénieurs et techniciens, abat en trois mois, plus souvent de nuit, un travail harassant.

La recherche du tracé final en trois étapes

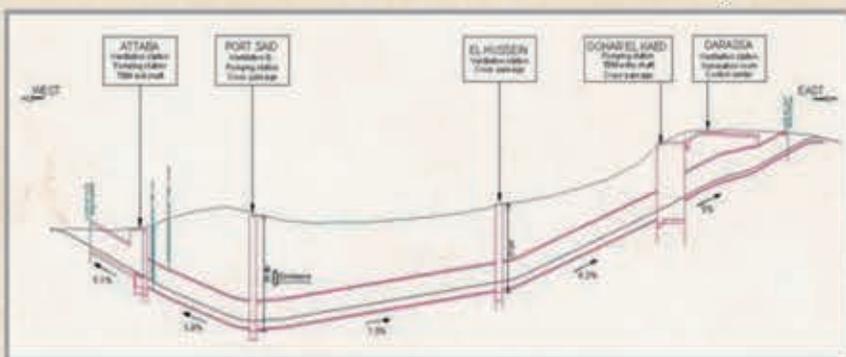
Sans attendre l'achèvement des levés, la recherche du tracé commence, guidée par l'observation des rues en surface (âge, état et hauteur des immeubles, réseaux apparents) pour trouver le passage du tunnelier. Le tracé initial, annexé au contrat, suivait celui des rues (figure 2). On espérait ainsi limiter les interférences avec les bâtiments voisins, réduire les expropriations et faciliter les communications avec la surface et les implantations des stations de ventilation. Mais les obstacles surgissent : les pieux de l'autopont le long de la rue El Azhar, l'égout sous la rue Moski, l'étranglement des espaces pour les stations. Pour les éviter la décision est prise de passer sous la vieille ville, dont les fondations ne sont pas profondes. Restait l'indispensable station intermédiaire.

Le tracé final (figure 3) prend sa forme définitive fin juillet 1998, avec la décision des autorités de placer les stations de ventilation sur des parcelles publiques pour éviter les tracés de l'expropriation : la première sur le square situé à côté de la mosquée



Figure 3
Plan du tracé avec stations de ventilation dédoublées
Layout plan with doubled ventilation stations

Figure 4
Profil en long
Longitudinal section



El Azhar, la seconde rue Port Said, sur l'espace d'une école transférée.

Le profil en long est étroitement lié à ces choix (figure 4). Passer sous la vieille ville implique une réelle maîtrise des tassements. Il ne peut être question d'accepter des désordres dans ce quartier marchand et touristique. Les profils sont donc approfondis, avec un point bas à 35 m sous terre, pour passer sous l'émissaire de la rue Port Said. La partie centrale est relativement plane, les pentes aux extrémités atteignent 5 %.

En juillet 1998, deux mois seulement se sont écoulés pour connaître les lignes directrices du projet final : une partie forée de 1750 m est encadrée par deux sections en tranchée couverte, de 400 m côté Salah Salem et de 350 m côté Attaba.

LES FONCTIONS DES OUVRAGES

La partition des espaces dans les tunnels

Sections forées au tunnelier

Les dimensions de la section transversale des tunnels de El Azhar résultent d'abord de l'utilisation sans modifications du tunnelier du métro. La tête de coupe a un diamètre de 9,4 m et dégage un diamètre intérieur de 8,5 m. Cette géométrie libère un gabarit vertical appréciable de 4,00 m mais limite la largeur des voies à 3 m. Partant du principe d'une ventilation longitudinale la coupe type prend forme et se compose de (figure 5) :

- ◆ l'espace trafic, avec une chaussée unidirectionnelle de deux voies de 3 m, bordée de deux trottoirs (1,15 m à droite, 0,75 m à gauche), déversée vers la gauche. Les eaux et polluants accidentels sont captés par un caniveau à fente continu avec des regards siphonides empêchant la propagation éventuelle d'un feu d'hydrocarbure ;
- ◆ l'espace supérieur, réservé à la ventilation/éclairage, avec les accélérateurs et les luminaires ;
- ◆ l'espace technique en partie inférieure, qui correspond à la galerie sous chaussée. On verra plus loin que cette galerie (2,2 m x 2 m), sert aussi à évacuer les usagers en cas d'urgence.

Sections creusées en tranchées

Le dessin de ces sections résulte de l'extension, dans les tranchées, des dimensions retenues pour la section forée. Les trottoirs sont élargis dans les courbes d'entrée et de sortie pour la visibilité. La chaussée est fondée sur un remblai de 0,8 m recouvrant le radier de la tranchée.

Les ouvrages annexes

Un centre de contrôle et cinq stations de ventilation, tous enterrés, se succèdent le long du par-

