

TRAVAUX

REVUE TECHNIQUE DES ENTREPRISES DE TRAVAUX PUBLICS

TRAVAUX SOUTERRAINS. FRANCE-ESPAGNE : GALERIE TECHNIQUE. GALERIE DE SECURITE DU FREJUS. MODERNISATION DU TUNNEL DE CHAMPIGNY-SUR-MARNE. TROISIEME POSTE SOURCE A MONACO. REHABILITATION DU TUNNEL DU VIEUX PORT. RENOVATION DE LA VENTILATION DE DESENFUMAGE DU COMPLEXE SOUTERRAIN DE NANTERRE-LA DEFENSE. TUNNEL DE SAINT-BEAT. RENOVATION DU TUNNEL DE LA CROIX-ROUSSE. RESEAU D'ASSAINISSEMENT DE BATA EN GUINEE EQUATORIALE

N°904 MARS 2014



RAZEL-BEC -
GALERIE DE SECURITE
DU FREJUS
© DOMINIQUE FEINTRENE

LES TRAVAUX
PUBLICS
FEDERATION
NATIONALE



SOLDATA

**Votre 6^e sens pour
maîtriser vos risques**

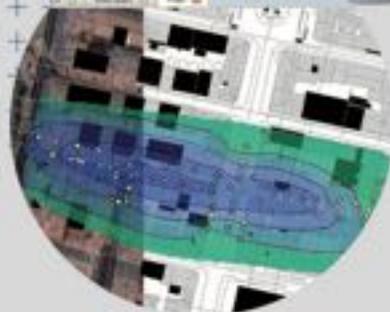
Solutions de détection
et monitoring

Ingénierie et conseil

Étude d'impact
Design, installation, maintenance
Mesure et interprétation

**Instrumentation
et monitoring**

Capteurs
Monitoring géotechnique et structurel
Surveillance par satellite
Études géophysiques
Mesures bruit, vibration, environnement



**Technologies
de l'information**

Plateforme WebSig
Données temps réel
Alarmes automatiques
Outils d'aide à la décision

**Solutions pour la maîtrise des risques
structuraux, géotechniques
et environnementaux liés à la construction
et l'exploitation d'ouvrages**

www.soldata.fr
www.soldatagroup.com



Directeur de la publication
Bruno Cavagné

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

Comité de rédaction
Hélène Abel (Ingérop), Jean-Bernard
Datry (Setec), Philippe Gotteland
(FNTP), Jean-Christophe
Goux-Reverchon (FNTP), Laurent
Guilbaud (Saipem), Ziad Hajar
(Eiffage TP), Florent Imberty
(Razel-Bec), Claude Le Quéré (Egis),
Louis Marracci (Bouygues TP),
Stéphane Monleau (Soletanche Bachy),
Jacques Robert (Arcadis), Claude
Servant (Eiffage TP), Philippe Vion
(Systra), Michel Morgenthaler (FNTP)

Ont collaboré à ce numéro
Rédaction
Monique Trancart, Marc Montagnon

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

France (10 numéros) : 190 € TTC
International (10 numéros) : 240 €
Enseignants (10 numéros) : 75 €
Étudiants (10 numéros) : 50 €
Prix du numéro : 25 € (+ frais de port)
Multi-abonnement : prix dégressifs
(nous consulter)

Publicité
Emmanuelle Hammaoui
9, rue de Berri
75008 Paris
Tél. : +33 (0)1 44 13 31 41
Email : ehammaoui@fntp.fr

Site internet : www.revue-travaux.com

Réalisation et impression
Com'1 évidence
Siège : Immeuble Louis Vuitton
101, avenue des Champs-Élysées
75008 PARIS
Tél. bureaux : +33 (0)2 32 32 03 52
Email :
revuetravaux@com1evidence.com

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

Tous droits de reproduction, adaptation, totale
ou partielle, France et étranger, sous quelque
forme que ce soit, sont expressément réservés
(copyright by Travaux). Ouvrage protégé ;
photocopie interdite, même partielle
(loi du 11 mars 1957), qui constituerait
contrefaçon (code pénal, article 425).

Éditions Science et Industrie SAS
9, rue de Berri - 75008 Paris
Commission paritaire n°0116 T 80259
ISSN 0041-1906

LE GRAND PARIS EXPRESS, UN NOUVEAU DÉFI MAJEUR POUR LES TRAVAUX SOUTERRAINS EN ÎLE-DE-FRANCE



© DR

Il faut saluer l'initiative de la revue Travaux d'ouvrir une tribune à ce nouvel acteur qu'est la Société du Grand Paris (SGP). Créée il y a un peu plus de trois ans par la loi du 3 juin 2010 relative au Grand Paris, la SGP exerce la compétence de maître d'ouvrage du futur réseau de métro automatique du Grand Paris. Le projet est estimé aujourd'hui à 22,6 milliards d'euros.

L'action de la SGP s'inscrit dans le cadre des orientations du gouvernement et dans le calendrier volontariste fixé par le Premier ministre le 6 mars 2013 pour la mise en œuvre du Nouveau Grand Paris.

Le développement de nouveaux moyens de transports urbains de banlieue à banlieue est aujourd'hui une attente forte des Franciliens ; près de cent ans après la fermeture des rocade ferroviaires de petite et de grande ceinture, ils disposeront d'un nouveau réseau de métro automatique rapide et performant, le Grand Paris Express, articulé autour de la ligne 14 prolongée et de nouvelles liaisons en rocade, représentant plus de 200 kilomètres de longueur et plus de 70 gares, et dont la mise en service s'échelonnnera entre 2020 et 2030.

Une première tranche d'investissement de ce réseau, d'un montant de 5,3 milliards d'euros, a été approuvée le 15 juillet dernier ; elle couvre la partie sud de la future ligne 15 (entre Noisy-Champs et Pont de Sèvres), soit 16 gares, 33 kilomètres

de ligne entièrement souterraine et deux sites de maintenance. Immédiatement après, une dizaine de marchés d'assistance à maîtrise d'ouvrage ou de maîtrise d'œuvre ont été notifiés pour un montant global d'environ 300 millions d'euros ; la plupart des grandes ingénieries françaises du transport urbain ainsi que plusieurs cabinets d'architectes de renom y sont représentés.

L'objectif de mise en service en 2020 de ce premier tronçon, la ligne 15 sud, conduit à lancer les consultations pour les marchés de travaux dès l'année 2015, pour un démarrage effectif des travaux de génie civil en 2016. Les décisions d'engager la réalisation d'autres tronçons devraient être prises au cours de l'année 2014, notamment la ligne 16 (Noisy-Champs/Saint-Denis Pleyel, via le Bourget) ainsi que les prolongements de la ligne 14 au nord (jusqu'à Saint-Denis Pleyel) et au sud (jusqu'à Villejuif Institut Gustave Roussy, dans un premier temps).

Plusieurs projets du Nouveau Grand Paris qui concernent l'extension de lignes existantes et dont la SGP n'est pas maître d'ouvrage, vont se réaliser sur la même période. Aussi, à partir de 2016, la région va sensiblement dépasser le niveau d'activité qu'elle a connu dans le domaine des travaux souterrains au début des années 90. L'Île de France devrait retrouver le rythme des grands travaux engagés à la fin des années soixante pour la création du RER et les prolongements des lignes de métro en banlieue, période de grand dynamisme, avec ses importantes retombées en termes de création d'emplois, notamment dans les bureaux d'études et les entreprises de travaux publics.

Nous ne pouvons que nous réjouir d'entrer dans un nouveau cycle très stimulant de conception et de réalisation à grande échelle de nouvelles infrastructures souterraines ; c'est une période propice à l'émulation, à l'innovation technique et à l'éclosion d'une nouvelle génération talentueuse et audacieuse d'ingénieurs et d'architectes, qui contribueront à leur tour au rayonnement du savoir-faire de leur entreprise à l'international.

GÉRARD CHÉREL
DIRECTEUR DU PROGRAMME
SOCIÉTÉ DU GRAND PARIS



TRAVAUX SOUTERRAINS



TROISIÈME POSTE SOURCE À MONACO © PHOTOTHÈQUE ARCADIS



04 ALBUM

08 ACTUALITÉ



16

ENTRETIEN AVEC GUY MALBRANCKE
LIGNE B DU MÉTRO DE RENNES
MÉTROPOLE : MAÎTRISER LES RISQUES
SANS OUBLIER L'INNOVATION

20 EPC-FRANCE : LE MINAGE SUR MESURE
EN TOUTE SÉCURITÉ



26

UNE GALERIE TECHNIQUE
pour l'interconnexion
électrique France-Espagne



34

13 KM DE TUNNEL ENTRE FRANCE ET ITALIE
Galerie de sécurité
du Fréjus



39

MODERNISATION DU TUNNEL DE CHAMPIGNY-SUR-MARNE



44

LE TROISIÈME POSTE SOURCE
à Monaco



50

RÉHABILITATION DU TUNNEL DU VIEUX PORT À MARSEILLE
Un chantier de nuit
en milieu urbain



56

RÉNOVATION DE LA VENTILATION DE DÉSENFUMAGE
du complexe souterrain
de Nanterre-La Défense



64

LE TUNNEL DE SAINT-BÉAT



72

RENOVATION LOURDE DU TUNNEL DE LA CROIX-ROUSSE
Traitement de la problématique
des tassements



80

CSM BESSAC CONSTRUIT LE RÉSEAU D'ASSAINISSEMENT DE LA VILLE DE BATA
en Guinée Équatoriale





L'ALBUM

TRAVAIL DE NUIT SOUS LE VIEUX PORT DE MARSEILLE

À Marseille, la mise aux normes du tunnel du Vieux Port nécessite la réalisation de travaux de rénovation et de réhabilitation.

Il est interdit de fermer simultanément les deux tunnels et il est également interdit d'en fermer un, même temporairement, pendant la journée. Les travaux, qui consistent en une remise à niveau du génie civil et des équipements, sont donc réalisés obligatoirement de nuit. Un contrôle de l'ensemble des équipements de sécurité est effectué chaque matin avant l'ouverture pour vérifier la conformité aux Conditions Minimales d'Exploitation. Cet exercice de haute précision est réalisé pour le compte de la Communauté Urbaine Marseille Provence Métropole par des intervenants de premier ordre parmi lesquels Arcadis et Eiffage. (voir article page 50).



© PHOTOTHÈQUE ARCADIS

© PHOTOTHÈQUE EIFFAGE



SÉCURITÉ ET ENVIRONNEMENT

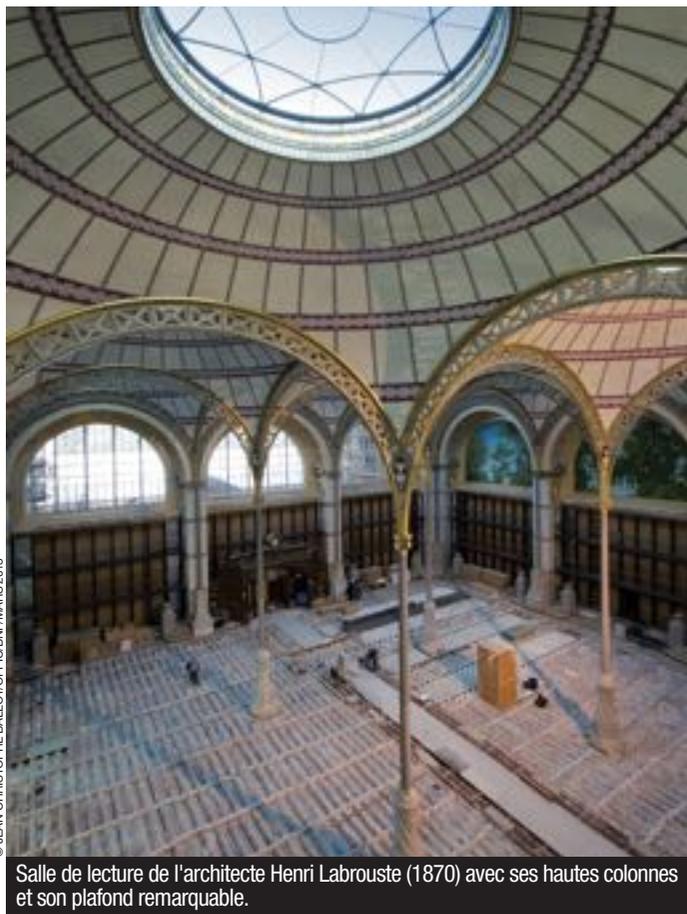
AU FRÉJUS

RAZEL-BEC réalise pour la Société Française du Tunnel Routier du Fréjus, parallèlement au tunnel routier existant, une galerie de sécurité de 13 km avec un diamètre fini de 8 m, en traditionnel et au tunnelier. S'y ajoutent les rameaux de liaison et les abris. Ce chantier majeur et exemplaire démontre le prix accordé de nos jours à la sécurité. Autre signe des temps, le prix accordé à la protection de l'environnement. Ainsi une galerie de marinage de 485 m de long en 16 m² de section a-t-elle été creusée pour évacuer les déblais sans poussière ni nuisance sonore et visuelle. Les déblais sont réutilisés en comblement de carrière. Les eaux du chantier sont traitées avant rejet à la rivière. La photo représente le parc de stockage des voussoirs. (voir article page 34).



RESTRUCTURATION DU SITE HISTORIQUE DE LA BIBLIOTHÈQUE NATIONALE

L'ancien site de la Bibliothèque nationale à Paris 9^e conserve des collections accessibles au public et aux chercheurs. Sa mise aux normes est l'occasion de redécouvrir des lieux chargés d'histoire à l'architecture remarquable.



Salle de lecture de l'architecte Henri Labrouste (1870) avec ses hautes colonnes et son plafond remarquable.

En 2014, se termine la première phase de la restructuration du site historique de la Bibliothèque nationale de France, rue de Richelieu à Paris. Un chantier d'ampleur avec les caractéristiques du neuf et au détour d'une porte, de belles salles en cours de restauration comme celle de l'architecte Henri Labrouste de 1870 : 1 450 m², 18 m de haut, un plafond en oculi composés d'un plan de verre au centre et de céramique blanche en périphérie avec une frise à dominante mauve bordée d'un acier dentelé recouvert d'une feuille d'aluminium. Ce plafond est porté par douze colonnes et des arcs métalliques à décor en peinture dorée. La programmation de cette restructuration a commencé en 1999, au lendemain du départ des collections d'imprimés et de périodiques à la Bibliothèque François Mitterrand (Paris XIII^e). L'opération sera

terminée en 2019. Restent au 58 rue de Richelieu les collections arts du spectacle, cartes et plans, estampes et photographie, manuscrits, monnaies, médailles et antiques. De plus, viennent s'y installer les bibliothèques de l'Institut national d'histoire de l'art et de l'École nationale des chartes, cette dernière disposant de salle de cours et de bureaux en face, au 65 rue de Richelieu, en rénovation. Au total, 50 000 m² sont en travaux avec maintien de l'activité sur la moitié du site, d'où une planification en deux phases : 2011-2014 et 2014-2019. Une fois rouvert en totalité, le quadrilatère Richelieu (n°58) pourra être visité et accueillera le public et des chercheurs. Établissement recevant du public de 1^{re} catégorie, il doit être aux normes en matière de sécurité dont l'incendie et d'accueil des handicapés.

Autre contrainte : l'incorporation du traitement climatique et des réseaux, modernisés.

→ Concilier sécurité et valeur historique

Certaines salles sont classées monuments historiques (MH) - par exemple, la salle Labrouste, les galeries Mansart et Mazarine - tandis que d'autres sont inscrites à l'inventaire des MH - salle Ovale (Jean-Louis Pascal), salle des manuscrits, etc. - ou tout simplement considérées comme ayant un intérêt patrimonial - rotonde des donateurs, magasin central de stockage Labrouste, etc.

Les commissions sécurité et monuments historiques ont donc travaillé ensemble afin de conserver les lieux remarquables. Les dérogations ont été assorties de compensations. Par exemple, le magasin Labrouste à structure en fonte autoportante - la fonte casse à haute température - et panneaux de bois soutenant un caillebotis, a été conservé mais des vides équivalents à la moitié de la surface de chaque niveau ont été ménagés pour le désenfumage.

→ Réseaux déplacés

D'autres magasins à structure métallique, n'ayant pas un caractère historique prononcé, ceux que l'architecte Michel Roux-Spitz avait installés en étage dans

la première moitié du XX^e siècle, ont été démolis et reconstruits en niveaux à plancher coupe-feu. De grandes circulations verticales avec ascenseurs remplacent des escaliers trop étroits. Une trémie sur onze niveaux a été dégagée pour la plus grande.

Le positionnement des réseaux techniques et des équipements de traitement climatique a fait l'objet d'une longue étude de synthèse. « Neuf dixièmes des réseaux sont démolis et déplacés, » précise François Autier, chef de projets de l'Opérateur du patrimoine et des projets immobiliers de la culture (Oppic), maître d'ouvrage délégué et pilote de l'opération pour le ministère de la Culture et de la Communication et celui de l'Enseignement supérieur et de la Recherche.

→ Splendeur des peintures

Les peintures murales sont nettoyées et restaurées : nuages, verdure, motifs noirs sur fond mauve réapparaissent ainsi dans toute leur splendeur.

Les études d'avant-projet définitif de la seconde phase des travaux de restructuration du quadrilatère Richelieu, ont commencé début 2014. Le chantier du 65 rue de Richelieu, de l'autre côté de la rue, est alimenté par le 58 grâce à une passerelle, un monte-matériaux et un pont roulant. ■

UNE CONSTRUCTION QUI DÉMARRE AU XVII^e SIÈCLE

Donner une cohérence à l'ensemble de la Bibliothèque nationale, rue de Richelieu à Paris, est une des missions de l'architecte mandataire de sa restructuration, Bruno Gaudin. Le quadrilatère Richelieu, tel qu'il existe aujourd'hui, s'est constitué à partir du XVII^e siècle par une succession de modifications et d'agrandissements. Une galerie vitrée reliera au 1^{er} étage les deux parties. L'une comprend la salle de lecture Henri Labrouste (1870) et l'autre, la salle Ovale de Jean-Louis Pascal (début XX^e siècle).