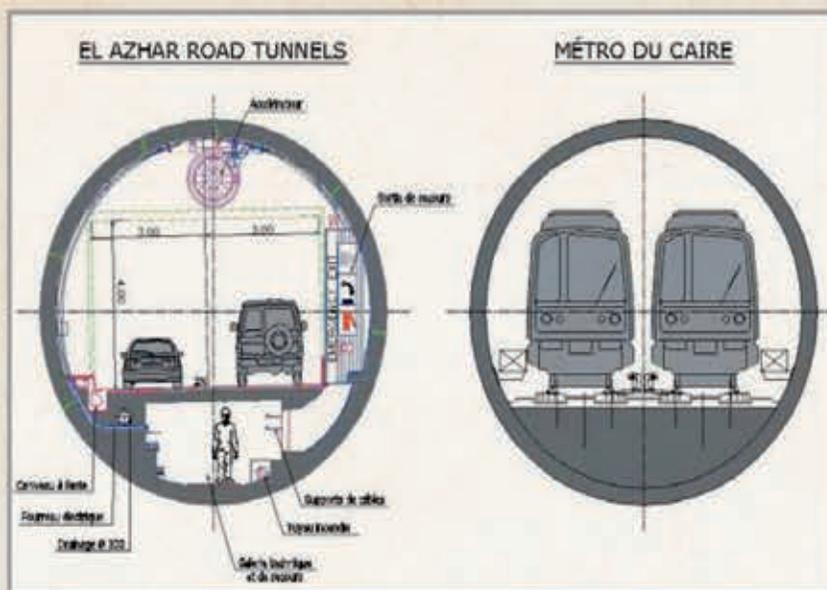


Figure 5
Coupe type avec, à droite, la coupe du métro
Typical cross section with, on the right, the cross section of the underground railway

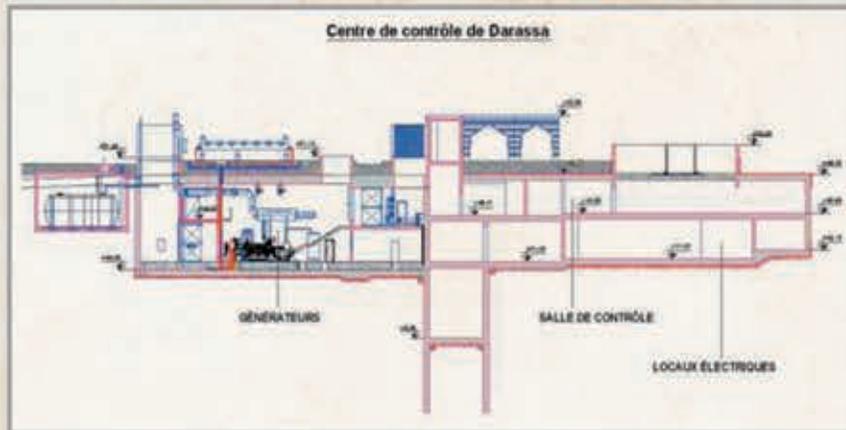
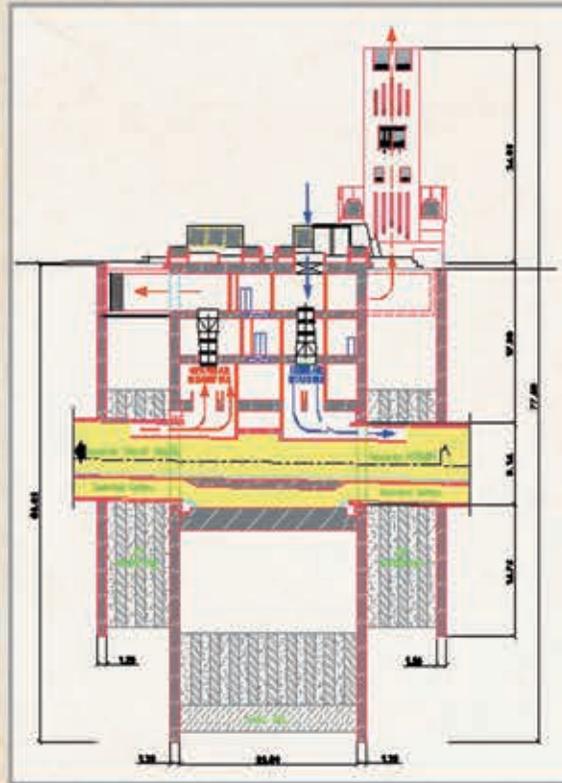


Figure 6
Coupe longitudinale avec générateurs et aérorefrigerants
Longitudinal section with generators and air coolers

cours. Ces volumes rectangulaires ont été créés à l'intérieur d'enceintes en parois moulées. On trouve d'est en ouest :

- ◆ le centre de contrôle de Darassa : deux niveaux, de 25 x 70 m en plan, de 10 m de profondeur, cernés de parois moulées de 0,80 m d'épaisseur et de 20 m de profondeur. Ils regroupent le centre de contrôle, les locaux électriques principaux, la salle des générateurs de secours, une station de désenfumage et un puits d'accès aux issues de secours (figure 6) ;
- ◆ l'espace souterrain affecté à la maintenance : aménagé dans les puits de démarrage du tunnelier sous la rue Gohar El Kaed, avec deux salles jumelées de 15 x 93 m. Les parois moulées des enceintes ont 1,0 m d'épaisseur et 35 m de profondeur ;
- ◆ la station de ventilation de El Hussein : deux volumes jumelés rectangulaires mesurant en plan 18 m x 24 m, excavés entre des parois moulées

Figure 7
Coupe verticale
de El Hussein
avec ventilateurs
et traitement de sols
*Vertical cross section
of El Hussein with fans
and ground surfacing*



du Caire, l'implantation et la forme des structures nécessaires aux prises d'air frais et aux rejets d'air vicié ont été discutées pendant un an entre les plus hautes instances politiques. La solution choisie, sur la base des propositions de l'architecte égyptien Gamal Bakry, place la haute tour de rejet dans un angle de la place, et les grilles de prise d'air frais au milieu d'un espace revêtu de granite (photo 2) ;

◆ la station de ventilation de Port Said : deux enceintes jumelées rectangulaires, semblables en plan à celles de la station El Hussein, mais plus profondes (35 m), avec cinq niveaux excavés à l'intérieur de parois moulées de 1,5 m d'épaisseur et d'une profondeur exceptionnelle de 90 m. Cette station, située au point bas, est jumelée avec une station de stockage et de relevage des eaux de ruissellement ou des déversements accidentels pollués dans le tunnel (figure 8).