Ce grand chantier entre dans une enveloppe de 218 millions d'euros tout compris, financés à 80% par le ministère de la Culture et de la Communication et à 20% par celui de l'Enseignement supérieur et de la Recherche.

Maîtrise d'œuvre bâtiment au 58 rue de Richelieu :

- Architecte mandataire : Atelier Bruno Gaudin.
- Bureau d'études techniques : Egis bâtiment.

Maîtrise d'œuvre monuments historiques :

- Jean-François Lagneau, architecte en chef des monuments historiques, et Ct Cizel, économiste.

Maîtrise d'œuvre au 65 rue de Richelieu :

- AKPA architectes, mandataire du groupement solidaire avec le BET SNC-Lavalin.

UN CANAL SEINE NORD EUROPE MOINS CHER

Le Canal Seine Nord Europe (CSNE) verra le jour grâce à une reprise en mains par le secteur public. Une société dont les actionnaires seront Voies navigables de France pour l'État, les collectivités territoriales et peut-être d'autres partenaires, va être créée pour le construire. Une mission administrative est chargée de concrétiser le projet - gouvernance, économie, engagement des collectivités, autres financements - d'ici fin 2014.

L'abandon du partenariat public privé (PPP) initialement envisagé pour le CSNE est une des propositions du rapport confié à Rémi Pavros, député-maire de Maubeuge (Nord), par Frédéric Cuvillier, ministre des Transports, et remis en décembre. Le ministre a donc confirmé que le projet se ferait, encouragé en cela par son éligibilité aux subventions du Mécanisme d'interconnexion pour l'Europe. Dans ce cadre, il pourra recevoir une aide de 50 % du montant des études et de 40 % des travaux là où la première mouture n'accédait qu'à 6 % de financement européen.

→ Des sources d'économies

Le canal reliant Compiègne (Oise) à Douai (Nord) a été réestimé à 4,5 milliards d'euros au lieu de 7 précédemment. Les frais financiers, évalués à 1,5 milliard en PPP, vont baisser du fait de l'accès à de meilleures conditions d'emprunt par la Banque européenne d'investissement et la Caisse des dépôts et consignations. Par ailleurs, les collectivités territoriales très demandeuses de sa concrétisation, ont signé des engagements financiers sur l'infrastructure et les plates-formes multimodales qui leur reviennent. Au total, départements - Nord, Oise, Pas-de-



Les ports ont renouvelé leur soutien au futur canal à grand gabarit. Ici, la navette mise en place par le Grand port maritime de Dunkerque pour acheminer des conteneurs sur le réseau fluvial.

© GRAND PORT MARITIME DE DUNKERQUE

Calais, Somme - et régions - Picardie, Nord/Pas-de-Calais et Île-de-France - apportent 1 milliard d'euros. Des opérations d'accompagnement entreront dans le contrat de plan État-régions 2014-2020.

→ 10 000 emplois par an

Le CSNE conserve le même tracé sur 106 km et accueillera des bateaux jusqu'à 4 400 tonnes. Toutefois, le Canal du Nord sera réutilisé sur 10 km, une écluse est supprimée et une autre sera réduite de moitié en hauteur. Le tronçon central qui permet l'interconnexion avec les infrastructures fluviales existantes devrait ouvrir en 2022. Ensuite, les parties nord et sud seront améliorées « selon les besoins du marché ».

Rémi Pavros a sollicité tous les acteurs dont les ports - Rouen, Le Havre, Dunkerque - et les régions wallonne et flamande (Belgique).

Les grands ports maritimes attendent du CSNE un accroissement de leur trafic par une circulation de conteneurs sur les fleuves. Par exemple, Dunkerque a lancé en octobre une navette de transport de conteneurs entre son port et la plateforme de Dourges (Pas-de-Calais) située sur le canal de la Haute-Deule, réseau fluvial régional.

Une étude de Setec International estime qu'au moins 10 000 emplois par an seront créés pendant le chantier et 50 000, à l'horizon 2050 par le développement d'activités. ■

LA BIODIVERSITÉ ENCADRÉE

Le Conseil national de la transition écologique a donné un avis positif sur le projet de loi relatif à la biodiversité, fin décembre. Le projet a donc été transmis début 2014 pour avis au Conseil d'État afin de le présenter ensuite au conseil des ministres au plus tard début mars. Cette loi devrait favoriser une meilleure prise en compte de la biodiversité notamment avec la création d'une agence française spécifique.

Philippe Martin, ministre de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie, déclare dans un magazine destiné aux agents du ministère que « c'est la première grande loi sur la nature depuis 1976 (...) et que cette agence sera le deuxième bras armé du ministère à côté de l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie. »

L'Agence française de la biodiversité, peut-être opérationnelle en 2015, a trois objectifs : structurer la connaissance et l'expertise dans ce domaine ; intégrer la biodiversité dans les stratégies territoriales de développement ; pallier les défauts de financement des politiques de préservation de la biodiversité.

Enfin, le 4^e et dernier décret du socle réglementaire encadrant la préservation et la remise en état des continuités écologiques - n°2014-45 - est sorti le 20 janvier.

CONTRATS APRR ET AREA AVEC L'ÉTAT



© APRR/X. CHABERT

Le réaménagement du nœud de Chambéry (Savoie) sur l'A43 est au programme.

Les contrats de plan 2014-2018 entre l'État et les sociétés d'autoroute APRR et Area ont été publiés dans un décret fin janvier (n°2014-55).

Ces contrats précisent les investissements complémentaires à la charge des concessionnaires, les lois tarifaires nécessaires à leur financement ainsi que leurs nouvelles obligations. Ils concrétisent la réponse de l'État aux recommandations de la Cour des comptes, critique sur la gestion de ces contrats.

Les 500 millions d'euros d'investissement seront consacrés notamment aux

6 km entre l'autoroute A89 (Rhône) et l'autoroute A6, au réaménagement du nœud de Chambéry (Savoie) sur l'A43 et à l'élargissement à trois voies de l'autoroute A6 sur 12 km autour d'Auxerre (Yonne), de l'A71 sur 5 km près de Gannat (Allier) et de l'A41 sur 6 km au nord d'Annecy (Haute-Savoie).

D'autres améliorations sont planifiées comme des protections phoniques, la sécurisation de tunnels, des parkings de covoiturage, des services aux poids lourds, des bornes de recharge électrique, etc. ■



© MICHEL BRAMARD/ONEMA

Une loi qui protège la biodiversité se prépare.

CONGRÈS TUNNELS

Le congrès international sur les tunnels et l'espace souterrain se tient à Lyon (Rhône) du 13 au 15 octobre. Organisé par l'Association française du même nom (Aftes), il traitera des risques et des opportunités d'aménagements souterrains sous quatre angles : conduite et conception des projets, progrès et innovations technologiques, développement des usages du sous-sol et gestion des infrastructures souterraines.

En savoir plus sur : www.aftes.asso.fr.

FERMES HYDROLIENNES

L'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'environnement lance un appel à manifestation d'intérêt sur des fermes pilotes hydroliennes en mer. Il s'agit d'accompagner des projets d'implantation de ces machines produisant de l'électricité à partir des courants marins (pas des marées). Date de clôture : 25 avril.

Information sur : www.ademe.fr/appels-propositions.

RECONNU GRENELLE DE L'ENVIRONNEMENT

Syntec-Ingénierie vient de signer la charte "Reconnu Grenelle de l'environnement RGE-Études", proposée par l'Agence de la maîtrise de l'énergie et de l'environnement, appliquée par les bureaux d'études pour concevoir des bâtiments à performance énergétique et des installations d'énergie renouvelable.

Cette distinction permet aux maîtres d'ouvrage de déceler plus facilement les sociétés ayant ces compétences.

INNOVER PLUS DANS LES INFRASTRUCTURES DE TRANSPORT

Si l'innovation était plus développée dans le domaine des infrastructures de transport, elle contribuerait à faire progresser le secteur, à mieux placer les entreprises sur ce marché et à créer des emplois. C'est pourquoi Yves Krattinger, président de l'Institut des routes, des rues et des infrastructures pour la mobilité (Idrim) estime qu'il faut la renforcer et l'accompagner jusqu'à des expérimentations en grandeur nature, les études de laboratoire et les tests miniatures se révélant insuffisants. M. Krattinger a remis un rapport sur ce thème au ministre de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie, et plus spécifiquement à François Cuvillier, chargé des transports, en octobre, et l'a présenté à la Maison

des travaux publics à Paris⁽¹⁾. Le comité Formation, recherche et innovation de l'Idrim a planché pendant six mois sur la rédaction de 21 recommandations.

Il s'est appuyé sur tous les spécialistes du domaine, publics et privés, ainsi que sur les représentants des maîtres d'ouvrage et d'organismes de formation.

Le code des marchés publics, la question des variantes dans la réponse aux appels d'offres, la couverture des risques par les assurances sont évoqués dans le rapport.

→ Plus d'ouverture

L'innovation a besoin d'ouverture sur l'extérieur. Un cadre commun aux entreprises et aux bureaux d'études privés est nécessaire avec des axes de développement ouverts mais différents de ce

qui relève de la stratégie d'une société. Les échanges entre écoles d'ingénieurs pourraient s'intensifier.

Le pilotage de l'innovation routière, actuellement aux mains de la maîtrise d'ouvrage, serait ouvert aux propositions de l'ingénierie et des entreprises qui contribueraient davantage à l'Idrim.

Le Cerema, établissement public qui regroupe plusieurs centres techniques publics depuis janvier⁽²⁾, pourrait être mobilisé davantage sur les projets innovants en tant qu'assistant à la maîtrise d'ouvrage pour toutes les collectivités territoriales.

→ Partager les risques

En ce qui concerne le code des marchés publics, il faut « encourager l'utilisation de toutes les solutions d'appel d'offres et engager des réflexions sur la passation des marchés et le jugement des offres : ouverture aux variantes sans justification argumentée, mieux disant versus moins disant, » etc. cite le rapport dans ses propositions.

En matière de risques, il reste à imaginer un dispositif financier pour les partager et les couvrir. ■



Revêtement routier à granulats clairs qui réfléchissent la lumière artificielle, ici épandu à Ergué-Gaberic, près de Quimper (Morbihan), innovation d'Eurovia.

ÉNERGIE : MODIFIER LA CONSOMMATION PLUTÔT QUE LA PRODUCTION

Les économies d'énergie ne sont pas notre fort dans la lutte contre le réchauffement climatique. C'est ce qu'a souligné la Cour des comptes dans son rapport remis mi-janvier à l'Assemblée nationale sur la mise en œuvre par la France du Paquet énergie climat adopté par l'Europe en 2008⁽¹⁾.

Ce "paquet" que la Commission européenne est en train de revoir à l'échéance 2030, demande aux États membres d'ici 2020 de réduire de 20 % les émissions de gaz à effet de serre, de porter à 20 % la part des énergies renouvelables dans la consommation énergétique et de réaliser 20 % d'économies d'énergie (année de référence 1990). Ce dernier effort laisse à désirer. « Dans une économie peu carbonée (NDLR : à cause de la production d'électricité par le nucléaire), la prin-

cipale source de réduction des émissions se trouve dans les économies d'énergie, » écrit le rapport de la Cour des comptes visant le transport et l'agriculture.

Selon la Cour, l'État n'aurait pas mis en place une organisation transversale favorable à l'objectif. Des sommes considé-

rables sont engagées dans le Paquet climat énergie sans grande cohérence et comme par à-coups. Pour preuves, la difficulté à améliorer massivement les caractéristiques thermiques de l'habitat existant et les soubresauts dans l'implantation de l'électricité photovoltaïque.

→ GES : -40% en 2030

Si la baisse des émissions de gaz à effet de serre est réelle, elle est surtout due à celle de l'activité et aux efforts de l'industrie. Ainsi, la bonne voie pour répondre aux objectifs du futur Paquet climat énergie - baisse de 40 % des émissions de gaz à effet de serre en 2030 - serait de « modifier le modèle de consommation plutôt que le système de production. » ■



Le mur en bois Finnframe permet de construire des bâtiments à forte isolation économes en énergie.

⁽¹⁾ Cf. *Le Monde*, 17 janvier, page 3 ; rapport complet sur www.ccomptes.fr.

⁽²⁾ Cf. *Newsletter Gazette des communes*, 24 octobre 2014.

⁽³⁾ Cf. *Travaux*, janvier-février 2013, page 12.

BOUYGUES S'INVESTIT DANS LES AÉROPORTS



Futur terminal de l'aéroport d'Iqaluit dans le grand nord canadien.

Bouygues Building Canada et Sintra vont participer à l'agrandissement de l'aéroport international d'Iqaluit, dans le grand nord canadien. Ils ont signé un contrat de partenariat public privé de trente-quatre ans dans le cadre du consortium Arctic Infrastructure Partners où figurent également Infrared Capital Partners et Winnipeg Airports Authority. À la filiale de Bouygues Construction et à celle de Colas Canada, reviennent la conception et la construction d'un terminal de 10 000 m², un bâtiment de services de 4 500 m², la réhabilitation et l'extension de 400 000 m² de pistes et de zones de stationnement des avions. Les équipements comprennent une production électrique par cogénération. Le projet vise la certification environnementale nord-américaine Leed, niveau argent.

Le montant de leur marché s'élève à 170 millions d'euros sur les 220 millions de l'opération. Le chantier démarre au printemps et devra être terminé fin 2017. Vu la rigueur du climat - mer gelée - les

matériaux ne peuvent être livrés que de juillet à octobre. L'avion est le seul moyen de transport utilisable toute l'année sur ce territoire aussi grand que l'Europe occidentale et abritant 25 communautés dont des Inuits.

→ Lyon : terminal deux fois plus grand

En France, GFC Construction, filiale de Bouygues Construction dans le Sud-Est, a signé un contrat de 142 millions d'euros avec Aéroports de Lyon pour le futur terminal 1 de Lyon Saint-Exupéry. GFC Construction est mandataire du groupement comprenant RHSP et Chabanne et partenaires, architectes, Technip TPS, Cap Ingélec et Inddigo. Le nouveau terminal couvre 70 000 m² sur trois niveaux, ce qui double la surface existante. Près de 10 millions de passagers pourront ainsi être accueillis. Le bâtiment vise une certification HQE, notamment en réduisant les besoins en énergie et en eau. Le chantier démarre cet automne pour une livraison de la première phase en 2016. Enfin, Bouygues Construction à travers

Bouygues Bâtiment International est partie prenante du nouveau terminal de l'aéroport de Zagreb (Croatie).

La société est chargée avec l'entreprise croate Viadukt de réaliser un terminal de 65 000 m² conçu par les architectes Kincl, Neidhardt et Radic avec le bureau d'études IGH. Les travaux vont durer jusqu'en 2016.

L'aéroport pourra recevoir 5 millions de passagers contre 2, actuellement.

→ Financement bouclé

L'opération de Zagreb s'inscrit dans un partenariat public privé de concession dont le financement vient d'être bouclé. Le consortium ZAIC-A Ltd regroupe Aéroports de Paris Management (filiale d'Aéroports de Paris), Bouygues Bâtiment International, TAV Airports, Viadukt, le fonds Marguerite et IFC.

Le contrat a été signé avec les organismes prêteurs et le ministère croate de la Mer, des Transports et des Infrastructures, en décembre. Le consortium est actionnaire à 100% de MZLZ, concessionnaire de l'aéroport. ■

PPP POUR UN CAMPUS

L'Université de Bourgogne a signé un contrat de partenariat public privé avec Pertuy Construction, filiale du groupe Bouygues Construction, pour construire ou rénover des bâtiments du campus situé à Dijon (Côte-d'Or).

Le PPP de vingt-cinq ans comprend le financement, la conception-construction et la maintenance.

La conception du projet est confiée à l'architecte Michel Rémon et au bureau d'études Y ingénierie.

La maintenance, le gros entretien, le renouvellement et la gestion para hôtelière reviennent à Bouygues Énergies & Services, autre filiale du groupe.

Le maître d'ouvrage est Prisma 21, société créée pour l'opération de 21 millions d'euros dont le chantier a commencé en mars pour se terminer en juin 2015.

COLAS SORT DE COFIROUTE

Colas prévoyait de céder sa participation de près de 17% dans le capital de Cofiroute à Vinci Autoroutes, début 2014, pour une valeur estimée à 780-800 millions d'euros.

Outre Cofiroute, Vinci Autoroutes est concessionnaire à travers ASF, Escota et Arcour, de 4 370 km au total.

ROUEN ET LE HAVRE RELIÉS PAR AUTOROUTE

La charpente métallique du viaduc sur l'autoroute A150 en Normandie devait être posée en trois lançages début 2014. L'ouvrage de 480 m en six travées franchit l'Austreberthe, affluent de la Seine, sur la commune de Villers-Écalles (Seine-Maritime). Les fondations profondes étaient réalisées fin 2013 ainsi que deux des cinq appuis et deux culées.

L'A150 relie deux tronçons d'autoroute existants près d'Yvetot, d'un côté, et de

Barentin, de l'autre. Ses 18 km parachèvent la liaison entre Rouen et Le Havre (Seine-Maritime).

Ils soulageront la route départementale RD 6015 - 30 000 véhicules/jour - passant par Barentin, Yvetot et Bolbec. Au total, le chantier confié à Razel-Bec, mandataire, comprend 13 ouvrages d'art dont 1 inférieur.

Plusieurs passages à faune sont prévus. Il comprend également les travaux d'as-

sainissement, la route à deux fois deux voies, les échangeurs et raccordements, péage et aire de repos.

Commencé fin 2012, il devrait être terminé en 2015.

La conception et la réalisation de cette autoroute a été confiée au GIE A150 constitué à parts égales d'entreprises du groupe NGE (Guintoli, EHTP, NGE Génie civil et Siorat) et de Razel-Bec, pôle travaux publics de Fayat. ■



Travaux du viaduc de 480 m au-dessus de l'Austreberthe.

© NICOLAS VERGELLINO

BRETAGNE : 70 MW À DISPOSITION

La Bretagne vit une situation tendue en matière de consommation électrique en hiver. Pour éviter toute rupture d'approvisionnement, RTE fait appel à des sociétés capables de fournir de l'effacement de consommation et des productions. Elle a sélectionné cinq entreprises en ce sens pour la période de novembre 2013 à fin mars 2014 : Actility, Energy Pool, Dalkia, Eon France et Smart Grid Energy. Le transporteur d'électricité récupère ainsi 70 MW mobilisables dans des délais de trente minutes à quatorze heures.

Cette expérimentation, menée pour la deuxième fois, alimente les réflexions sur l'effacement de consommation en période de pointe dans le cadre de la transition énergétique.

ORIGINE FRANCE GARANTIE

Les vitrages isolants pour menuiseries industrielles de Glassolutions (Saint-Gobain) ont obtenu le label Origine France garantie délivré par Pro France après audit de Bureau Veritas Certification quand 50 % au moins du prix de revient du produit est acquis en France, en sortie de fabrication, et selon des critères de qualité. Les menuisiers qui les utilisent pourront ainsi afficher cet argument de vente.

RÉNOVATION D'UNE TOUR DES ANNÉES 1960



© NICOLAS VERCELLINO

Au programme de la rénovation de la tour Chartis devenue Blanche : étanchéité des façades et sécurité incendie.

La tour Chartis à Courbevoie (Hauts-de-Seine), malgré ses 100 m de haut, est exiguë à l'intérieur. La hauteur sous plafond n'est que de 2,50 m avec des pointes à 2,65 m là où d'autres tours de La Défense disposent de 3 m. Le chantier de sa rénovation s'en trouve complexifié. Pour sortir les éléments démolis et faire entrer les matériaux neufs, les entreprises utilisent les deux ascenseurs et un monte-charge de 1,2 tonne. Ainsi 90 tonnes de dalles ont-elles pris ce chemin jusqu'à la terrasse, 27 niveaux plus haut.

La tour Chartis est rebaptisée tour Blanche, de la couleur de sa nouvelle façade et suite au changement de propriétaire (2011). Perella Weinberg Partners a d'abord envisagé une rénovation limitée à 6 niveaux avant d'opter pour l'amélioration de l'ensemble. En effet, la sécurité incendie devait encore être mise aux normes et la façade n'était ni isolée ni étanche. Le projet confié à l'architecte Silvio Pettracone vise la certification HQE rénovation et le label Bâtiment basse

consommation (BBC). La couleur blanche est obtenue par application sur les vitres fixes extérieures de petits points sérigraphiés. « Nous avons travaillé avec un orthoptiste afin de ne pas perturber la vision des occupants », explique Michel Vodar du cabinet Pettracone. Plus la densité des points est forte, moins c'est gênant. » Résultat : un effet store translucide depuis l'intérieur et une surface blanche à l'extérieur. Le blanc réfléchit le rayonnement solaire, ce qui réduit la climatisation. Ce vitrage fixe est doublé d'une fenêtre intérieure ouvrable.

→ Coursives supprimées

La sécurité incendie, déjà partie prenante de la rénovation de 2001 à 2004, a été complétée. Chaque étage est désormais autonome. En cas de sinistre, il est indépendant des autres niveaux, ce qui réduit la taille des escaliers d'évacuation des personnes.

À chaque niveau, les portes des ascenseurs sont devenues coupe-feu au lieu que cette fonction soit assurée par les

portes de palier. Grâce à la suppression de ces portes, la circulation horizontale commune d'évacuation a été raccourcie, ce qui a libéré des surfaces pour les bureaux. Des parois coupe-feu ont été démontées et réutilisées ailleurs, d'où une économie importante.

Deux cents mètres carrés ont aussi été récupérés par suppression des coursives de deux niveaux. La transformation de celle du 26^e étage, réalisée en un mois, a nécessité trois mois d'études par Spie SCGPM.

→ Désamiantage et pose de façade

Le chantier a débuté en juin 2012 et se termine fin août 2014. Le désamiantage a réservé des surprises.

La pose des façades a commencé avant qu'il ait été fini. Creatis, filiale rénovation et aménagement tertiaire Île-de-France de Spie Batignolles, a pris le pilotage des travaux en janvier 2013. Le désamiantage s'est déroulé de haut en bas et la pose de la façade de bas en haut, à l'aide de monte-charge extérieurs. ■



© NICOLAS VERCELLINO

Les vitres extérieures, fixes, sont revêtues de points blancs, filtrant la lumière solaire sans gêner la vue sur l'extérieur.

LOUÉE À ERDF

Bâtie entre 1964 et 1967, la tour CB15 - tour Blanche aujourd'hui - est une des premières construites à la Défense (Hauts-de-Seine) par les frères Arsène-Henry. Elle devient tour Aquitaine, puis AIG et Chartis avant son rachat en 2011 par Perella Weinberg Partners. Contrairement à d'autres tours récemment rénovées, celle-ci a déjà un locataire, ERDF, qui y installe son siège en septembre 2014.

La première phase de cette rénovation se terminait à la mi-mars avant l'aménagement intérieur. Elle coûte 33 millions d'euros HT.

INTERVENANTS

Propriétaire : Perella Weinberg Partners.

Maîtrise d'ouvrage déléguée : Aitarea Cogedim.

Architecte : Silvio Pettracone.

Maîtrise d'œuvre d'exécution : Egis Bâtiments.

Bureaux d'études techniques : Lafi Engineering, JL Lefebvre, Coteba, Green Affair.

Façade : Façade 2000.

Groupement d'entreprises piloté par : Créatis, filiale de Spie Batignolles.

DIGUES SURVEILLÉES PAR FIBRE OPTIQUE

L'installation d'un nouveau système d'auscultation de deux endiguements sur le Rhin vient de se terminer. Près de 45 km de fibre optique ont été posés sur les biefs de Gamsbheim et d'Iffezheim au nord de Strasbourg (Bas-Rhin). Voies navigables de France (VNF) qui gère le fleuve frontière avec l'Allemagne au nom de l'Etat, se doit de vérifier et rehausser la sécurité de ces ouvrages conformément au décret de 2007⁽¹⁾.

Jusqu'à présent, ces barrages de 13 et 25 km étaient surveillés visuellement et à l'aide de piézomètres qui informent sur le niveau d'eau et les fuites éventuelles. VNF a confié la maîtrise d'œuvre du projet à Safège (mandataire) qui a travaillé avec Géophyconsult, ce dernier avec EDF-Centre d'ingénierie hydraulique (CIH). « *Le Rhin a été endigué très tôt afin d'assainir les terres avoisinantes, rappelle Éric Schmitt, responsable de l'unité territoriale du Rhin de VNF. Les pentes étant moins importantes en aval de Strasbourg, l'endiguement est nécessaire pour que le fleuve reste navigable. La population doit être protégée des grandes crues. De petites fuites peuvent s'agrandir et faire de gros dégâts. Nous recherchons un suivi plus fin, en temps réel, évolutif dans le temps et avec un gain de coût.* »

Les études ont commencé par un diagnostic de sûreté et une campagne de reconnaissance. L'analyse a détecté les zones d'imbibition et de fuites et les risques d'érosion interne généralisée ou localisée⁽²⁾. « *Cela a permis de repérer les attentes de pathologies et de bien positionner la fibre,* » développe Alain Cassard, directeur de projets chez Safège.

→ Lien fréquence et température

La fibre a été posée en tranchée tout le long de chaque endiguement. Le signal lumineux envoyé dans le faisceau revient



Sur le Rhin, la surveillance fine des endiguements évite qu'une petite brèche ne s'aggrave et permet d'alerter la population avant une forte crue.

sur une fréquence qui dépend de la température de la fibre. Cette température varie selon la présence d'eau dans le corps de digue. Le temps que le signal met à revenir sert à localiser le point anormal. La fibre optique est spécialement conçue par Acome. Elle est très conductrice de chaleur ou de froid ainsi que son enveloppe tout en résistant à son environnement. Les données relevées sont traitées dans une centrale d'acquisition puis transmises à un centre de gestion par antenne radio.

→ Phase d'apprentissage

Ont également été raccordés au système par antenne GSM une trentaine de piézomètres. Enfin, sur chaque bief, des stations de mesure du niveau d'eau du Rhin alertent les services de sécurité en cas de chargement excessif dû à une crue.

L'exploitation des mesures enregistrées nécessite une phase d'apprentissage. Il faut déterminer le différentiel de température significatif selon les zones dans l'ouvrage. En cours de pose, ont été relevées les températures existantes afin de servir de référence.

L'utilisation de la fibre optique pour surveiller des barrages a été expérimentée par EDF-CIH, en particulier sur la Durance à Oraison (Alpes-de-Haute-Provence) et sur le canal de la Marne au Rhin à Contrisson (Meuse). ■

⁽¹⁾ Ouvrages classés B (article R214-113 du code de l'environnement) ; décret n°2007-1735 du 11 décembre 2007 sur la sécurité des ouvrages hydrauliques.

⁽²⁾ **Érosion généralisée** : avec la saturation d'eau, les particules fines migrent vers l'extérieur.
Érosion localisée : irrégularité de la perméabilité du corps de digue.

BÉTON ÉTANCHE DANS LA MASSE

La création de niveaux en sous-sol contribue à la densification d'occupation des villes mais elle nécessite des dispositifs d'étanchéité. Les bâtiments doivent être mis à l'abri des nappes phréatiques et de toute venue d'eau extérieure.

Sika propose un béton étanche dans la masse pour les fondations et les réservoirs en béton armé. Il l'a mis en œuvre en Suisse pour le parking souterrain du siège de la Fédération internationale de football et dans le centre aquatique de Bilston (Midlands, Angleterre) mais pas encore en France (à fin 2013). Le concept de béton étanche dans la masse ne nécessite aucun revêtement supplémentaire. La formulation du produit est spécifique à chaque chantier avec intégration des technologies de béton de fluide à autoplaçant, et d'additifs d'étanchéité (Sika WT). Les points singuliers comme les joints et les passages de canalisation sont traités par des bandes d'arrêt d'eau ou des joints hydrogonflants. Le fabricant établit ensuite une recommandation pour la mise en œuvre sur le site.



Baie d'acquisition des données relevées par la fibre optique et poste de commande du système.

2,25 MILLIONS D'EUROS

Le nouveau système de surveillance par fibre optique des biefs de Gamsbheim et d'Iffezheim sur le Rhin coûte 2,25 millions d'euros HT dont :

- Études : 250 000 euros ;
- Pose de fibre optique : 1,2 million (25 euros/ml) ;
- Fourniture de 47 km de fibre : 100 000 euros ;
- Piézomètres et limnigraphes (enregistreurs de niveau d'eau) : 200 000 euros ;
- Local technique et mise en route du système d'auscultation : 200 000 euros ;
- Travaux annexes : 300 000 euros.

INTERVENANTS

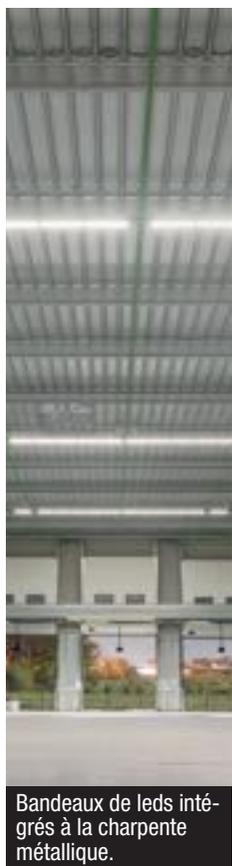
- Maîtrise d'ouvrage** : Voies navigables de France.
- Maîtrise d'œuvre** : Safège (mandataire, filiale Suez Environnement).
- Groupement d'entreprises** : Sogea (groupe Vinci), Cegelec et GTC Kappelmeyer.
- Fournisseur fibre optique** : Acome.



Utilisation au bassin du centre aquatique de Bilston (Angleterre).

PANNES MÉTALLIQUES LUMINEUSES

La nouvelle plate-forme de messagerie Heppner de La-Roche-sur-Yon (Vendée) est éclairée par des leds. Briand Energies et Neolux ont conçu Starbeam, un éclairage destiné aux grands halls industriels ou logistiques. Les leds, dont l'intensité peut varier selon la luminosité extérieure, sont incorporés dans la charpente métallique qui, ainsi, contribue à diffuser la lumière en bandeaux. La plate-forme de 4 000 m² sous 8 m de haut est éclairée par 100 m de pannes métalliques lumineuses fournissant 300 lux au sol pour une puissance installée de seulement 13 kW, soit 4 W/m². L'éclairage est homogène et doté d'une protection anti corrosion. Starbeam serait rentable dès la troisième année de fonctionnement. Briand Energies offre une garantie de six ans ou 36 000 heures de fonctionnement.



Bandeaux de leds intégrés à la charpente métallique.

PHOTOVOLTAÏQUE : PLACE À L'AUTOCONSOMMATION



Capteurs photovoltaïques en Allemagne où l'autoconsommation se pratique.

« Développer l'autoconsommation des kilowattheures photovoltaïques est une évolution naturelle pour les installations résidentielles (3-5 kW), a déclaré Sophie de Richecour, directrice prospective énergies nouvelles de Total⁽¹⁾. Il est logique que l'électricité soit consommée là où elle est produite pour optimiser les flux. Ainsi, les pertes en lignes sont-elles limitées. » Par ailleurs, le prix de revient du kilowattheure d'origine solaire va baisser tandis que celui issu des productions traditionnelles va remonter. « À court terme, nous voulons favoriser l'autoconsommation avec revente de surplus au réseau et à plus long terme associée à un stockage qui permet de reporter la production dans le temps et de couvrir les pointes de consommation, » ajoute M^{me} de Richecour.

Total s'engage dans la voie du mix énergétique avec une solution hybride couplant production électrique au gaz et au solaire, notamment à travers Sunpower dont il détient 70 % du capital. Les deux énergies sont complémentaires.

Les énergies nouvelles renouvelables productrices d'électricité, en s'intégrant dans le réseau existant, bousculent son fonctionnement. Il n'est plus possible d'envisager une installation photovoltaïque plaquée à côté d'un branchement au réseau sans vue sur l'ensemble. Le système énergétique se complexifie,

devient global et s'optimise grâce à des flux d'informations.

→ Dans cinq ou six ans

En France, l'autoconsommation associée à la revente du surplus est déjà une solution plus économique que l'achat de kilowattheures à EDF. En théorie. En pratique, ce n'est pas possible. Ou vous produisez de l'électricité solaire et vous consommez tout, ou vous vendez tout au réseau. La direction prospective de Total Energies nouvelles s'est toutefois penchée sur des alternatives et les a comparées entre elles.

En 2013, la revente de toute l'électricité solaire était plus intéressante financièrement que de se fournir en totalité sur le réseau. En effet, cette production est achetée par EDF à un prix supérieur au kWh traditionnel. La solution qui consis-

terait à auto consommer une partie, revendre et stocker le reste revient plus cher sur vingt-cinq ans⁽²⁾. Il faut attendre 2019 voire 2020 pour que l'autoconsommation avec revente et celle avec revente et stockage deviennent des solutions meilleures marché que l'achat d'électricité à EDF ou la revente de toute la production solaire.

→ Calcul sur vingt-cinq ans

À l'heure actuelle, la situation est plus favorable en Allemagne grâce à un kilowattheure traditionnel plus cher et la possibilité d'auto consommer tout en vendant sur le réseau. Il est plus intéressant d'auto consommer que de tout vendre. La solution avec stockage est un peu moins performante mais reste pertinente. Les calculs de Total prennent en compte un kilowattheure à 13 centimes d'euros en moyenne sur vingt-cinq ans, sur la base de 4,5-5,5 MWh consommés par an (maison).

Plusieurs mesures pourraient soutenir le développement de l'autoconsommation d'électricité d'origine solaire en France comme des tarifs d'achat en heures de pointe plus élevés, ce qui découragerait le soutirage au réseau. Les petits producteurs pourraient exporter sur le réseau quand ils le veulent et un opérateur se chargerait d'agréger cette énergie.

→ Subvention

Un bonus - subvention au kilowattheure auto consommé - abaisserait l'autoconsommation avec revente de l'excédent à 12 centimes d'euros contre 18 pour la revente et 15 pour l'achat extérieur. Et ceci dès 2017. ■

⁽¹⁾ Intervention sur "l'application du stockage d'énergie au solaire photovoltaïque distribué" aux journées stockage d'énergie, 5-6 novembre 2013, Association technique énergie environnement (www.atee.fr).

⁽²⁾ Investissement et coût de fonctionnement (LCOE : levelized cost of energy).

SYNDICAT ET MINISTÈRE, AUSSI

Le syndicat des professionnels de l'énergie solaire, Énerplan, soutient l'autoconsommation de kilowattheures électriques d'origine solaire. Il propose de consommer 20 % sur place pour les particuliers et 80 % pour les entreprises à côté d'une refonte tarifaire du rachat de l'électricité produite.

De son côté, la Direction de l'énergie et du climat au ministère de l'Écologie a confirmé qu'elle avait créé fin 2013 un groupe de travail sur l'autoconsommation et l'autoproduction d'électricité renouvelable.

AGENDA

ÉVÉNEMENTS

• 9 AU 11 AVRIL

Journées de la géothermie

Lieu : Paris (Cité des sciences et de l'industrie)
www.afpg.asso.fr

• 14 AU 17 AVRIL

Solutions Transport : de la recherche au développement

Lieu : Paris (La Défense)
www.traconference.eu
ou <http://tra2014.sciencesconf.org>

• 16 AVRIL

Optimiser trafics, infrastructures et mobilités en agglomération

Lieu : Paris (La Défense)
www.idrim.org

• 15 MAI

Forum des Travaux publics

Lieu : Halle Freyssinet (Paris 13^e)
www.fntp.fr

• 11 AU 13 JUIN

Salon Smart Grids

Lieu : La Défense (Cnit)
www.sgparis.fr

• 30 JUIN AU 2 JUILLET

Eurodyn, 9^e conférence internationale sur la dynamique de structures

Lieu : Porto (Portugal)
www.iabse.org

• 16 AU 18 JUILLET

Passerelles

Lieu : Londres (Angleterre)
www.iabse.org

NOMINATIONS

CEREMA :

Bernard Larrourou est le premier directeur général du Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement créé en 2013 (voir *Travaux* janvier-février 2013 page 12).