A Port Said, le contexte architectural est très différent. La station apparaît comme un ouvrage original, dans un quartier aux façades ingrates. Conçue comme un ensemble d'arches, avec une place centrale, entourée d'un jardin, son dessin est l'œuvre de Charles Lavigne (photo 3) ;

◆ le puits de sortie du tunnelier à Attaba : pour sortir les éléments du tunnelier, deux chambres distinctes, de 16 m de profondeur, mesurant en plan environ 60 m x 15 m, étaient nécessaires. Elles ont été creusées à l'intérieur de parois moulées de 1,00 m d'épaisseur et de 35 m de profondeur. Une station de désenfumage, une station de ventilation annexe, une station de relevage des eaux et un local de climatisation y ont ensuite trouvé place.

■ LES DISPOSITIONS PRISES POUR LA SÉCURITÉ EN CAS D'INCENDIE

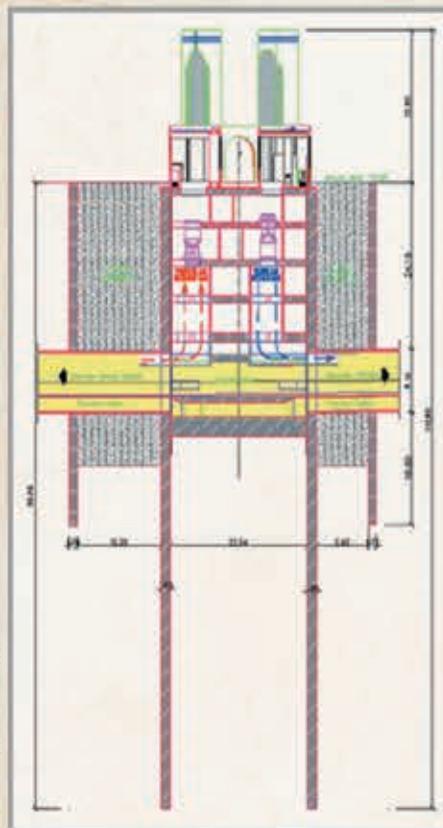
En 1998, les textes en matière de sécurité sont en pleine évolution. La conception de l'ouvrage est lancée sur la base des recommandations (PIARC) et directives existantes, pour des ouvrages réservés aux véhicules légers. Mais l'analyse montre que l'interdiction des tunnels aux véhicules lourds n'est pas aisée à mettre en œuvre. Pour les autorités égyptiennes, le risque d'incendie doit être mesuré en tenant compte de l'intrusion possible d'un véhicule dangereux. Dès lors, les hypothèses deviennent celles d'un incendie de 100 MW, avec une courbe d'élevation de la température liée à un feu d'hydrocarbures (courbe RWS).

Tandis que le projet avance, survient en mars 1999 la catastrophe du Mont-Blanc. Les tragédies européennes, poussent alors les concepteurs à redoubler de prudence. Le projet va ainsi subir des adaptations successives avec le souci permanent de créer un outil de transport aussi sûr que possible.



Photo 2
La place El Hussein
avec la cheminée à droite
*El Hussein square
with the chimney on the right*

Figure 8
Coupe verticale
de Port Said
avec ventilateurs
et traitement des sols
*Vertical cross section
of Port Said with fans
and ground surfacing*



de 1,2 m d'épaisseur et de 55 m de profondeur. Chaque station comporte quatre niveaux qui se répartissent sur une profondeur de 27 m (figure 7) ; Les choix architecturaux de la partie émergente de cette station auront été l'objet d'âpres discussions. Entre les deux mosquées les plus fréquentées.

La protection des structures contre l'incendie

Les tunnels de El Azhar sont creusés dans des sables et des argiles, baignés par la nappe phréatique. Le cas extrême d'un incendie de 100 MW, avec des températures de plus de 1000 °C pendant deux heures, conduirait à la ruine des voussoirs préfabriqués de 0,4 m d'épaisseur. Les conséquences d'un effondrement, même localisé, du revêtement seraient dramatiques.

Il a donc été décidé de protéger les voussoirs par la projection, sur un treillis ancré dans la voûte, d'une couche de mortier, à base d'aluminates avec des inclusions de fines particules de bois (produit FB135 mis au point par Thermal Ceramics). La capacité de protection contre l'échauffement, vérifiée par des essais effectués dans un laboratoire en Norvège, est remarquable. Exposée pendant deux heures à une température de 1350 °C, une couche de 5 cm seulement limite à 200 °C l'élévation de température à la surface des voussoirs. Cette application est sans doute une première mondiale.

La sécurité des usagers

Les drames récents ont souligné l'importance de la rapidité d'évacuation dans un espace saturé par les fumées. Le risque d'asphyxie hante les esprits. Les recommandations mettent donc l'accent sur la réduction des espacements des issues et sur la création d'un itinéraire de secours protégé.