CGEDD :

Patrice Parisé est le nouveau vice-président du Conseil général de l'environnement et du développement durable qui conseille le gouvernement dans ces domaines.

CIMBÉTON :

Robert Huet est président du bureau du Centre d'information sur le ciment et ses applications en remplacement d'Hugues de Penfentenyo. François Redron en prend la direction générale.

DÉVELOPPEMENT DURABLE :

Rouchdy Kbaier a été nommé inspecteur général de l'administration du développement durable sur proposition du ministre de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie.

JCB SAS :

Philippe Girard a été nommé directeur général de la filiale de JCB en France.

PAYSAGE :

Catherine Muller a été élue présidente de l'Union nationale des entreprises du paysage. Elle succède à Emmanuel Mony.

QUALIBAT :

Dominique Tarrin est directeur général de Qualibat, organisme de qualification et de certification d'entreprises de la construction. Il prend la suite de Marie-Dominique Monségur, retraitée.

SAUR :

Jérôme Le Conte a été nommé président exécutif du groupe Saur. Jean-Pierre Rodier est président du conseil de surveillance de Hime, société du groupe.

SMAVIE BTP :

Patrick Bernasconi a été élu président de la SMAVie BTP (assurance vie). Il succède à Alain Dupont.



CAISSE NATIONALE DES ENTREPRENEURS DE TRAVAUX PUBLICS

Au service de la Profession des Travaux Publics

Nos missions :

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

La CNETP regroupe **7 400 entreprises** de Travaux Publics et assure le calcul et le versement de prestations dues à plus de **267 000 salariés**.

Nos coordonnées :

• Par courrier :

31 rue le Peletier - 75453 PARIS CEDEX 09

• Par Internet : www.cnetp.fr

• Par fax : 01.70.38.08.00

• Par téléphone :

- pour les entreprises : 01.70.38.07.70

- pour les salariés : 01.70.38.07.77

• Serveur vocal (24h/24) : 01.70.38.09.00



LIGNE B DU MÉTRO DE RENNES MÉTROPOLÉ : MAÎTRISER LES RISQUES SANS OUBLIER L'INNOVATION

ENTRETIEN AVEC GUY MALBRANCKE, DIRECTEUR GÉNÉRAL DÉLÉGUÉ DE LA SEMTCAR PROPOS RECUEILLIS PAR MARC MONTAGNON



© MARC MONTAGNON

Pour la construction de la ligne b du métro de Rennes Métropole, préférant au principe de précaution qui tend à annihiler toute décision créative, celui, plus pragmatique, de prévention, la Semtcar⁽¹⁾ en lien étroit avec son maître d'œuvre Egis Rail et Arcadis ESG, a développé une démarche inédite en matière de maîtrise des risques. Celle-ci est poussée aux ultimes possibilités susceptibles d'être prises en compte en travaux souterrains.

Ce qui ne l'empêche pas d'innover puisqu'elle a choisi - c'est une première au niveau international - le système de transport CityVal de Siemens, dernière génération de métro entièrement automatique sur pneus de la famille VAL avec système de guidage par rail central.

Guy Malbrancke, directeur général délégué de la Semtcar nous présente les tenants et aboutissants de cette démarche.

Quelles sont, en quelques mots, les caractéristiques de cette démarche ?

Prenons le cas du lot 1, le lot du tunnel foré au tunnelier, des 9 stations et des 4 puits associés. Pour ce lot, le maître d'œuvre du génie civil a identifié 153 risques. Il a été demandé aux entreprises en concurrence de réagir sur la façon dont le maître d'œuvre envisageait leur traitement. Il leur a même été demandé de s'approprier le registre des risques fourni au point d'indiquer dans leur marché à quel

niveau elles plaçaient chacun d'entre eux : risque résiduel pris en charge par l'entreprise, partagé entre l'entreprise et le maître d'ouvrage ou pris en charge par le maître d'ouvrage.

Avant d'aborder plus en détail la façon dont ces risques sont répertoriés, quelles sont les raisons du choix d'un métro plutôt que d'un tramway ?

La première ligne de métro de Rennes Métropole a été mise en service en mars 2002 à la suite d'une réflexion

entamée dès 1986. On s'était posé à cette époque la question d'un transport en site propre. Plusieurs villes en France avaient alors opté pour le tramway et d'autres pour le métro de type VAL. À Rennes, après analyse entre métro et tramway sur un axe nord-sud en centre-ville, nous avons choisi le métro automatique léger de type VAL pour deux raisons majeures de géomorphologie urbaine : d'une part, le centre historique de la capitale bretonne est constitué exclusivement de petites rues et donc dépourvu de

grands axes de circulation nord-sud, d'autre part, la gare SNCF est adossée à un coteau de telle sorte qu'il était impossible de l'atteindre aisément en surface sur l'axe nord-sud.

La seule possibilité, la plus réaliste et la plus pratique pour mettre la ligne b en connexion directe avec la gare SNCF, notamment la gare TGV, et pour atteindre le centre-ville historique, était de desservir le cœur de ville en souterrain par un métro automatique de petite dimension et à grande fréquence. Pour des coûts d'investisse-

© ZÜNDEL ET CRISTEA, ARCHITRAM



2

© SUSAN DUNNE, BERRANGER ET VINCENT



3

ment assez proches, il s'avérait mieux adapté que le tramway à la configuration du centre de Rennes.

Il faut savoir que la gare de Rennes est un carrefour ferroviaire au centre d'une étoile à 5 branches qui dessert, outre la périphérie urbaine, l'ensemble de la Bretagne : vers l'ouest Brest via Saint-Brieuc et Morlaix et Quimper via Redon et Vannes, vers le nord Saint-Malo, vers le sud-est Châteaubriant, lignes auxquelles s'ajoute vers l'est Paris via Le Mans et Chartres.

Comment l'opération de construction de la ligne b est-elle montée ?

La réflexion pour la construction de la ligne b a démarré en 2001 et les premières études opérationnelles pour sa réalisation ont été menées à par-

1- Guy Malbrancke, directeur général délégué de la Semtcar.

2- La station et le parc relais Les Gayeulles, la nuit.

3- Vue depuis le quai de la station Gros Chêne.

4- Le tracé de la ligne b, en bleu, avec le tracé de la ligne a, en rouge.

5- Niveau -2 de la station Saint-Jacques-Gaîté : vue depuis le quai.

6- Le métro Val dans le tunnel de la ligne a.

LIGNE B : LE PROJET

Dans sa globalité, le projet de la ligne b représente une ligne de métro automatique léger, sans assistant de conduite à bord, d'environ 13 km, avec 12 stations en tunnel ou tranchée couverte et 3 stations aériennes. Trois parcs relais en superstructure d'une capacité totale d'environ 2 000 places font également partie du projet.

Le bilan en termes d'insertion à partir du garage-atelier est le suivant :

- Une tranchée Sud de 1 500 m environ ;
- Un tunnel foré au tunnelier de 8 100 m environ ;
- Une tranchée Nord de 1 000 m environ ;
- Un viaduc de 2 400 m.

Les stations sont au nombre de 15, à savoir 3 stations aériennes (Beaulieu Université, Atalante, Cesson-Viasilva) et 12 stations souterraines (Saint-Jacques-Gaîté, La Courrouze, Cleunay, Mabilais, Colombier, Gares, Saint-Germain, Sainte-Anne, Jules Ferry, Gros-Chêne, Les Gayeulles, Joliot-Curie). Les stations Gares et Sainte-Anne permettront les correspondances avec la ligne a par des liaisons souterraines. Les quais des stations, équipés en portes palières toute hauteur, ont une longueur d'environ 35 m pour être compatibles avec l'évolution future de la longueur des rames ; seulement 22 m seront utilisés à la mise en service de la ligne à la fin de la décennie. Quatre puits de secours et de désenfumage sont disposés en interstation pour répondre aux règles de sécurité en tunnel.

Cette ligne reliera les quartiers Nord de la ville de Saint-Jacques de la Lande, les quartiers Sud-Ouest, Centre et Nord-Est de la ville de Rennes, et le quartier Nord-Est de la ville de Cesson-Sévigné. Le garage atelier (GAT) de la ligne b se situe à la Maltière sur la commune de Saint-Jacques-de-la-Lande au sud-ouest de la ligne et le poste central de commande viendra s'implanter à côté du poste central de commande de la ligne a dans les bureaux du garage atelier situé à Chantepie (au sud-est de la ligne a au-delà de la rocade sud de Rennes).

La ligne b du métro automatique de Rennes Métropole



© DR

tir de 2006 pour parvenir à un début des travaux de génie civil en octobre 2013 et une mise en service prévue en 2019. Le maître d'ouvrage en titre est Rennes Métropole qui a lancé en 2006 un appel d'offres pour un contrat de mandat, gagné par la Semtcar. La Semtcar a été créée en 1992 pour prendre en charge la construction de la ligne a du métro et l'exploitation des transports collectifs de l'agglomération. Depuis 1998, l'exploitation a été confiée à Keolis et la Semtcar concentre son activité sur la construction, dont, désormais, celle de la ligne b.

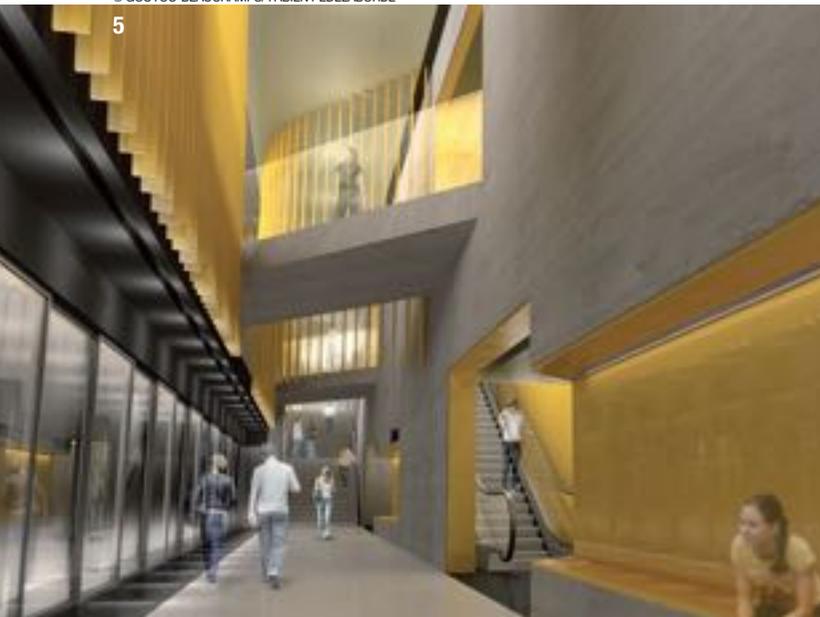
Quels en sont le coût et le financement ?

La réalisation de la ligne b représente un investissement total tout compris de 1.194 M€ valeur 2010, répartis de la façon suivante : 90,7 M€ financés par l'État, 90 M€ par la Région Bretagne, 30 M€ par le département d'Ille-et-Vilaine, 11 M€ par la Communauté Européenne et le solde par Rennes Métropole.

La part financée par Rennes Métropole est couverte par la taxe du « versement transport », instituée en 1983 et perçue auprès des entreprises et administrations de plus de 9 salariés, à hauteur de 2%. Cette taxe couvre à la fois l'investissement et l'exploitation.

Le plan de financement élaboré fin 2007 a mis en évidence qu'il fallait demander un effort aux usagers des transports au travers d'une réévaluation annuelle des tarifs (2% au delà de l'inflation) auquel s'adjoint une participation des communes au budget transport ; le montant des emprunts devrait se situer à hauteur de 600 M€. Toutes les opérations financières relèvent de Rennes Métropole dans le cadre de son budget propre. ▶

© GOUYOU-BEAUCHAMPS/ FABIEN PEDELABORDE



5

© DR



6

La Semtcar agit en tant que mandataire de Rennes Métropole pour réaliser la ligne b. Notre montage opérationnel s'appuie sur un maître d'œuvre unique chargé du génie civil et sur un industriel du système de transport qui fournit la voie, le matériel roulant, les rames de métro, les automatismes et les équipements liés au système.

Le sous-sol rennais constitue un environnement géotechnique délicat. Quelles mesures avez-vous prises pour vous prémunir contre les incidents de parcours qui pourraient résulter de cette géologie capricieuse et qui ont d'ailleurs été rencontrés lors de la construction de la ligne a ?

L'expérience vécue a été mise à profit afin de trouver des moyens de sécuriser la réalisation de la ligne b. Il m'est apparu dès 2007 que cette sécurisation passait par la maîtrise des risques à engager en tant que maître d'ouvrage. Lors de l'élaboration du contrat de maîtrise d'œuvre, nous avons donc élargi le périmètre de ses missions à cette démarche, en nous y engageant fortement nous-mêmes.

Pour nous, la maîtrise des risques concernait non seulement celle des travaux en souterrain mais aussi celle de l'ensemble des lots de génie civil et du système de transport. Nous avons dès lors cherché à sortir d'une maîtrise des risques théorique pour entrer dans une maîtrise des risques pragmatique. Pour nous, la démarche s'applique à tous les niveaux : le niveau 1 concerne la maîtrise d'ouvrage (Semtcar, Rennes Métropole...), le niveau 2 relève de la maîtrise d'œuvre génie civil et équipements et de Siemens en charge de la conception de son Système et le niveau 3 s'applique aux concession-



© DR
7

LIGNE B : LES INTERVENANTS DE CONCEPTION

MAÎTRISE D'OUVRAGE : Rennes Métropole.

MAÎTRISE D'OUVRAGE DÉLÉGUÉE : Semtcar.

MAÎTRISE D'ŒUVRE DU GÉNIE CIVIL DES INFRASTRUCTURES : Egis Rail/Egis Bâtiment Centre Ouest, Arcadis ESG, Lheudé & Lheudé (architecte).

INDUSTRIEL DU SYSTÈME : Siemens France (solution « CityVal »).

naires de réseaux et aux entreprises de travaux. Chacun, à son niveau, est censé maîtriser les risques qu'il doit répertorier dans un registre établi dès la phase Avant-Projet sur la base de nombreux entrants : géotechnique, étude de vulnérabilité du bâti, enquêtes caves et fondation, etc. et adapté par la suite dans le cadre du déroulement de son activité.

Pour un risque donné, le registre définit la conséquence, la mesure préventive et la mesure corrective mais il ne s'arrête pas, bien sûr, aux seuls événements géotechniques.

La fiabilité des études, des données d'entrée et des investigations complémentaires a conduit la maîtrise d'œuvre à une proposition chiffrée de traitement des risques pour les lots de travaux souterrains, à inscrire au forfait ou au bordereau de prix de l'entreprise.

Au-delà des mesures préventives imposées dans la conception du maître d'œuvre, certains risques résiduels sont à endosser par le titulaire du marché dans le cadre de son forfait : risques majoritairement liés à la maîtrise d'une technique de construction et donc du savoir-faire du titulaire, notamment les risques géologiques de faible gravité qui peuvent être couverts par le titulaire sans incidence financière significative. Au bordereau de prix, les risques résiduels sont partagés entre le titulaire et le maître d'ouvrage et dans ce cas, un prix unitaire est créé au bordereau. Enfin, les mesures de couverture des risques qui ne font pas l'objet de rémunération, ni au forfait ni au bordereau de prix, sont considérées comme risques improbables. Si un tel risque devait survenir, les mesures de sauvegarde et/ou correctives feraient l'objet

d'un règlement en cours ou en fin de travaux ou seraient supportées, en cas de sinistre, par les assureurs.

Dans la pratique, au niveau de la réalisation, comment cette maîtrise des risques se traduit-elle pour les entreprises ?

Dans un premier temps, en phase de première offre pour le lot 1, toutes les entreprises devaient répondre au cadre imposé par le registre des 153 risques identifiés, complétés éventuellement par de nouveaux risques émanant de l'entreprise ; le risque résiduel, après mesures préventives, devait être classé selon trois types :

- **Type 1** : le risque résiduel est pris en charge par l'entreprise dans le cadre de son forfait ;
- **Type 2** : il est partagé entre l'entreprise et le maître d'ouvrage dans le cadre du bordereau des prix ;
- **Type 3** : il est mis à la charge du maître d'ouvrage.

Le candidat n'avait pas droit de modifier le détail estimatif fourni.

Dans un second temps, toujours en phase de négociation, les entreprises ont été invitées à fournir leur propre registre des risques selon une méthodologie imposée et scindée en quatre étapes.

La première étape consistait à classer les risques résiduels selon les trois types évoqués précédemment : type 1, type 2 ou type 3.

Ensuite, pour chaque risque de type 2, il était demandé à l'entreprise une répartition géographique et une confirmation ou adaptation ou création de prix unitaires destinés à la rémunération de la part à lui payer.

Dans une troisième étape, l'entreprise avait à proposer un bonus/ malus à appliquer à partir du détail estimatif



© ANTHRACITE, AMA
8



© ZÜNDEL ET CRISTEA, ARCHITRAM
9

(DE) en fonction de la rémunération finale (RF) des prestations liées à la survenance d'événements correspondant aux risques de type 2 : si $RF < DE$, application d'un bonus représentant un pourcentage de $DE - RF$, si $RF > DE$, application d'un malus représentant un pourcentage de $RF - DE$.

La quatrième étape consistait à définir une méthode d'établissement de prix nouveaux pour la rémunération de prestations liées à la survenance d'événements correspondant aux risques de type 3.

Sur la base de ce cadre en phase de négociation, comment se sont déroulées les offres finales et la mise au point des marchés ?

Les offres finales étaient différentes d'un candidat à l'autre en ce qui concernait le montant de la part au bordereau du devis estimatif personnalisé et le pourcentage de bonus/malus proposé. Certains ajustements ont ainsi été nécessaires en négociation, comme le plafonnement de quantités inscrites au bordereau ou le transfert de risques du type 2 au type 1. En phase de mise au point du marché, celui-ci une fois attribué, le registre des risques du titulaire, complété et modifié avec l'ensemble des questions/réponses, a été substitué au registre des risques du maître d'œuvre et annexé au CCAP (avec ordre élevé de priorité).

En phase de travaux, comment l'ensemble des mesures préventives sont-elles concrétisées par les entreprises ?

L'entreprise a des obligations de mise en place de dispositifs de surveillance des ouvrages avoisinants ainsi que d'élaboration d'une méthodologie

LES LOTS PRINCIPAUX

LOT 1 (tunnel foré, 9 stations et 4 puits associés) : Groupement Dodin Campenon Bernard SAS (mandataire)/Spie Batignolles TPCI/GTM Ouest/Legendre Génie Civil/Spie Fondations/Botte Fondations.

LOT 2 : 1,2 km en tranchée couverte et 2 stations associées.

LOT 3 : 1 km en tranchée couverte et 1 station associée.

LOT 4 : viaduc de 2,4 km.

présentée au visa du maître d'œuvre pour le pilotage du tunnelier et pour la réalisation des stations profondes. Un logigramme décisionnel est ainsi élaboré avant le démarrage des travaux et mis à jour en fonction des besoins. Il faut noter à ce sujet que le maître d'œuvre a un rôle prépondérant de veiller à la mise en œuvre effective des obligations du marché inscrites au forfait et de préconiser au cours du chantier, au vu des retours du terrain, les travaux relevant du bordereau de

prix unitaire (BPU) ; il faut noter que le maître d'œuvre n'est pas intéressé par le partage du bonus qui s'applique selon la consommation ou non du BPU ; il est intéressé, par ailleurs, dans le cadre de son propre contrat, par étapes successives, aux économies réalisées sur le coût prévisionnel initial du maître d'ouvrage en matière de génie civil.

En cas de nécessité, il est prévu l'intervention d'un collège multipartite d'experts (entreprise, maître d'œuvre, maître d'ouvrage).

A relever que le Plan établi de Management des Risques (PMRi) est examiné au cours des travaux et peut être amené à évoluer.

Au niveau des assurances, votre démarche relative à la prévention et à la maîtrise des risques contribue-t-elle à une révision à la baisse des contrats d'assurances ?

Avant de parler d'assurances, retenons, et ceci est fondamental pour moi, que l'ensemble de la démarche mise en œuvre à Rennes est, de mon point de vue, extrêmement sécurisante pour l'ensemble des intervenants à l'acte de construire. Il s'agit d'une démarche de gagnant-gagnant pour tous où chacun connaît ses responsabilités, le rôle qu'il

a à jouer au cours de la réalisation des ouvrages sans perdre de vue la préservation de ses propres intérêts.

Pour répondre à votre question, nous avons effectué de nombreuses démarches auprès des assureurs et de leurs réassureurs pour leur expliquer les avantages pour eux que leur procurait notre initiative, notamment en matière de travaux souterrains.

Ils nous ont d'abord dit que, si nous n'avions pas entrepris une telle approche, ils ne nous assureraient pas, dont acte. Au final, et c'est là où je suis déçu, ils nous semblent cependant rester dans une démarche de mutualisation des risques inter-projets, traumatisés par quelques sinistres de grande ampleur par exemple sur le métro du Caire ou sur le dossier d'Heathrow : ils imaginent le Sinistre Maximum Possible et font leur cotation à partir de là. Dans ce contexte, vu le travail de prévention des risques que nous avons entrepris, je suis en train de me demander si nous allons nous assurer : c'est une question que je vais poser aux élus. Quoiqu'il en soit, le planning de l'opération initié en 2007 est intégralement respecté. Les déviations de réseaux préalables aux travaux de Génie Civil sont achevées. Le Lot 1 « tunnel foré au tunnelier, 9 stations et 4 puits associés » a été attribué fin août 2013 avec un démarrage effectif des travaux depuis le 7 octobre 2013. Le lot 2 « tranchée couverte sud et stations associées » démarre début février 2014 et les lots 3 « tranchée couverte nord et stations associées » et 4 « viaduc » début mars 2014.

20 autres lots de second œuvre sont actuellement en cours d'attribution. □

1- Semtcar : Société d'Économie Mixte des Transports Collectifs de l'Agglomération Rennaise.

7- Le Cityval de dernière génération qui sera mis en service sur la ligne b.

8- La station aérienne Atalante : vue perspective du niveau quai.

9- La station « Gares » : vue générale du volume intérieur.

10- Niveau -4 de la station Sainte-Anne.

11- La mezzanine niveau -2 de la station Colombier.

© CANAL ARCHITECTURE, T.ROTY, 8'18", BETEREM



© GOUYOU-BEAUCHAMPS / FABIEN PEDELABORDE





1

© EPC-FRANCE

EPC-FRANCE LE MINAGE SUR MESURE EN TOUTE SÉCURITÉ

REPORTAGE DE MARC MONTAGNON

QU'IL S'AGISSE DE CONSTRUIRE UNE ROUTE, UNE AUTOROUTE OU UN PONT, DE CREUSER UN TUNNEL, DE PRÉPARER UN ABATTAGE EN CARRIÈRE, DE CONFORTER UNE FALAISE OU UN TALUS DE GRANDE HAUTEUR, DÈS LORS QUE LE SOUS-SOL EST ROCHEUX IL EST PRESQUE TOUJOURS NÉCESSAIRE DE RÉALISER DES TRAVAUX DE FORAGE PRÉALABLEMENT À LA MISE EN ŒUVRE D'EXPLOSIFS OU DE TIRANTS D'ANCRAGE. EPC-FRANCE, UN DES TOUS PREMIERS SPÉCIALISTES FRANÇAIS DANS LE DOMAINE DE LA FABRICATION ET DISTRIBUTION D'EXPLOSIFS, INNOVE EN INTÉGRANT TOTALEMENT SA STRUCTURE TRAVAUX ALPHAROC DANS SON PÉRIMÈTRE. CETTE NOUVELLE ENTITÉ REGROUPE LES MÉTIERS DE PRODUCTION ET DISTRIBUTION D'EXPLOSIFS (FRANCE ET EXPORT), INGÉNIERIE MINAGE, MINAGE ET TRAVAUX SPÉCIAUX. L'INTÉGRATION DE LA STRUCTURE TRAVAUX PERMETTRA À EPC-FRANCE DE PROPOSER À SES CLIENTS UNE OFFRE GLOBALE AVEC AU CENTRE DE SES PRÉOCCUPATIONS LA SÉCURITÉ, LA QUALITÉ ET LE RESPECT DE L'ENVIRONNEMENT.

Philippe Cappello, directeur commercial d'EPC-France et Président du Synduex⁽¹⁾, retrace les grandes lignes d'une histoire qui a débuté en 1893 à Saint-Martin-de-Crau pour aboutir en 2013 à l'intégration totale de la société de travaux

spéciaux Alpharoc dans EPC-France, dont l'activité déborde largement du cadre hexagonal.

Après avoir développé les dynamites, puis les gels, le nitrate-fuel et enfin les émulsions, EPC-France et le groupe EPC sont devenus l'un des acteurs

1- Route du Littoral à La Réunion : pose de grillage par hélicoptère.

majeurs en Europe, en Afrique et au Moyen-Orient dans les domaines du minage et des travaux spéciaux en proposant une offre globale. Cette offre peut être déclinée soit en explosifs traditionnels fabriqués en usine soit en explosifs fabriqués sur

site, domaine où EPC est un des précurseurs, que ce soit pour les travaux en surface comme pour les travaux en souterrain.

Au-delà de la qualité du produit explosif, c'est la maîtrise et l'ajustement des mécanismes de l'abattage (implantation des forages, métrologie, séquence d'amorçage, ingénierie du minage...) qui conditionne l'efficacité du tir et donc la rentabilité de l'exploitation.

« *Le dénominateur commun de l'ensemble des travaux réalisés par EPC-France, au travers de sa "marque travaux" Alpharoc, c'est le trou foré, indique Philippe Cappello, ces forages peuvent être ensuite "équipés", soit de barres d'ancrage, soit de tirants, soit d'explosifs.* ».

RETOUR EN ARRIÈRE

L'entreprise Alpharoc a été fondée en 1986 sous le nom de STIPS (Société de Travaux Industriels et Publics Spécialisés).

En 2000, cette société a cédé une participation majoritaire au groupe EPC, l'un des leaders européens dans la fabrication et la vente d'explosifs encartouchés et en vrac.

Fin 2008, la société a amorcé un nouveau virage au sein du groupe EPC en adoptant le nom d' "Alpharoc".

Alpharoc était déjà issue de la fusion de cinq sociétés de minage et de travaux spéciaux : DTS - FMO - Pyrénées Minage - Simeco et STIPS qui couvraient tous les départements français. L'entreprise est certifiée ISO 9001 et ISO 14001.

Aujourd'hui, elle constitue une marque dédiée aux travaux spéciaux :

- Le minage en carrières, en mines et sur les chantiers de Travaux Publics, grands ou petits ;
- Les travaux sur les sites d'accès difficile et la sécurisation de falaise, via

© MARC MONTAGNON



2

LE GROUPE EPC EN BREF

Fondé il y a plus d'un siècle, le groupe EPC est l'un des principaux acteurs indépendants dans son cœur de métier - les explosifs et le forage/minage - dans la Zone Europe, Afrique et Moyen-Orient.

En 2003, EPC a créé un pôle démolition - Démosten - qui est l'un des leaders de ce métier.

Aujourd'hui, le groupe EPC, c'est près de 1 600 collaborateurs au sein d'une trentaine de sociétés travaillant pour le compte d'opérateurs de mines, de carrières et de Travaux Publics dans plus de 15 pays.

Son chiffre d'affaires de l'ordre de 290 M€ se répartit de la façon suivante :

- Explosifs : 44 %,
- Forage / minage : 23 %,
- Démolition : 22 %,
- Autres : 11 %.

2- Philippe Cappello, directeur commercial de EPC-France.

3- LGV Est Européenne à Reims : béton projeté sur talus sous contrainte SNCF.

4- Tir de mine en carrière.

la maîtrise des techniques de travaux sur corde (Pose de grillage, de filet ASM, d'écrans pare-pierres...);

- Les fondations et consolidations de sols (parois clouées, micropieux, grillage, tirants actifs, microberlinoises, travaux d'injections...);
- Le foudroyage ;
- La fabrication d'explosifs (en mines et carrières à ciel ouvert avec les UMFE, en tunnels/galeries et

mines souterraines avec le système MORSE) ;

- Les chantiers à l'export dans tous les métiers de l'entreprise.

Dans le domaine des travaux sur corde, par exemple, Alpharoc a procédé, sur les lots n°2 et 3, à la sécurisation de la Route du Littoral à La Réunion (RN1), qui reste à ce jour le plus grand chantier de travaux sur cordes jamais réalisé. Dans celui des soutènements, ses interventions concernent essentiellement des travaux de paroi clouée et de béton projeté.

Dans le secteur des fondations, elle est spécialisée dans le marché des micropieux (jusqu'à 300 mm).

L'entreprise a une forte implication, en tant que membre, dans le Syndicat des Utilisateurs d'Explosifs (Synduex). Elle a participé à sa création.

TROIS MARQUES COMMERCIALES

Depuis le 1^{er} juin 2013, Alpharoc a fusionné dans EPC-France pour former une seule entité regroupant la production d'explosifs, leur distribution, la vente de services associés et la réalisation de travaux spéciaux. Le nom générique de EPC-France englobe trois marques commerciales : EPC-France Explosifs, EPC-France Solutions et Alpharoc.

Désormais, c'est EPC-France qui intervient sous ce nom dans tous les départements français avec ses quatre agences implantées dans l'ouest, le nord-est, le centre, le sud et le sud-ouest.

L'usine de production, classée Seveso 2, est basée à Saint-Martin-de-Crau, près d'Arles (13), dans un quartier baptisé "la dynamite" qui doit son nom à la création, en 1893, sur ce site, de la Société Anonyme d'Explosifs et de Produits Chimiques par Eugène-Jean Barbier, premier président d'EPC. ▷



3



4



Le point de départ du développement d'EPC est la production et la mise en œuvre d'explosifs qui constitue le cœur de métier du groupe : au milieu du 20^e siècle, le groupe EPC a déposé le premier brevet pour la fabrication de nitrate-fuel et, 40 ans plus tard, il est devenu un des majors européens des fabricants d'explosifs et premier opérateur de forage-minage au niveau européen. « Une autre spécificité du groupe, précise Philippe Cappello et, par voie de conséquence, d'EPC-France, est d'avoir développé des solutions efficaces et innovantes pour les sites d'extraction ou de terrassement nécessitant une consommation d'explosifs importante : les Unités Mobiles de Fabrication d'Explosifs sur site (UMFE) ». Ces UMFE sont adaptées aux travaux dans les mines et carrières à ciel ouvert et les porteurs peuvent être adaptés aux travaux de terrassement ainsi qu'aux travaux en souterrain. Les explosifs produits sont de type émulsion et/ou nitrate-fioule. Ces UMFE permettent une optimisation du remplissage des forages, associée à une amélioration de la sécurité lors de la fabrication et de

la mise en œuvre des produits explosifs. « C'est une activité qui connaît un développement important et qui se trouve au cœur de notre "business model", poursuit-il, pour plusieurs raisons : les UMFE permettent de fabriquer des nitrate-fioule et des émulsions sur site en mélangeant des produits non explosifs. Ces unités réduisent de façon appréciable le risque lié au transport et au stockage des produits explosifs, ainsi que la pénibilité du travail puisqu'elles suppriment la manutention par les salariés des sacs ou cartons d'explosifs. Elles contribuent à une optimisation technique des opérations de minage puisqu'elles permettent de mettre en œuvre dans les forages, avec un meilleur remplissage, des quantités et des qualités d'explosifs adaptées aux conditions géologiques et structurales du site. D'un point de vue environnemental, la quantité de déchets d'emballage se trouve considérablement réduite ». Ces solutions de fabrication sur site, associées à la parfaite maîtrise de la géométrie des forages, permettent à l'entreprise de garantir à ses clients l'efficacité et la rentabilité de l'exploitation.

5- Paroi clouée sur la tête Est du tunnel de Sa-verne de la LGV Est Européenne.

6- Réalisation de puits marocains à l'explosif.

7 & 8- Autoroute Taourirt - Oujda au Maroc : béton projeté sur talus.

M.O.R.S.E.[®] (voir encadré) et une centaine de "boutefeux", c'est-à-dire de spécialistes du minage, titulaires du CPT, et habilités par des agréments préfectoraux à mettre en œuvre des explosifs dans toutes les configurations. Ces moyens sont encadrés par plus de 20 techniciens et ingénieurs expérimentés, dotés d'outils et de technologies de pointe dans le domaine de la métrologie du forage et du tir ou de la conception de plans de tir. Cela représente environ 300 personnes et un chiffre d'affaires 2014 estimé de 65 M€ pour la France et l'export.

EPC-FRANCE EN 2014

En 2014, EPC-France, c'est un siège social et une usine à Saint-Martin-de-Crau, la production de 19 000 t d'explosifs dont 14 000 t consommées en France (40% du marché français) et 5 000 t exportées, un réseau de distribution constitué de 4 régions basées à Simiane-Collongue (13), Chassieu (69), Cheuby (54) et Nantes (44), 12 dépôts d'explosifs de timbrage compris entre 50 et 120 t, une centaine de camions de livraison d'explosifs, 17 UMFE, 6 UMFE spécifiques dédiées aux tunnels mettant en œuvre le système

DES RÉFÉRENCES DIVERSIFIÉES

Si la Route du Littoral, sur l'île de La Réunion, avec ses 13 kilomètres de travaux de haute voltige, demeure l'une de ses références emblématiques, EPC-France est intervenue et intervient régulièrement, plus près de nous, sur des chantiers tout aussi importants et représentatifs du dynamisme des entreprises françaises de Travaux Publics. Il faut noter à cet effet les travaux de minage réalisés sur les lignes de TGV actuellement en construction :





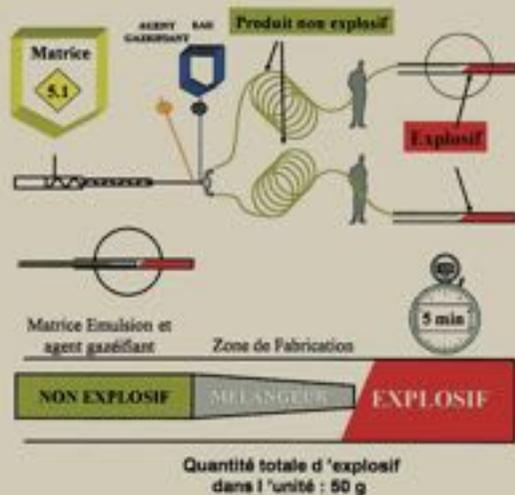
© EPC-FRANCE

LE SYSTÈME M.O.R.S.E.®

Le système M.O.R.S.E.® (Module de Repompage et Sensibilisation d'Emulsion) permet la production d'une émulsion explosive directement au front de taille dans le trou de mine. Il contribue à l'amélioration des conditions de sécurité (très forte réduction de la manipulation des produits pyrotechniques), de sûreté (réduction très importante du risque de détournement de produits pyrotechniques du chantier), à l'amélioration de la productivité (facilité de chargement, gain de temps au niveau du cycle global) et à la réduction de certains postes (suppression des ateliers de préchargement des explosifs, stockage des produits pyrotechniques sur site réduit à son strict minimum).

Développé depuis plus de 10 ans, le système M.O.R.S.E.® constitue une réponse sûre et économique aux problèmes rencontrés lors du creusement de tunnels en méthode traditionnelle et notamment à l'explosif (techniques, logistiques, réglementaires...).

À ce jour, 23 unités sont en service dans le monde dont près de 80% sont affectées dans les secteurs du tunnel et de la mine. Le reste est mis en œuvre pour des opérations de minage à ciel ouvert.



12

→ Bretagne - Pays de Loire (BPL) pour le compte d'Eiffage sur le lot B ;

→ Sur le lot 9 du chantier Sud-Europe-Atlantique (SEA) pour le compte de l'entreprise Valérian.

« Sur la SEA en particulier, souligne Philippe Cappello, EPC-France a réalisé les puits marocains du Viaduc de la Boivre (86) qui lui ont permis de mettre en œuvre le panel de ses métiers : puits déroctés à l'explosif, confortement en descendant par béton projeté, terrassement des puits ».