La solution des toboggans associés à la galerie sous chaussée

Dans la partie forée, la galerie technique sous chaussée (2 m de hauteur - 2,2 m de largeur) peut être cet itinéraire. Ses liaisons avec l'espace trafic, doivent s'insérer dans la largeur du trottoir de droite (1,15 m), avoir un débit d'évacuation suffisant en cas d'urgence, et une configuration incitant les usagers à ne s'en servir que dans les cas exceptionnels. Les toboggans donnent la réponse (figure 9). Les issues de secours et les toboggans sont le maillon final d'un système de secours complet pour :

- ◆ les pannes fréquentes, avec création de garages temporaires près des bornes d'appel d'urgence;
- ◆ les évacuations d'urgence, avec un itinéraire jusqu'à la surface sans l'assistance de secours;
- ◆ l'arrivée des secours avec les accès depuis la galerie technique près des accidents ou incendies. L'espacement des issues résulte d'une enquête sur le taux d'occupation des véhicules du Caire (de l'ordre de deux par véhicule), d'où découle le nombre d'usagers dans le tunnel saturé : environ 60 personnes/100 m. Pour évacuer tous les usagers dans les six premières minutes après le début de l'incendie (durée pendant laquelle la stratification des fumées et la propagation de la chaleur restent maîtrisables par les outils de la ventilation), avec

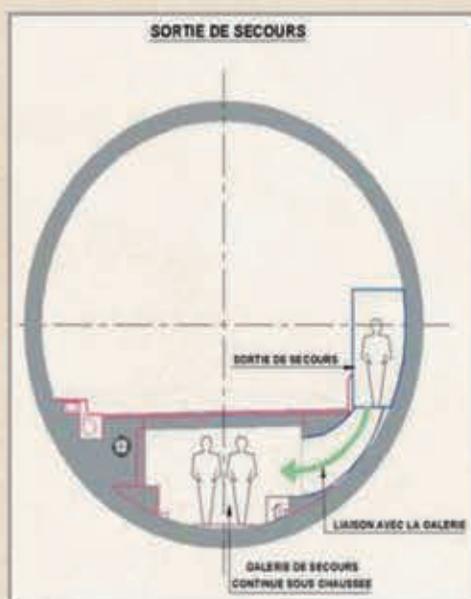


Figure 9
Coupe transversale au droit du toboggan avec fleche et usager dans la galerie

Cross section at the level of the chute with arrow and user in the gallery



Photo 4
La cabine du toboggan
The chute cabin

une capacité des toboggans de 10 pers./minute (testée sur site), il est apparu adapté d'aménager une issue de secours tous les 100 m.

La création d'un système complet pour les secours

Autour des toboggans sont regroupés tous les éléments qui contribuent à la sécurité des usagers depuis le cas courant de la panne jusqu'à celui de l'évacuation d'urgence. On trouve ainsi d'amont en aval (photo 4) :

- ◆ un demi-garage latéral obtenu par abaissement localisé du trottoir de droite;
- ◆ un bloc de protection en béton servant de support aux panneaux de signalisation;
- ◆ une niche de téléphone derrière le bloc de protection;
- ◆ un espace intermédiaire formant refuge pour les usagers, avec les armoires des extincteurs;
- ◆ un abri fermé avec une porte coupe-feu vers le toboggan, revêtu du matériau (FB 135);
- ◆ un toboggan de 80 cm de diamètre, en acier inoxydable, conduisant à la galerie technique;
- ◆ un accès, tous les 200 m, pour les équipes de



Photo 3
Port Said et les cactus
Port Said and cactuses

Figure 10
Coupe transversale
au droit de l'accès
des secours,
avec flèche

Cross section
at the emergency
access level,
with arrow

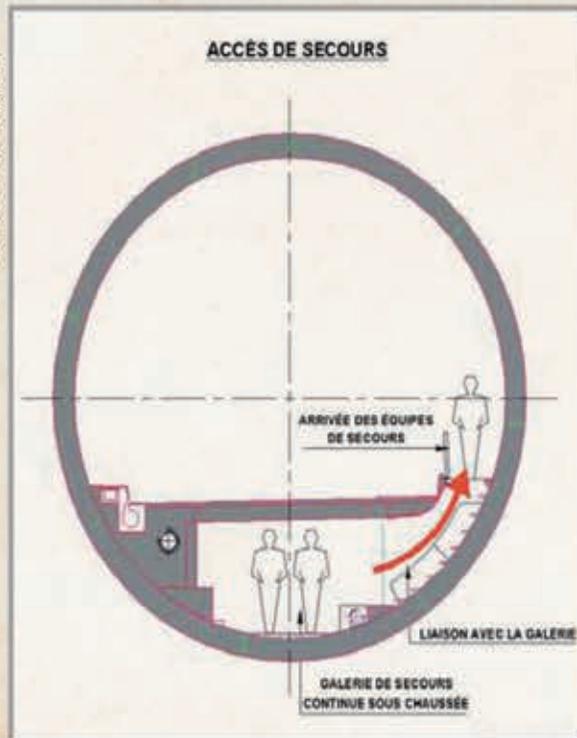


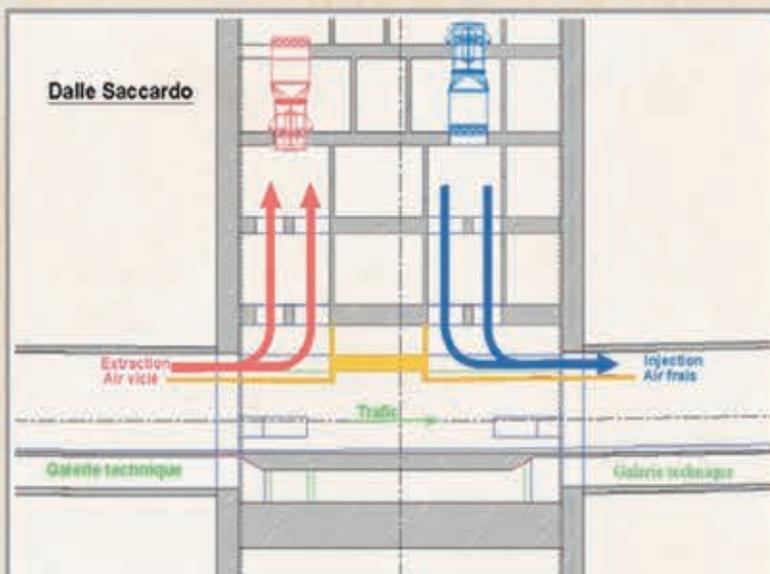
Photo 5
La galerie
avec débouché
du toboggan

The gallery
with chute outlet



Figure 11
Schéma
du Saccardo donné
dans les notices
de ventilation

Diagram
of the Saccardo
system given
in the ventilation
manuals



secours remontant vers l'espace trafic et s'approchant au plus près du lieu de l'accident ou de l'incendie (figure 10).