« Notre société est, à ma connaissance, la seule entreprise de travaux spécialisés française intégrant cette double compétence minage et confortement au sol et en falaise. La reconnaissance de ce savoir-faire spécifique par nos clients est démontrée par nos dernières références dans ces domaines. »

EPC-France est également présente sur plusieurs sites de minage et de confortement de têtes de tunnel :

→ Tunnel de Saverne du TGV Est pour le compte de Vinci ;

→ Tunnel de Chabrières pour le compte de Spie Batignolles ;

→ Minage et sécurisation de la tête du tunnel du barrage EDF de Sarrans pour le groupement Vinci-Razel-Bec

9 & 10- Système M.O.R.S.E.® sur porteur Gateman.

11- Tunnel de Saint-Béat : fabrication d'explosifs avec le système M.O.R.S.E.®.

12- Schéma de principe du système M.O.R.S.E.®.

(à proximité d'une usine hydroélectrique en service) ;

→ Confortement et terrassement de la tête de tunnel du Poste Source à Monaco. Ce chantier est situé au pied de la gare SNCF, dans une zone très fortement urbanisée et avec des contraintes draconiennes liées au maintien de la circulation.

Elle intervient dans d'autres domaines toujours liés au minage et au confortement :

→ Fabrication et mise en œuvre d'explosifs au front sur le tunnel de Saint-Béat, avec mise en œuvre

du système M.O.R.S.E.® pour un groupement piloté par Guintoli (31) ;

→ Travaux de micro-minage en site urbain pour le lycée hôtelier de Monaco ;

→ Travaux de sécurisation de falaise par clouage et béton projeté pour la centrale nucléaire de Penly ;

→ Travaux de réalisation de tirants actifs de forte capacité (tirants 12 T15) pour le pont sur la rivière Saint-Étienne à la Réunion ;

→ Travaux de confortement de talus par clouage et béton projeté sur l'autoroute Taourirt-Oujda pour le compte de l'ADM (Autoroute du Maroc) ;

→ Travaux de démolition à l'explosif avec abattage à l'explosif du barrage de l'Ayrette (09) pour le compte de NGE...

À noter qu'avec plus de 30 km de tunnels creusés à l'explosif en France depuis 2008, EPC-France et son concept M.O.R.S.E.® ont signé une véritable réussite technique et commerciale. Il faut savoir qu'en France, grâce à cette technologie et depuis 2004, 95% des chantiers souterrains creusés à l'explosif ont été confiés à EPC-France.

« LE MINAGE CONTRÔLÉ » EN MINES ET CARRIÈRES

En ce qui concerne les carrières, la société EPC-France est présente sur plus de 800 sites d'extraction et a développé la technologie dite du « minage contrôlé ».

Ce concept a été mis en œuvre pour la première fois en 2003 dans les Carrières du Bassin de la Sandre CBS (59) du groupe Carrières du Boulonnais. Puis ces techniques ont été déclinées sur les sites Eurovia de la région Nord, sur la carrière de Magnésie Dolomie de France (MDF) du groupe Lhoist, près de Boulogne-sur-Mer, sur les cimenteries Calcia de Gargenville et de Bussac-la-Forêt.

Avec cette méthode, chaque trou de mine est chargé sur mesure, avec une analyse systématique de chaque tir grâce à :

→ Un profilage 3D du front ;

→ Un contrôle des déviations de trous par sonde inclinométrique ;

→ Une conception des plans de tirs basée sur mesure et sur un contrôle énergétique à l'aide du logiciel Expertir 3D®.

Cette méthode permet de définir et d'ajuster par rapport au volume réel à ▷



13



14

© EPC-FRANCE

abattre la quantité d'énergie explosive mise en œuvre au droit de chaque trou et ce pour un résultat granulométrique donné.

Elle permet d'assurer une reproductibilité et donc une qualité continue sur chaque tir conforme aux standards de l'industrie extractive.

LE MICROMINAGE

Dans une autre application, mais avec le même souci de réduction des nuisances, EPC-France est également l'un des spécialistes des opérations de microminage en site urbain, à proximité immédiate d'un environnement construit. Le microminage se caractérise par des charges unitaires infé-

rieures à 1 kg avec un grand nombre de détonateurs et des séquences de mise à feu permettant de réaliser des tirs sans risque pour l'environnement avec un respect des seuils de vibrations et de bruit imposés par la réglementation, et, bien entendu, en toute sécurité.

Réalisés aux cœurs des villes, ces tirs sont couverts par des protections spécifiquement dimensionnées pour chaque chantier (par exemple des boucliers métalliques).

Le microminage est actuellement la solution la plus économique pour terrasser le rocher si l'on analyse globalement le rendement du couple coût-délai.

13- Réalisation d'ancrages sous contraintes routières sur la Route du Littoral à La Réunion.

14- Pas de tir des fusées Soyouz en Guyane : minage, micropieux et béton projeté.

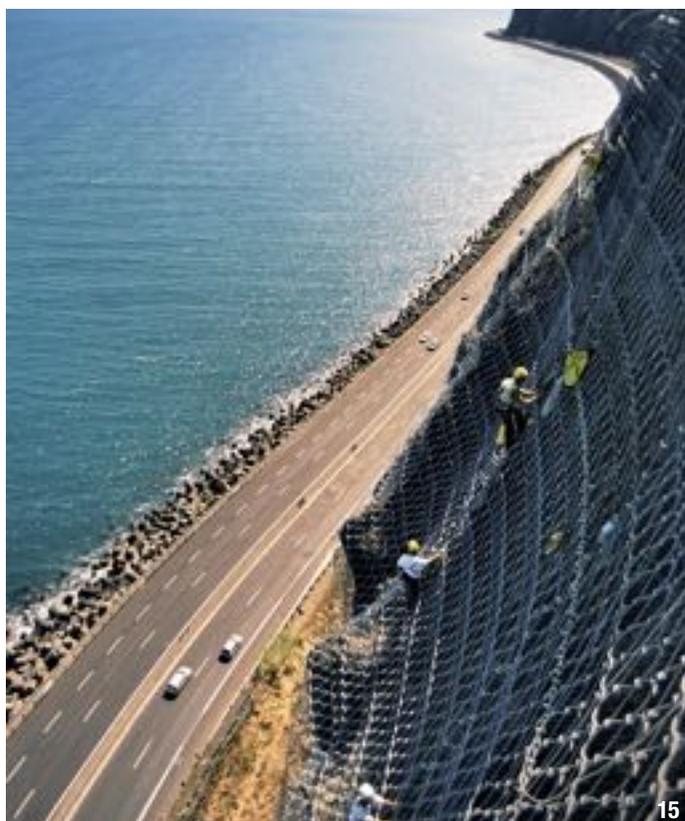
15- Île de La Réunion : protection par filets ASM sur la Route du Littoral.

16- Chargement d'un tir en falaise selon la technique des travaux sur cordes.

FORTE PRÉSENCE EN OUTREMER

Hors de l'hexagone, EPC-France affiche une présence de longue date sur tous les départements ultramarins via ses unités de fabrication d'explosifs sur site.

Philippe Cappello en explique les raisons : « Ces UMFE nous permettent de nous affranchir des problèmes de stockage que l'on rencontre sur les îles. En effet, l'insularité ne permet pas de garantir la pérennité d'approvisionnement des explosifs traditionnels à cause de la faible capacité des dépôts autorisés sur ces îles et du délai conséquent d'approvisionnement par bateau. Sur les grands projets où les quan-



15



16

© EPC-FRANCE



© EPC-FRANCE
17

tités d'explosifs sont importantes (2 000 tonnes sur le chantier de la route des Tamarins à La Réunion), la fabrication sur site permet de répondre aux besoins des clients aussi bien en qualité qu'en quantité ».

ASSISTANCE TECHNIQUE À L'EXPORT

À l'exportation, EPC-France peut s'intégrer à la prestation de l'une ou l'autre des sociétés du groupe en tant que prestataire et conseiller technique.

« C'est ainsi, indique Philippe Cappello, que nous avons détaché du personnel d'encadrement pour une assistance technique minage, à la filiale marocaine du groupe EPC-Marodyn, sur la carrière exploitée pour fournir les granulats et les blocs nécessaires à l'agrandissement du port de Tanger. En Norvège, nous collaborons avec EPC Norvège sur la mine de fer de Sydvaranger, où 15 000 tonnes d'explosifs par an sont fabriqués sur site et mises en œuvre dans les conditions climatiques les plus extrêmes ».

Les équipes de Recherches et Développement (EPC-Innovation) basées à Saint-Martin-de-Crau ont ainsi développé spécifiquement pour Sydvaranger des émulsions explosives fabriquées sur site pouvant être mises en œuvre à des températures jusqu'à moins 40 °C. En effet, cette mine est située à 400 km au nord du cercle polaire, à 2 250 km du Pôle Nord. Dans cette région, les températures de -30°C sont habituelles pendant plusieurs mois et la nuit polaire dure plus de deux mois, rendant les conditions de vie sur site encore plus difficiles.

Les unités mobiles de fabrication d'explosifs de Sydvaranger ont une capacité de 25 tonnes, permettant la mise en œuvre de près de 100 tonnes d'explosifs en vrac par jour par les équipes de minage.

17- Minage de déblais rocheux.

18- Abattage en carrière.



18

VERS L'INGÉNIERIE EN TEMPS RÉEL

On peut penser qu'à très court terme les dynamites, qui contiennent de la nitroglycérine, disparaîtront et seront remplacées par des produits déjà commercialisés tels que l'émulsion EXPLUS, produit aussi performant d'un point de vue énergétique qu'une dynamite mais beaucoup moins dangereux d'un point de vue pyrotechnique.

« Nous finalisons également le développement d'une émulsion fabriquée sur site à densité variable, précise à ce sujet Philippe Cappello. Cette technologie permet de faire varier en temps réel la densité du produit lors du chargement du trou afin d'adapter la quantité linéaire d'explosif aux épaisseurs réelles. À plus long terme et grâce à la révolution technologique sur les proces-

seurs et les moyens de communication (loi de Moore), nous pouvons considérer comme probable l'arrivée sur le marché de détonateurs électroniques couplés à des capteurs de vibrations permettant le pilotage en temps réel de la séquence de tirs et donc une gestion encore plus optimisée de la qualité des tirs dans leur environnement ».

Cette prochaine révolution technologique ouvrira les portes de la future ingénierie du tir : "l'ingénierie temps réel".

UNE PROFESSION PLURIDISCIPLINAIRE EN PERPÉTUELLE ÉVOLUTION

La mise en œuvre d'explosifs nécessite aujourd'hui un savoir-faire pluridisciplinaire impliquant des connaissances dans de multiples domaines : chimie, détonique, hydraulique, géotechnique,

géologie, acoustique, vibrations, trajectographie...

« L'image du transport d'explosif et du minage telle qu'elle apparaît dans le film "le salaire de la peur" est complètement obsolète, précise Philippe Cappello. Nous réalisons désormais pour les tirs des implantations géolaser, nous utilisons des détonateurs électroniques, des émulsions fabriquées sur site et chargées directement après avoir été fabriquées, des systèmes de profilage 3D des fronts en carrière par laser, des enregistreurs des paramètres de forage, des softwares de dimensionnement permettant l'optimisation des plans de tirs, l'analyse de la fragmentation et de la trajectographie des tirs, etc. »

Les charges unitaires utilisées peuvent passer de quelques centaines de grammes sur les opérations de micro-minage à plusieurs centaines de kilogrammes sur les tirs de casting (transport des matériaux à l'aide explosifs). C'est pourquoi la mise en œuvre d'outils de métrologie avant, pendant et après le tir est la seule méthode permettant de garantir sur la durée la qualité et la reproductibilité des tirs.

« Le minage est devenu une profession très technique et très réglementée, conclut-il, dans laquelle les aspects sûreté et sécurité prennent une part prépondérante. Pour être totalement maîtrisé, ce fantastique concentré d'énergie que constitue l'explosif doit donc être fabriqué et mis en œuvre par des spécialistes formés et habilités ». □

UN PARC DE MATÉRIELS SPÉCIFIQUES POUR UN SERVICE GLOBAL

Le parc de matériels dont dispose EPC-France lui permet de répondre à toutes les demandes de ses clients dans les domaines de la fabrication et distribution d'explosifs, du minage et des travaux spéciaux, tant en France qu'à l'étranger, pour des travaux à ciel ouvert, en falaise, ou en souterrain :

- 120 camions de distribution d'explosifs,
- 17 UMFE,
- 6 UMFE pour les tunnels (avec système M.O.R.S.E.®),
- 30 foreuses de minage Atlas Copco, Furukawa, Sandvik,
- 10 foreuses de confortement,
- 10 centrales d'injection,
- 12 guniteuses,
- 10 compresseurs.

1- Synduex : Le Syndicat des Utilisateurs d'Explosifs est l'un des syndicats spécialisés de la FNTP.



1
© PHOTOTHÈQUE ARCADIS

UNE GALERIE TECHNIQUE POUR L'INTERCONNEXION ÉLECTRIQUE FRANCE-ESPAGNE

AUTEURS : ALEXANDRE DESETTRÉ, INELFE - LOÏC THEVENOT, EIFFAGE TP - GUILHEM TEULADE, ARCADIS

AU TERME DE PLUS D'UNE ANNÉE D'EXCAVATION, UNE NOUVELLE GALERIE VOIT LE JOUR ENTRE LA FRANCE ET L'ESPAGNE, FRANCHISSANT LES PYRÉNÉES ENTRE LE BOULOU ET LA JONQUERA, POUR PERMETTRE LE PASSAGE DE LA LIAISON ÉLECTRIQUE ENTRE LES DEUX PAYS. SOUS MAÎTRISE D'OUVRAGE INELFE, LES TRAVAUX ONT MOBILISÉ DES ACTIVITÉS DE CREUSEMENT DIVERSES DANS DES CONDITIONS GÉOLOGIQUES PEU FAVORABLES (2 ATTAQUES EN MÉTHODE CONVENTIONNELLE ET 2 TUNNELIERS À DOUBLE BOUCLIER) ET LA RÉALISATION DE TRAVAUX D'AMÉNAGEMENTS COMPLEXES À CHAQUE TÊTE.

GENÈSE DU PROJET DE L'INTERCONNEXION ÉLECTRIQUE FRANCE-ESPAGNE

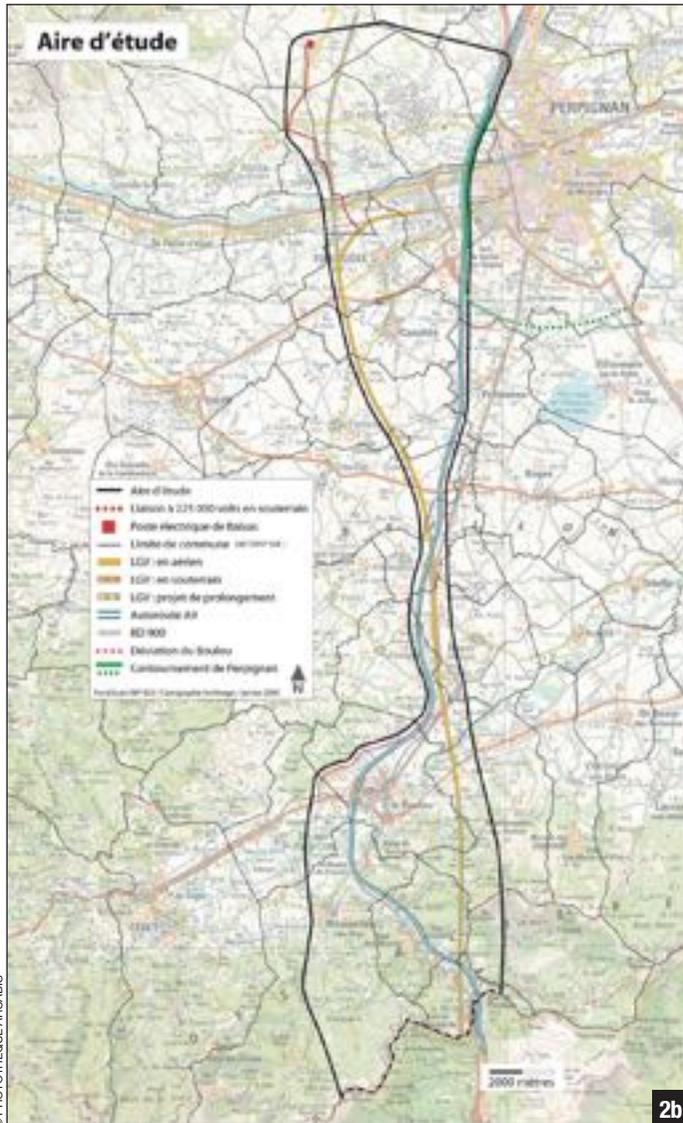
Le 6 septembre 2006, la Commission Européenne, par décision n°1364/2006/CE, établit des orientations complémentaires relatives aux réseaux transeuropéens d'énergie. Elle incite les États membres à mettre

en place une véritable coordination transfrontalière pour les projets prioritaires d'intérêt européen (tel que celui de renforcement de la capacité d'interconnexion électrique entre la France et l'Espagne) et ouvre la possibilité d'instituer un coordonnateur européen pour jouer un rôle de facilitateur lorsqu'un projet déclaré d'intérêt européen connaît des difficultés

1- Le tunnelier Canigou avant son entrée dans la chambre d'attaque.

1- The Canigou TBM before entering the working chamber.

de mise en œuvre. Devant l'impasse dans laquelle se trouvait le projet de renforcement de l'interconnexion électrique France-Espagne et la nécessité d'augmenter les capacités d'échange, les deux gouvernements décident le 16 novembre 2006, lors du sommet franco-espagnol de Gérone, de demander conjointement la nomination d'un coordonnateur européen.



2- a) Plan de situation du projet d'interconnexion électrique dans sa zone de franchissement des Pyrénées sous le col du Perthus ; b) Aire d'étude du projet.

2- a) Location drawing of the electrical interconnection project in the area where it passes through the Pyrenees under the Col du Perthus pass; b) Project design area.

DESCRIPTION DE LA LIAISON SOUTERRAINE LA LGV EXISTANTE OFFRE DES RECONNAISSANCES GRANDEUR NATURE

Le nouveau projet de liaison électrique bénéficie de la proximité de la liaison ferroviaire à grande vitesse entre Perpignan et Figueras, les deux ouvrages étant distants de moins de 50 m. De fait, la géologie et les conditions d'excavation étaient reconnues avec une précision peu habituelle pour un projet de cette longueur. Les deux tunnels franchissent le massif des Albères constituant l'extrémité orientale émergée de la chaîne pyrénéenne. Les terrains s'y composent de formations paléozoïques hétérogènes : les schistes de Montesquieu, les gneiss des Albères et les schistes de Maureilles-les-Cluses, recoupés par des formations intrusives : granites du Perthus et granitoïdes de Saint-Martindes-Albères. Ces formations intrusives représentent environ un tiers du tracé. À l'exception des schistes de Montesquieu (qui constituent un massif bien individualisé recoupé par la galerie sur environ 700 m), ces formations présentent des caractéristiques géotechniques assez bonnes avec des indices RMR de l'ordre de 50 à 80 (tableau 1).

À l'issue de la procédure de consultation au niveau européen, c'est le 12 septembre 2007 que Mario Monti a été officiellement désigné coordinateur du projet d'interconnexion électrique France-Espagne.

Dans son rapport final, Mario Monti propose aux deux gouvernements d'entériner officiellement le choix suivant pour l'interconnexion à très haute tension reliant les postes de Baixas et Santa Llogaia :

- Une ligne souterraine dans sa totalité ;
- En courant continu ;
- Et en empruntant un cheminement terrestre qui s'appuierait, dans la mesure du possible, sur des infrastructures existantes, à l'intérieur du périmètre d'étude de plus de 50 km (figure 2).

Le rapport préconisait l'institution d'une structure commune qui s'appuierait sur une structure technique unique autour des deux gestionnaires de réseau de

transport d'électricité français et espagnol (RTE et REE). Ces propositions ont été acceptées par les deux gouvernements, qui ratifient « l'accord de coopération sur l'interconnexion électrique » lors du sommet intergouvernemental de Saragosse le 27 juin 2008.

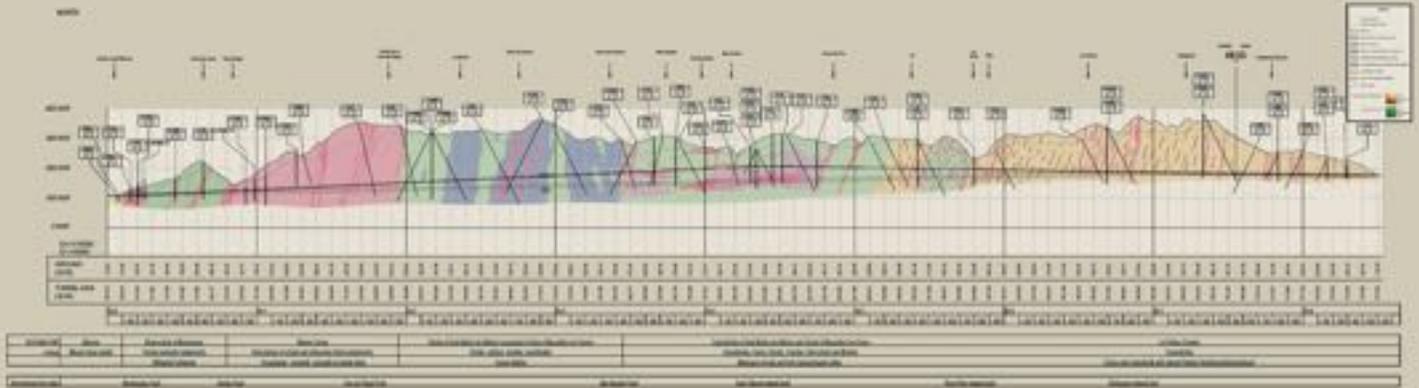
Suite à cette décision, de nombreuses variantes sont étudiées pour le franchissement des Pyrénées : intégration de la liaison dans l'emprise de l'autoroute A9,

création d'un tunnel plus ou moins long, intégration dans les pistes forestières... En définitive, le fuseau de moindre impact retenu est celui de la variante intégrant une galerie technique longue de 8,4 km entre Le Boulou (France) et La Jonquera (Espagne) ; cette proposition revient à donner l'avantage à une approche environnementale, avec des conséquences technico-économiques qui restent acceptables.

TABLEAU 1 : CARACTÉRISTIQUES GÉOTECHNIQUES DES UNITÉS RECOUPÉES PAR LA GALERIE

N°	Unit	Lithology	C' (MPa)	φ' (°)	E (MPa)	RMR (Average)	Q (Average)
RMS	MONTESQUIEU SCHISTS	Black schists	0,1	27	1 000	25 - 30	1 - 3
RAG	ALBERES GNEISS	Gneiss	0,6	45	7 500	40 - 60	10 - 30
RDS	DIORITE (SAN MARTIDES ALBERES) and SCHISTS (MAUREILLAS AND CLUSES)	Diorite and schists	2	50	30 000	60 - 90	30 - 150
RGD	GRANODIORITE (SAN MARTIDES ALBERES)	Granodiorite and schists Diorite	0,4	45	3 000	20 - 50	0,1 - 5
RPG	PERTHUS GRANITOIDES	Granite	0,4	40	3 500	40 - 70	1 - 30

PROFIL EN LONG GÉOLOGIQUE PRÉVISIONNEL



3

© PHOTOTHÈQUE ARCADIS

La difficulté réside principalement en la présence d'accidents géologiques affectant le massif sur plusieurs centaines de mètres ; la matrice rocheuse y est fortement tectonisée et broyée. Les accidents remarquables sont les suivants :

→ **La faille de Montesquieu** : orientée E-W, elle délimite les formations détritiques du bassin du Roussillon (Miocène), au nord, du massif des Albères, au sud. Il s'agit d'une succession de panneaux verticaux mylonitisés au sein desquels la tête Nord a été terrassée ;

→ **La faille du Boulou** : globalement orientée WNW-ESE, elle sépare les schistes de Montesquieu des Gneiss des Albères. Il s'agit d'une bande verticale de matériaux désagrégés (mylonite) recoupée sur 60 à 80 m par la nouvelle galerie, sous une couverture de moins de 20 m ;

→ **La faille du Creu del Signal** : ce réseau de fractures affectant les gneiss des Albères donne lieu à de fortes circulations d'eau ;

→ **Le complexe de Mas Anglade** : il s'agit d'un réseau de 3 familles de failles orientées N120 (sub-perpendiculaires au tracé), N-S (parallèles au tracé) et subhorizontales. Sur près de 1 km, le tracé recoupe ce complexe composé de matériaux très hétérogènes où alternent roche saine (ou peu altérée) et roche broyée ou tectonisée.

→ **La faille du Fort de Bellegarde** : d'orientation E-W et affectant les granites du Perthus dans la zone frontalière.

UN MODÈLE GÉOLOGIQUE QU'IL A FALLU AFFINER

La proximité de la LGV, distante de 50 m en moyenne du projet de liaison électrique, a permis d'établir un modèle

3- Profil en long géologique prévisionnel.

4- Section type du tunnel.

5- La galerie HVDC avant la pose des câbles électriques.

3- Projected geological longitudinal section.

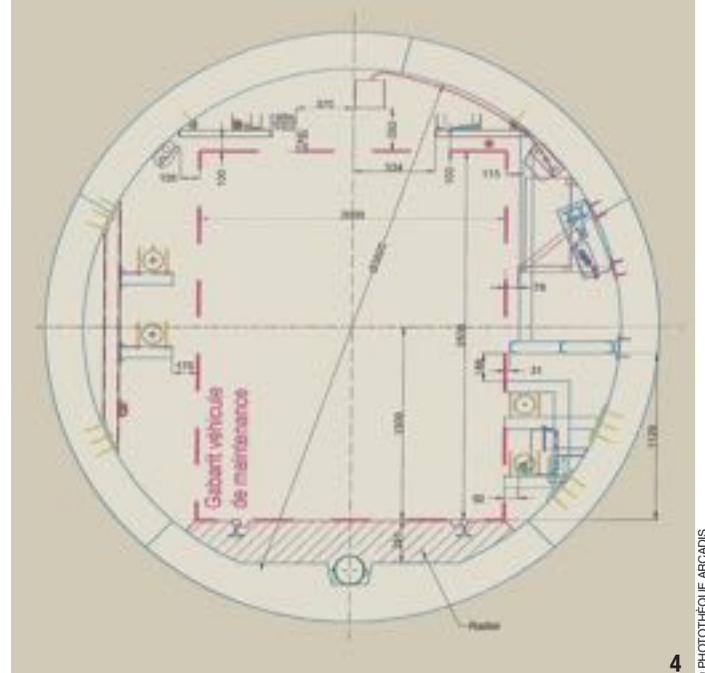
4- Typical cross section of the tunnel.

5- The HVDC gallery before laying the electric cables.

géologique prévisionnel fiable pour cette nouvelle galerie, et ce pour la grande majorité du tracé (figure 3). Les données héritées comprennent, en plus du retour d'expérience du creusement des deux tubes, une campagne de reconnaissances complète, d'environ 70 sondages profonds de 50 à 300 m de longueur pour un linéaire total de près de 12 km. Toutefois, dans certaines zones singulières, l'éloignement du tracé et les difficultés rencontrées pendant le creusement des deux tubes de la LGV ont conduit le groupement constructeur à réaliser une campagne de reconnaissances additionnelles :

→ Sur la tête Nord, pour caractériser avec précision l'épente Sud de la faille de Montesquieu, et ainsi implanter le tympan d'attaque en paroi clouée dans les formations rocheuses des schistes de Montesquieu, tout en définissant les conditions d'excavation des premiers mètres de la galerie ;

SECTION TYPE DU TUNNEL



4

© PHOTOTHÈQUE ARCADIS



5

© PHOTOTHÈQUE ARCADIS

6- Vue de la façade du bâtiment technique en tête Nord.

7- Installations de chantier en tête Sud.

8- Installations de chantier en tête Nord.

6- Facade view of the utilities building at the North portal.

7- Site facilities at the South portal.

8- Site facilities at the North portal.



© PHOTO THÉQUE ARCADIS

→ Dans la zone de la faille de Mas Anglade où 3 sondages carottés inclinés profonds ont permis d'identifier les zones géotechniques dans lesquelles les conditions d'excavation seraient favorables sur un linéaire de plus de 700 m.

LE TRACÉ

Les contraintes imposées pour les câbles de la liaison électrique n'étant pas les plus sévères (rayon minimal voisin de 20 m), le tracé a pu être modifié pendant les phases d'études

par le groupement constructeur. Il a été proposé un tracé et un profil en long adapté, et répondant aux contraintes géotechniques, environnementales, à l'aménagement urbain mais également aux critères vis-à-vis de la LGV existante :

→ Le tracé est implanté à 30 m et au-dessus de l'axe du tube Est du tunnel LGV : cette implantation permet de profiter des reconnaissances géologiques à proximité du projet tout en rendant négligeable l'influence de la

galerie technique sur la LGV, aussi bien d'un point de vue géomécanique que hydrogéologique ;

→ Sous le village du Perthus, le tracé est dévié afin d'éviter de passer sous les principales habitations. Cet éloignement relatif de la LGV, et l'absence de sondage dans cette zone a été validé, au préalable, par la réalisation d'un sondage carotté complémentaire de plus de 150 m ;

→ En tête Nord, les emprises des chantiers sont limitées pour réduire

l'impact environnemental du projet sur les espèces protégées, et particulièrement vis-à-vis du papillon "Damier de la Succise". Des mesures compensatoires sont en outre prévues ;

→ Dans la zone de faille de Mas Anglade, l'analyse des reconnaissances géotechniques additionnelles a permis de préciser le modèle géologique, et adapter le profil en long, évitant ainsi les difficultés rencontrées par les tunneliers lors du creusement de la LGV (fronts mixtes et sous-tirages avec pour conséquence une réduction de moitié des cadences). Avec cette adaptation et l'expérience acquise précédemment, la progression du tunnelier n'a pas été perturbée dans cette zone lors du creusement de la galerie technique.

Le profil en long est en toit et dissymétrique : au nord, la pente est voisine de 1,8% (sur près de 5 km), contre 0,5% au sud (sur 3 km). En plan, la galerie est parallèle à la LGV, hormis dans les zones de tête et sous le village du Perthus où elle s'en éloigne de près de 50 m pour éviter les principales habitations.

LE TUNNEL ET SES ÉQUIPEMENTS

La galerie recevra les quatre câbles électriques fonctionnant à une tension de ± 320 kV, lesquels mesurent près de 140 mm de diamètre et seront périodiquement inspectés par un véhicule automatisé circulant sur rails.

- Pour assurer des conditions d'inspection satisfaisantes, la galerie comprend les équipements suivants (figures 4 et 5) :
- Un radier de 30 cm d'épaisseur équipé de rails (circulation du véhicule d'inspection) ;
 - Un système de collecte des eaux d'infiltration ;
 - Un système d'alimentation électrique sur chemins de câbles, ainsi qu'un système de secours ;
 - Un éclairage, des antennes de communication, des transformateurs, des anémomètres et des thermomètres ;
 - Une ventilation automatisée assurée par deux stations de ventilation aux têtes de la galerie.

La ventilation a deux fonctions ; la principale est l'assainissement de l'air pour respecter des conditions d'humidité acceptables pour les câbles, lesquels dégagent de la chaleur en service. La fonction seconde de la ventilation est l'évacuation des fumées en cas d'incendie. La ventilation naturelle étant orientée de la France vers l'Espagne, elle doit pouvoir être inversée automatiquement. ▷



© PHOTO THÉQUE ARCADIS



© PHOTO THÉQUE ARCADIS

Son efficacité est gouvernée par la fermeture ou l'ouverture de portes asservies au système et installées à l'entrée des bâtiments techniques. Ces portes, associées à une instrumentation installée dans le tunnel (thermomètres et anémomètres) garantissent en continu les bonnes conditions de fonctionnement des câbles électriques.

LES ZONES DE TÊTE ET LES LOCAUX TECHNIQUES

Un local technique, accueillant la station de ventilation et les postes de commande électrique est prévu sur chaque tête (figure 6). Dans les deux cas, les bâtiments s'intègrent au site et dissimulent l'entrée de la galerie. De fait, les édifices sont partiellement enterrés et bénéficient d'une étanchéité soignée permettant de respecter les contraintes liées aux équipements électriques qu'abritent les bâtiments.

LES TRAVAUX LES INSTALLATIONS DE CHANTIER

À chaque tête, les installations de chantier sont dimensionnées pour l'activité de creusement au tunnelier et accueillent : une base travaux, la ventilation, une centrale de traitement des eaux, une centrale à mortier, un bassin de décantation, une zone de stockage du marin et des ateliers répartis sur des surfaces optimisées de 3 hectares au nord et 2 hectares au sud. La mise en place de ces installations a nécessité des travaux d'aménagement des plateformes adaptés aux contextes des zones de têtes :

→ Au sud (figure 7), les nouvelles installations ont bénéficié des aménagements réalisés pour la plateforme de la LGV (ancienne aire de stockage des voussoirs) ;

→ Au nord (figure 8), le relief accidenté et la proximité de la LGV a nécessité des terrassements importants pour la création d'une plateforme étagée sur 4 niveaux : déblais de 15 m de hauteur, paroi clouée de 12 m, création d'une nouvelle piste enrobée de plus de 800 m et remblaiement au-dessus d'un cours d'eau temporaire (ravin de Balmourène) avec création d'un ouvrage hydraulique de 150 m de longueur.

LE CREUSEMENT

La galerie est excavée au tunnelier à partir de deux attaques (côté français et côté espagnol), comprenant chacune d'elle un court tronçon réalisé en méthode conventionnelle :

→ Au nord (France), la faible couver-

ture (de l'ordre de 15 à 25 m) d'une part et la nature des terrains schisteux mylonitiques offrant une stabilité très précaire d'autre part, ont justifié la méthode d'excavation conventionnelle. Cette partie mesure près de 150 m de longueur pour une section de 40 m²

et une ouverture de 6 m environ. Le tympan est renforcé par une voûte parapluie de 17 tubes pétroliers de 12 m de longueur et boulons de verre dans l'emprise de la galerie. En tunnel, le soutènement est assuré par des cintres lourds tous les 1 à

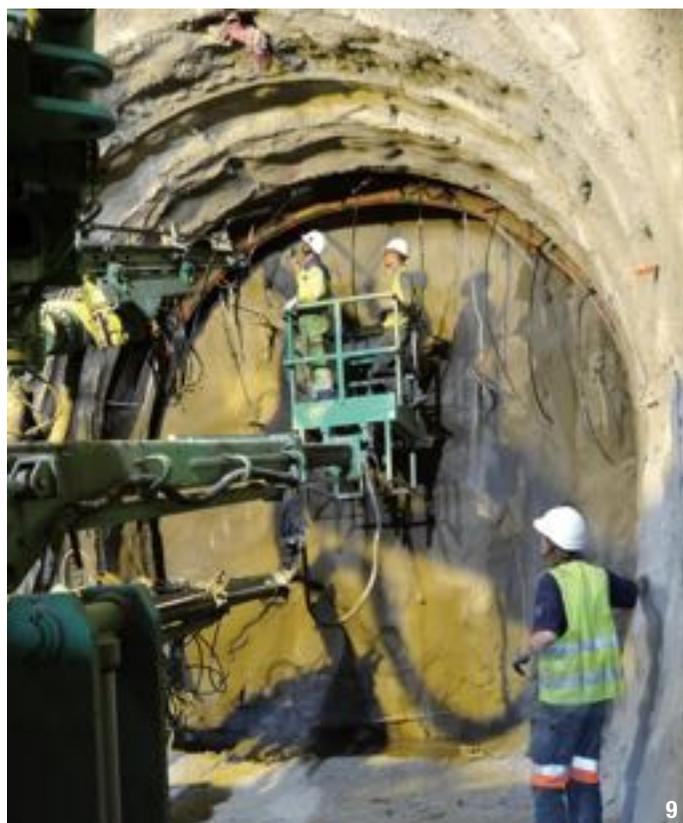
1,5 m, complétés par un pré-soutènement à l'avancement par boulons auto-foreurs en auréole (figure 9) et boulons en fibre de verre à front. Le revêtement définitif est assuré par une coque en béton coffré et une membrane d'étanchéité (figure 10).