◆ une borne incendie, un rouleau souple de raccord de lance.

La galerie de secours sous chaussée est éclairée, sonorisée, surveillée par caméras et en surpression pour ne pas être enfumée. Elle rejoint les itinéraires d'évacuation au droit de chacune des stations (photo 5).

Une signalétique a été mise en place, une campagne d'information a été organisée par le canal de la télévision, pour les futurs usagers des tunnels de El Azhar. Car ce sont les réactions du public durant les premières minutes, voire les premières secondes, qui seront vitales.

LES ÉQUIPEMENTS D'EXPLOITATION ET DE SÉCURITÉ

L'équipement des tunnels doit satisfaire les besoins d'une circulation dense, pouvant atteindre en pointe 60 000 véhicules/jour (deux sens cumulés) avec des pannes fréquentes.

Ventilation des tunnels

Elle est une des originalités du projet. Le système combine les principes de ventilation type Saccardo avec des accélérateurs aux extrémités des tunnels. Il consiste, à partir des stations de ventilation espacées de 800 m, à extraire et insuffler les volumes d'air nécessaires pour satisfaire les exigences sanitaires. Les débits d'extraction et d'insufflation contribuent à créer un mouvement longitudinal de l'air dans le tunnel. Les accélérateurs aux extrémités renforcent cette capacité. La gestion normale se fait de manière automatique en fonction des mesures des opacimètres et détecteurs CO (figure 11).

Dans le cas du désenfumage, les ventilateurs d'extraction et ceux d'insufflation en position inversée peuvent voir leurs actions se combiner avec celles des accélérateurs, de manière à maintenir une stratification des fumées pendant le temps d'évacuation. Après cette phase, le système procède au désenfumage massif par poussée longitudinale d'air frais.

Cette ventilation mobilise :

- ◆ dans chaque station intermédiaire, 12 ventilateurs de 200 kW, débit unitaire égal à 100 m³/s ;
- ◆ dans chaque station d'extrémité, deux ventilateurs 75 kW, débit unitaire égal à 75 m³/s ;
- ◆ dans les tunnels eux-mêmes, 13 accélérateurs au nord, 12 accélérateurs au sud, de 45 kW.

Une ventilation auxiliaire crée une légère surpression dans la galerie technique pour la protéger de toute intrusion d'air enfumé.

Equipements de gestion du trafic et d'appel de secours

Ils comprennent :

- ◆ le réseau d'appel d'urgence (RAU) avec des bornes d'appel proches des issues tous les 100 m ;
- ◆ le réseau téléphonique de service et radio en liaison avec la police, et les pompiers ;
- ◆ le contrôle d'accès aux entrées des tunnels par les policiers et contrôles de gabarit par détecteurs ;
- ◆ les signaux d'affectation de voies ;
- ◆ les panneaux lumineux sur les blocs de sécurité, renforcés par des flashes en cas d'urgence ;
- ◆ les installations de comptage des véhicules.

Surveillance des tunnels

Dans l'espace trafic 71 caméras de télévision couvrent la totalité des deux itinéraires.

Au poste de contrôle les images sont affichées de manière cyclique sur les 14 moniteurs.

Dans la galerie technique 35 caméras permettent de surveiller les mouvements de personnel.

Lutte contre l'incendie

Les dispositifs suivants ont été installés :

- ◆ un câble en tunnel (1 détecteur/4 m) et un câble dans la galerie (1 détecteur/8 m) ;
- ◆ des détecteurs classiques dans les locaux des stations ;
- ◆ dans les tunnels 80 bornes d'incendie (tous les 50 m), avec des rouleaux de tuyaux souples ;
- ◆ à proximité des bouches d'incendie et des refuges téléphone, des extincteurs.

Energie et éclairage

Ces postes comportent :

- ◆ 4 branchements sur le réseau urbain et une source de secours (quatre groupes de 2 MW) ;
- ◆ un éclairage apporté par une file d'appareils 70 W sodium HP, renforcé aux extrémités ;
- ◆ un balisage constitué d'une file de spots placés le long de la voie de gauche.

Climatisation des locaux techniques

Les stations souterraines sont équipées d'un système de climatisation composé pour chacune de deux compresseurs de 200 kVA extérieurs pour limiter la température maximale à 35 °C afin de ne pas troubler, par échauffement excessif, le bon fonctionnement des équipements.

Collecte des eaux

Les tunnels comportent trois stations principales de collecte des eaux de chaussée et d'infiltration.

| Nature des travaux | U | Tunnels forés | Puits (entrée sortie) TBM | Stations de ventilation intermédiaires | Sections en tranchées | Quantités totales |
|-----------------------------|----|---------------|---------------------------|--|-----------------------|-------------------|
| Tube Nord | ML | 1697 | 92 + 64 | 22 + 22 | 488 + 268 | 2653 |
| Tube Sud | ML | 1696 | 93 + 59 | 22 + 22 | 511 + 245 | 2648 |
| Parois moulées | M2 | | 28000 | 41800 | 42500 | 112300 |
| Parois moulées, béton | M3 | | 31000 | 51000 | 30000 | 112000 |
| Panneaux de blocs BI/BO | M3 | | | 30800 | | 30800 |
| Injections, forages | ML | | 50200 | 56500 | 30500 | 137200 |
| Injections, volumes | M3 | | 22600 | 25000 | 9500 | 57100 |
| Excavations | M3 | 223400 | 73400 | 110500 | 146400 | 553700 |
| Béton préfabriqué | M3 | 37400 | | | | 37400 |
| Béton in situ (hors parois) | M3 | 8850 | 11300 | 26550 | 25000 | 71700 |
| Armatures | T | 1300 | 4000 | 6000 | 5200 | 16500 |
| Protection au feu F135 | M2 | 55130 | | 850 | | 55980 |
| Caniveaux de drainage | ML | 6750 | 280 | 250 | 2720 | 10000 |
| Caniveaux techniques | ML | 5100 | 340 | 240 | 3700 | 9380 |
| Chaussées | M2 | 20360 | 2100 | 620 | 9100 | 32200 |

Tableau I
Les principales quantités
Mains quantities

En cas d'accident, les effluents pollués sont stockés dans des réservoirs tampons ventilés.

Gestion technique centralisée (GTC ou Scada) et centre de contrôle

Le centre de contrôle est équipé d'une GTC conçue de manière à :

- ◆ déclencher automatiquement les modes opératoires normaux ;
- ◆ autoriser l'intervention des opérateurs pour faire face à des cas particuliers ou de maintenance ;
- ◆ reporter la quasi-totalité des défauts pouvant survenir, et donner une vision synthétique des systèmes en cours de fonctionnement.

L'ensemble de ces objectifs implique un système traitant les informations émises par 9 000 points.

LA CONSTRUCTION

Les travaux de parois et d'injections

Ces travaux ont mis en œuvre environ 138 000 m³ de parois moulées, 137 km de forages pour l'injection de 29 000 m³ de terrains, 28 000 m³ de jet grouting. Le premier chantier à organiser est celui des parois. Sa mobilisation se fait dès le mois de juin 1998, tandis que le projet cherche encore sa voie. Les difficultés rencontrées pour les injections de la station de El Hussein, vont conduire à réviser, en cours de travaux et de manière fondamentale, les options d'origine.

Les enceintes des stations de ventilation

Les enceintes sont des doubles boîtes, de 35 m x 24 m, séparées par une paroi moulée commune. Leur profondeur varie de 30 m (station de El Hussein) à 37 m (station de Port Said). Les structures

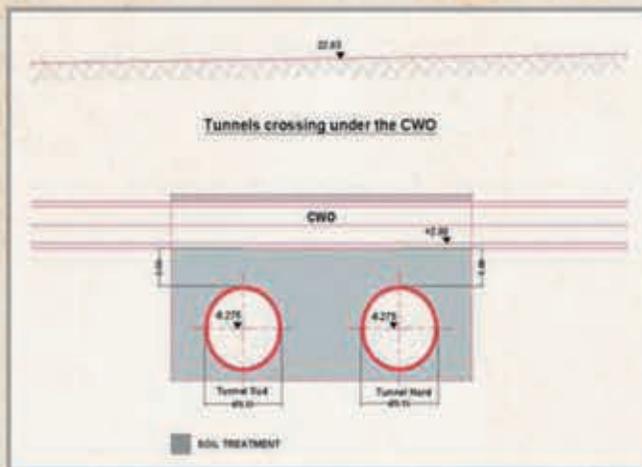
Photo 6
Les ateliers d'injection
à El Hussein
*Injection equipment
at El Hussein*



Photo 7
L'hydrofraise
à Port Said
en action
*The hydro-cutter
in action
at Port Said*



Figure 12
Coupe au droit
du traitement
de terrain du CWO
*Cross section
at the CWO
ground surfacing level*



► sont réalisées par la technique classique de bétonnage des planchers en descendant, au fur et à mesure des terrassements, avec plusieurs lits de butons provisoires dans les niveaux inférieurs, enlevés avant passage du tunnelier. Les profondeurs et charges d'eau très importantes (25 m à El Hussein, 35 m à Port Said) expliquent les épaisseurs de 1,2 et 1,5 m des parois moulées, qui constituent les soutènements permanents de ces structures exceptionnellement sollicitées. En fond de fouille la solution classique consiste en des massifs profonds injectés, pour assurer l'équilibre des sous-pressions. Les sondages ayant révélé des couches d'argiles profondes, la décision

fut prise, en cours de travaux, d'un audacieux changement du parti technique, consistant à supprimer les radiers injectés et à les remplacer par les dispositions suivantes :

- ◆ pour la station El Hussein, les parois déjà exécutées sont prolongées par une jupe injectée (combinaison de colonnes de jet grouting et d'injections) entre les profondeurs 56 m et 67 m ;

- ◆ pour la station Port Said, la paroi moulée est descendue jusqu'à 87 m de profondeur, pour recouper une série verticale d'alternances sablo-argileuses. Seule une hydrofraise 8000, équipée d'un système de contrôle de verticalité assisté par gyroscope, était capable d'assurer une telle prestation (en particulier pour mordre le béton des panneaux avec une précision < 0,5 % à 90 m de profondeur).

La conception des entrées-sorties du tunnelier dans les stations est héritée des projets du métro. L'expérience a montré que la maîtrise des problèmes hydrauliques, dans les sables du Caire, passe par la dissociation de la fonction de consolidation de celle d'étanchéité. Les principes de base utilisés sont les suivants :

- ◆ exécution d'une enceinte périphérique, constituée d'une paroi au coulis ou en béton plastique ;
- ◆ exécution d'un massif résistant (environ 3 MPa) à l'intérieur de cette boîte étanche que le tunnelier traversera. Ce massif est réalisé soit en jet grouting comme à El Hussein (photo 6), soit au moyen d'un bloc de béton plastique constitué de parois jointives comme à Port Said.

Ces choix ont impliqué la mobilisation d'un outillage exceptionnel confiné sur des sites exigus (photo 7).

La consolidation des terrains sous les ouvrages proches

Plusieurs structures sensibles voisines des itinéraires du tunnelier devaient être protégées :

- ◆ passage sous le collecteur de Port Said : une garde de 4 m ne suffisait pas à garantir un tassement maximum de 10 mm sous ce collecteur très important (5 m de diamètre). La solution choisie, pour la consolidation du sol, est un coulis à base de micro-ciment Microsol, présentant des caractéristiques granulométriques compatibles avec celles des sables rencontrés à la profondeur du projet (figure 12) ;

- ◆ puits de sortie et passage le long du collecteur sous la place d'Attaba : sur ce site, les obstacles se sont conjugués mobilisant une multitude de solutions différentes. Sous l'autopont, un outil spécial a été fabriqué. Sur la place, vingt phases ont été nécessaires pour les basculements de réseaux ou de circulation. En bordure du projet un collecteur à 15 m de profondeur longe la paroi à moins d'un mètre de distance (injections de Microsol). Ailleurs ce sont les panneaux à exécuter au ras des fondations des piles de l'autopont en service (ren-

forts des fondations des piles par des colonnes de jet grouting).

Le creusement du tunnel foré

Les tunnels ont été forés avec un tunnelier Herrenknecht à pression de confinement de boue bentonitique. Cet outil avait été fabriqué pour la construction de la ligne 2 du métro.

Le parcours du tunnelier, pour le tube nord, sera jalonné de multiples événements dont les plus marquants sont rappelés ci-après. Ils témoignent de l'imbrication extrême d'un ensemble de tâches, toutes critiques :

- ◆ janvier à mars 1999, creusement des 450 premiers mètres (photo 8) :
- ◆ mars à mai 1999, suspension du creusement, car la station de El Hussein ne peut accueillir le TBM à cause du retard lié aux difficultés d'injection rencontrées. Une paroi est exécutée face au TBM. La roue de coupe peut ainsi venir s'y bloquer et la pression redescendre ;
- ◆ juillet, bon avancement entre les stations de El Hussein et Port Saïd ;
- ◆ août, nouvel arrêt sous le collecteur de la rue Port Saïd, car la roue de coupe a souffert en entrant dans le massif de consolidation exécuté autour de l'émissaire. Des rognons très durs ont été enclavés et ont usé la roue comme une râpe ;
- ◆ fin août, après ce passage difficile, le TBM entre dans le massif du break-out de la station de Port Saïd. On y achève la réparation de la roue, grâce à un puits creusé dans ce massif ;
- ◆ la traversée de la station de Port Saïd elle-même se fait "en aveugle", car les planchers des différents niveaux n'ont pu être achevés avant l'arrivée du tunnelier ;
- ◆ le mois de septembre 1999 verra l'achèvement du creusement du tunnel nord, avec une très bonne cadence en fin de parcours d'environ 16 m/jour. Les opérations de transfert du TBM pour le creusement du tunnel sud, rendues difficiles par le contexte urbain de la place d'Attaba, dureront ensuite pratiquement quatre mois (photo 9). Le creusement recommence en janvier 2000, un an après le début de celui du nord. Le parcours est plus régulier, car excavations et planchers dans les stations sont terminés :
- ◆ en un mois le TBM atteint la station El Hussein, qu'il traverse à la mi-février 2000 ;
- ◆ deux mois plus tard il arrive à la station Port Saïd. Là, une difficulté majeure survient. Malgré les précautions prises au moment de l'entrée du TBM dans la station, l'eau sous pression réussit à trouver un cheminement et entraîne un volume de matériaux de plus de 100 m³. Deux jours plus tard cet incident remontera à la surface, et se traduira par un fontis important ;
- ◆ le TBM repart à la mi-mai pour achever le creusement à la fin du même mois.



Photo 8
Roue de coupe à Darassa
Cutting wheel at Darassa



Photo 9
Les grues à Attaba
The cranes at Attaba

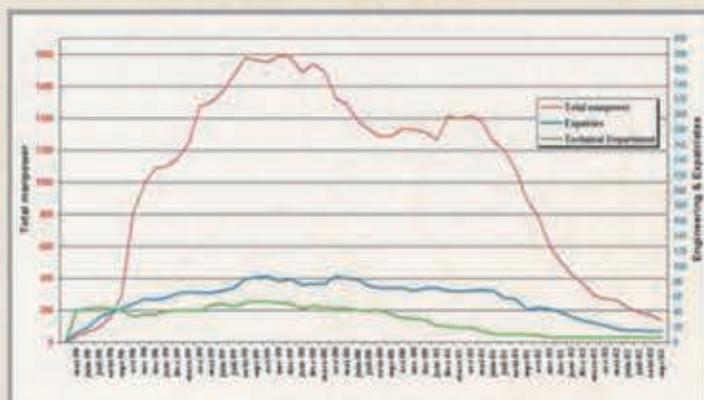


Figure 13
Evolution des effectifs
Workforce evolution

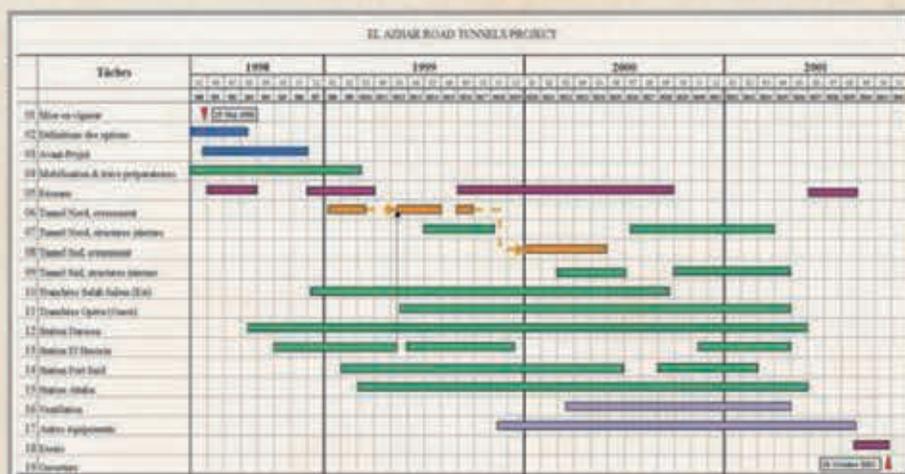


Figure 14
Planning des travaux
Work schedule

Les moyens

La courbe jointe donne l'évolution des effectifs pendant la durée du chantier (figure 13).

Les étapes d'une course de vitesse

Le projet avait été lancé avec l'intention d'ouvrir le tunnel nord en 2000, un an avant le tunnel sud.



Le tunnel achevé
The completed tunnel

► Les impératifs de sécurité, conjugués avec la suspension des travaux pendant un an à El Hussein, ont conduit à n'ouvrir qu'une fois les deux tunnels achevés.

LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

Groupement pilote

- Campenon Bernard SGE (Vinci Construction) (pilote)
- Arab Contractors (copilote)
- Bouygues TP
- Eiffage
- Spie Batignolles TP

Entreprises spécialisées

- Solétanche Bachy (parois moulées et injections)
- Spie Enertrans (distribution d'énergie, télécommunications, GTC)
- Seitha (ventilation des tunnels et des espaces de secours)
- Forclum (groupes de secours, climatisation, lots mécaniques)
- Intertetra (étanchéités et revêtement de protection incendie du tunnel)

Expertises, bureaux d'études et consultants

- Cetu (aspects trafic, fonctionnalités, sécurité)
- Scetauroute (conception et contrôle des équipements)
- Bonnard et Gardel (simulations des scénarios d'incendie)
- Hamza (analyses géotechniques détaillées, confortements)
- Simecsol (analyses géotechniques préliminaires)
- Europe Etudes Gecti (géométrie générale, assainissement)
- Eurovia (études des chaussées)

Architectes

- Charles Lavigne
- Gamal Bakry

ABSTRACT

The El Azhar tunnels. A new generation of road tunnels

Various authors

To alleviate traffic in the streets of the El Azhar mosque district, and thus help enhance the value of the architectural treasures left by the Fatimids, the Egyptian authorities in 1998 decided to establish an underground link between eastern Cairo and the Opera Square.

This structure is under the authority of the NAT (National Authority for Tunnels), and on 5 April 1998 a Design and Build Contract was signed with the French-Egyptian consortium led by Vinci Construction Grands Projets and Arab Contractors, for the construction of these road tunnels 2.5 km long.

The special features of the structure are due to the difficulties of inserting it in the subsoil of old Cairo, the new measures taken to protect the users and structures in case of fire, and the record completion time of 40 months.

RESUMEN ESPAÑOL

Los túneles de El Azhar. Una nueva generación de túneles viarios

Autores diversos

Con objeto de disminuir el tráfico rodado en las calles de la mezquita El Azhar y, de este modo, valorizar los tesoros arquitectónicos dejados por los Fatimidas, las autoridades egipcias tomaron la decisión, en 1998, de construir un enlace subterráneo entre el este de El Cairo y la plaza de la Ópera.

Esta estructura, depende de la autoridad de la NAT (National Authority for Tunnels), habiéndose formalizado un contrato fechado el 5 de abril de 1998, para el diseño y construcción, por parte del consorcio franco-egipcio encabezado por Vinci Construction Grands Projets y Arab Contractors, con destino a la ejecución de estos túneles viarios de 2,5 km de longitud.

Las particularidades de esta estructura se derivan de las dificultades de su inserción en el subsuelo de la parte antigua de El Cairo, a las nuevas medidas tomadas para la protección de los usuarios y de las propias estructuras en caso de incendio, y ello en un plazo récord de 40 meses.

DEPUIS 70 ANS AUX CÔTÉS DU BTP

Acteur de référence du BTP, nous sommes aux côtés des entreprises, artisans, salariés et retraités de ce secteur pour les protéger, les assurer et les soutenir en cas de besoin. Nous nous engageons chaque jour à proposer des services qui vous aident à avancer avec sérénité.



PRO BTP
GROUPE

ASSURÉ POUR DEMAIN

www.probtp.com



Chantier de l'émissaire VL8

Construction d'un puits à Orly avec une Hydrofraise compacte.

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.

Soletanche Bachy

Construire sur du solide

www.soletanche-bachy.com



SOLETANCHE BACHY