9- Creusement du tunnel d'attaque côté nord creusé en méthode conventionnelle dans les schistes de Montesquieu - Mise en place de boulons en auréole.

10- Étanchéité et coffrage du tunnel conventionnel en tête nord.

9- Driving the working tunnel on the northern side, dug by conventional method in the Montesquieu shales - Ring placing of bolts.

10- Waterproofing and shuttering of the conventional tunnel at the North portal.



9

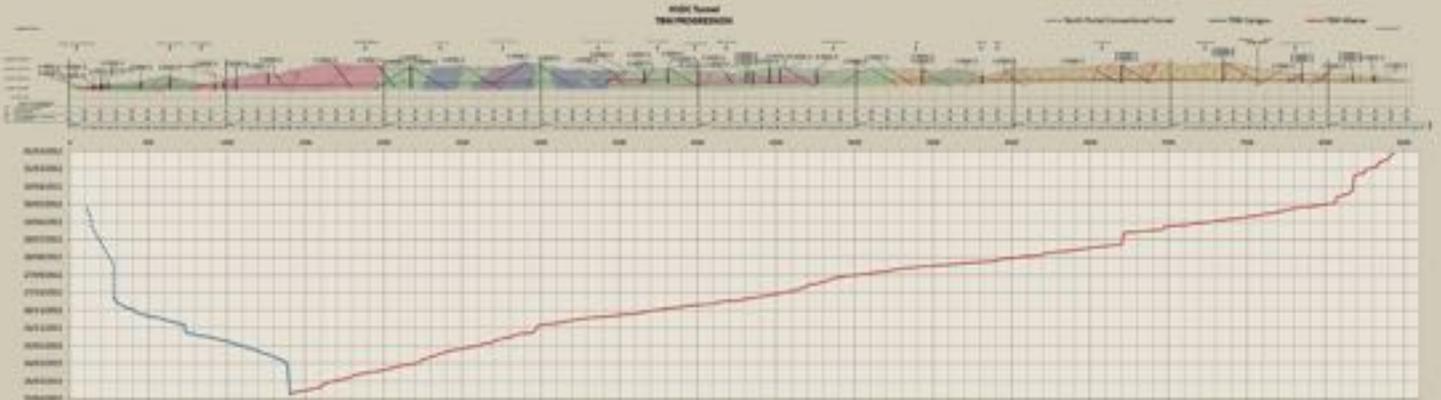
© PHOTOTHÈQUE ARCADIS



10

© PHOTOTHÈQUE ARCADIS

AVANCEMENT DU CREUSEMENT DES TUNNELIERS



11

© PHOTOTHÈQUE ARCADIS

→ Au sud (Espagne), l'attaque dans les granites sains permet de limiter la longueur du tunnel traditionnel à 20 m. Il est creusé à l'explosif sur une section de 45 m² (pour une ouverture de 7 m) et simplement revêtu d'un béton projeté et de cintres réticulés tous les 2 mètres. Après 6 mois de préparation, le 5 mars 2012, le tunnelier Alberas entame l'excavation depuis le sud, alors que le tunnelier Canigou débutera sa progression le 2 novembre 2012 (figure 11). Ce décalage de plusieurs mois est en partie lié aux travaux plus importants de la tête nord (plateforme de chantier et tunnel creusé en méthode conventionnelle) mais également à l'instruc-

11- Avancement du creusement des tunneliers.
12- Percement le 21 avril 2013.

11- Excavation progress of TBMs.
12- Drilling on 21 April 2013.

tion rendue nécessaire, quelques mois avant le début des travaux, d'une procédure administrative relative aux espèces protégées (flore-faune) sur les

emprises des installations de chantier de la tête nord (par exemple le papillon « Damier de la Succise »). Cette instruction a nécessité la détermination de mesures compensatoires afin de préserver l'habitat de cette population protégée.

Les tunneliers progressent 7 jours sur 7 et 24 heures sur 24. Les cadences atteintes sont :

- 13 m par jour en moyenne sur l'ensemble de la période de creusement ;
- 17 m par jour en moyenne hors période de mise en cadence ou d'arrêt pour cause extérieure au chantier ;

→ Des cadences record de 60 anneaux par jour (soit 78 m excavés) quand les conditions sont très favorables et sur le mois de septembre 2012, une cadence de 37 m excavés par jour (pour près de 1,1 km excavé ce mois-là).

Après avoir franchi 7 030 m, le tunnelier Alberas a atteint la chambre de démontage le 21 avril 2013 (figure 12), laquelle avait préalablement été aménagée à partir de l'attaque côté France. Le tunnelier Canigou avait auparavant terminé son excavation sur un linéaire nettement plus court (de l'ordre de 1 100 m) que son homologue espagnol.

CARACTÉRISTIQUES DES TUNNELIERS

Les tunneliers sont identiques : il s'agit de tunneliers Herrenknecht de type double jupe ; le bouclier a un diamètre de 4,27 m de diamètre et une longueur de 11,5 m.

Leurs caractéristiques sont adaptées aux terrains hétérogènes et aux fronts mixtes rocheux à fortement altérés. Le revêtement définitif est posé à l'avancement.

La roue de coupe est équipée de 23 molettes de 17" de diamètre, dont 4 doubles. La course de foration des tunneliers est de l'ordre de 3 m et leur motorisation possède une puissance de 1 500 kW.

La jupe est équipée de 2 réservations pour d'éventuelles reconnaissances divergentes, lesquelles n'ont jamais été nécessaires pendant les travaux d'excavation à l'exception d'un traitement préventif d'une zone aux caractéristiques géotechniques médiocres. Le train suiveur comprend 24 wagons s'étalant sur plus de 250 m de longueur.



12

© PHOTOTHÈQUE ARCADIS



© PHOTO THÉQUE ARCADIS

© PHOTO THÉQUE ARCADIS

Le système de marinage diffère selon les tunneliers : bande transporteuse pour l'attaque sud, d'une capacité proche de 250 t/h et wagons au nord. Cette différence était justifiée par la plus faible course prévue par le tunnelier Canigou, attaquant depuis le nord. Les anneaux du revêtement sont composés de 5 voussoirs (dont un voussoir de radier et un voussoir de clé trapézoïdal) en béton armé d'un diamètre intérieur de 3,5 m, de 1,3 m de longueur et de 0,25 m d'épaisseur. Ils sont équipés de barres de guidage aux joints longitudinaux, de bicônes de calage entre anneaux successifs et de joints EPDM pour garantir l'étanchéité de l'ouvrage entre anneaux. Le vide annulaire est comblé par du mortier injecté à l'arrière du bouclier. Les anneaux sont conçus pour répondre à toutes les conditions géotechniques : aussi 3 types de ferrailage sont prévus (les résistances les plus élevées étant réservées aux zones de faille), pour une épaisseur constante. À ces anneaux conventionnels s'ajoutent des anneaux en béton fibré, qui représenteront dans le tunnel un linéaire de 100 m environ.

La production des anneaux est localisée en Espagne, dans l'usine même qui avait produit les anneaux de la LGV, à 20 km environ de la tête Sud. Les anneaux sont acheminés par camion, à raison de 3 unités par trajet. Au total, la centrale a produit près de

6 300 anneaux dont 80 anneaux en béton fibré.

En cours de creusement, la nature des terrains a été relevée, et les paramètres d'excavation ont été systématiquement enregistrés : poussée des vérins, couple et vitesse de rotation, poids du marin, volume de mortier injecté. Cet enregistrement continu permettait, à l'avancement, de confirmer le profil en long géotechnique prévisionnel et d'adapter éventuellement le type d'anneau.

POINT DE RENCONTRE

Au terme de leur excavation, les deux tunneliers sont démontés dans une chambre sur-creusée dans le massif ; les éléments sont découpés et évacués par le côté nord de la galerie (figure 13).

Le tunnelier Alberas a débouché dans cette chambre avec une déviation de seulement quelques centimètres ; cette performance est à souligner au regard

13- Chambre de démontage des tunneliers -

- a) Forage des clous à l'abri du bouclier ;
- b) Arrivée du tunnelier dans la chambre ;
- c) Découpage de la roue de coupe ;
- d) Pose de l'étanchéité ;
- e) Pose des armatures du soutènement définitif ;
- f) Revêtement définitif en béton projeté.

PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES DES TUNNELIERS (ALBERAS ET CANIGO)

TUNNELIER HERRENKNECHT DE TYPE DOUBLE JUPE

RAYON DE COURBURE MINIMAL : 500 m

LONGUEUR DU BOUCLIER : 11,50 m

DIAMÈTRE D'EXCAVATION : 4,33 m

POIDS : 280 t (dont 40 t pour la roue de coupe)

NOMBRE DE VÉRINS DE POUSSÉE : 5

PUISSANCE : 1 500 kW

COUPLE : 3 000 kN.m

POUSSÉE MAXIMALE : 15 000 kN

VITESSE MAXIMALE : 11 tours par minute

ROUE DE COUPE : 19 molettes simples et 4 molettes double 17"

ESPACEMENT MOYEN DES MOLETTES : 80 mm

EFFORT NOMINAL SUR LES MOLETTES : 267 kN

MARINAGE : bande transporteuse (sud) et wagons (nord)

13- TBM dismantling chamber -

- a) Drilling nail holes sheltered by the shield;
- b) TBM arrival in the chamber;
- c) Cutting out by cutting wheel;
- d) Placing waterproofing;
- e) Placing reinforcing bars for the permanent supporting structure;
- f) Final coating of shotcrete.

de la longueur excavée (plus de 7 km), et des conditions de guidage très contraignantes dans une section très réduite et encombrée.

La chambre mesure 30 m de longueur ; elle est soutenue par des clous et une coque définitive de 20 cm d'épaisseur en béton projeté et treillis soudé.

Les clous ont été forés depuis des fenêtres découpées dans la jupe du tunnelier, permettant de travailler sans décousu et garantissant ainsi la sécurité du personnel pendant cette phase.

Pour garantir des conditions d'étanchéité optimale, ce tronçon est équipé d'une membrane PVC apposée entre le terrain soutenu et la coque de revêtement sur l'intégralité de la section (y compris le radier).

FRANCHISSEMENT ET TRAITEMENT D'UNE ZONE AQUIFÈRE

Entre les pk 1+400 et 1+600, le tunnelier Alberas a recoupé une zone aquifère produisant des débits d'infiltration de l'ordre de 25 à 30 m³/h. Ces arrivées d'eau percolaient par les joints entre éléments d'anneau, mais également par les trous de préhension des voussoirs, par où l'injection du vide annulaire était effectuée en condition courante, mais rendue difficile par ce contexte hydrogéologique sensible.

Au terme d'une campagne de traitement efficace par injection additionnelle du vide annulaire, les débits d'exhaure ont été réduits significativement à moins de 4 m³/h.

Toutefois, pour assurer des conditions de maintenance acceptables dans ce tronçon de tunnel, une partie des joints a été traitée par des bandes drainantes (figure 14) assurant le recueil des eaux en pied de radier.



14 © PHOTOTHÈQUE ARCADIS

14- Bandes drainantes entre voussoirs.

15- Frontière franco-espagnole.

14- Drainage strips between segments.

15- French-Spanish border.



15 © PHOTOTHÈQUE ARCADIS

CONCLUSION

Le choix d'une solution souterraine pour le franchissement des Pyrénées par la nouvelle liaison électrique a nécessité le creusement au tunnelier d'une galerie de 8 400 m. Bénéficiant des données acquises sur la LGV toute proche, le groupement constructeur franco-espagnol a entrepris le creusement avec deux tunneliers, permettant d'atteindre des cadences record de près de 80 m par jour. Courant 2014, la jonction des câbles et leur tirage sur plus de 8 km dans la galerie assurera la connexion électrique entre les deux pays. □

PRINCIPALES QUANTITÉS

- 8 200 m** excavés au tunnelier (1 100 m pour le tunnelier Canigou et 7 100 m pour le tunnelier Alberas)
- 170 m** creusés en méthode conventionnelle
- 125 000 m³** de déblais non foisonnés
- 6 300** anneaux posés, dont 80 anneaux en béton fibré
- Plus de **15 000 m³** de mortier de comblement du vide annulaire
- 250** clous de 12 à 20 m de longueur pour la paroi clouée en tête Nord
- 120** cintres lourds HEB 180
- 600 m³** de béton projeté fibré
- Plus de **350** boulons autoforeurs
- 400** clous en fibre de verre pour le tunnel conventionnel côté français

PRINCIPAUX INTERVENANTS

- MAÎTRISE D'OUVRAGE :** INELFE est une société commune détenue à parts égales par RTE et son homologue espagnol REE (Réseau de Transport d'Électricité RTE et Red Eléctrica de España REE)
- GROUPEMENT CONSTRUCTEUR :** HVDC Tunnel GEIE (Eiffage TP et Dragados)
- GROUPEMENT D'INGÉNIERIE :** Arcadis, Sener et Setec
- ASSISTANT À LA MAÎTRISE D'OUVRAGE :** Egis Tunnel et Typsa

ABSTRACT

A PIPE GALLERY FOR ELECTRICAL INTERCONNECTION FRANCE-SPAIN

A. DESETTRE, INELFE - L. THEVENOT, EIFFAGE TP - G. TEULADE, ARCADIS

On 27 June 2008 the Spanish and French governments signed an agreement for the establishment of a new electrical connection between Baixas (France) and Sant Llogaia (Spain). Managed by the contracting authority INELFE (a consortium formed of the grid managers from each country: RTE and REE), this new line will cross the Pyrenees in the Pyrénées Orientales region, following the route of the high-speed rail line. The choice of an underground solution proved most suitable from an environmental viewpoint, and for more than a year two tunnel boring machines dug a gallery 8.4 km long under the Albères Mountains. From the dismantling chamber as the meeting point for the two TBMs, through to the conventional excavation method at the working face, this project required using various techniques in an international environment. □

UNA GALERÍA TÉCNICA PARA LA INTERCONEXIÓN ELÉCTRICA FRANCIA-ESPAÑA

A. DESETTRE, INELFE - L. THEVENOT, EIFFAGE TP - G. TEULADE, ARCADIS

El 27 de junio de 2008, los gobiernos español y francés firmaron el acuerdo para la realización de una nueva conexión eléctrica entre Baixas (Francia) y Santa Llogaia (España). Bajo la Dirección de Obra de INELFE (agrupación compuesta por gestores de redes de cada país (RTE y REE), esta nueva línea cruzará los Pirineos en el departamento de Pirineos Orientales (66), uniéndose al trazado de la Línea de Alta Velocidad. Dado que la opción de una solución subterránea resultó ser la más adaptada desde un punto de vista medioambiental, se pusieron en marcha dos tuneladoras para excavar una galería de 8,4 km de longitud durante más de un año bajo la sierra de la Albera. Este proyecto requirió la aplicación de diferentes técnicas en un contexto internacional, desde la cámara de desmontaje como punto de encuentro de las 2 tuneladoras, hasta los ataques en método de excavación convencional. □

13 KM DE TUNNEL ENTRE FRANCE ET ITALIE. GALERIE DE SÉCURITÉ DU FRÉJUS

AUTEURS : ÉLISABETH FRÉDÉRIC MOREAU, INGÉNIEUR MÉTHODES, RAZEL-BEC - JEAN-CLAUDE DURAND, DIRECTEUR DE PROJET, RAZEL-BEC

APRÈS L'INCENDIE DANS LE TUNNEL DU MONT-BLANC EN 1999, LA LÉGISLATION EN MATIÈRE DE SÉCURITÉ DANS LES TUNNELS ROUTIERS A SUBI D'IMPORTANTES ÉVOLUTIONS. LA SOCIÉTÉ FRANÇAISE DU TUNNEL ROUTIER DU FRÉJUS (SFTRF) A DÈS LORS LANCÉ UN MARCHÉ POUR LA RÉALISATION D'UNE GALERIE DE SÉCURITÉ PARALLÈLE AU TRACÉ DU TUNNEL ROUTIER DU FRÉJUS EXISTANT, QUI RELIE LE PIÉMONT À LA SAVOIE. RÉALISÉE PAR RAZEL-BEC, CETTE GALERIE DE 8 M DE DIAMÈTRE FINI ATTEINT PRÈS DE 13 KM DE LONG. UN LINÉAIRE EXEMPLAIRE AUJOURD'HUI DANS L'ACTUALITÉ DES TRAVAUX SOUTERRAINS.

RAZEL-BEC s'est vu confier en 2009 la construction des 6 495 m correspondant au marché côté France. En 2011, l'entreprise a également été retenue dans le groupement constitué pour

les travaux du lot côté Italie, soit au total près de 13 km de creusement. Les deux tunnels distants de 50 m environ sont reliés entre eux par 34 abris de sécurité de 100 m². La création de 5 by-pass carrossables permet aux

équipes et engins de secours d'intervenir à partir de la galerie de sécurité. Les travaux portent également sur la réalisation de 6 stations techniques et de 2 usines de ventilation, permettant la mise à niveau des équipements.

LE CONTEXTE GÉOLOGIQUE

Le tunnel routier du côté France traverse les formations de la zone Briançonnaise externe composées d'une série d'écaillés très hétérogènes (anhydrites, cargneules, schistes verts)

© DOMINIQUE FEINTRENIE



sur les 1700 premiers mètres. Puis le creusement se poursuit exclusivement dans des schistes lustrés de la zone piémontaise (ou calcschistes) sous des hauteurs de couverture de 800 à 1800 m, pour terminer dans les moraines côté Italie.

LE CREUSEMENT

L'excavation de la galerie se décompose en deux parties.

Les 650 premiers mètres de la galerie côté France sont creusés de manière traditionnelle à l'explosif, avec un soutènement par boulonnage et béton projeté. La cadence moyenne d'excavation a été de 4,2 m par jour. Le revêtement est composé d'un radier et d'un anneau coffré et bétonné en place d'épaisseur variant entre 40 et 60 cm. Les mêmes techniques sont mises en œuvre sur une centaine de mètres côté Italie.

Les 12 km restants sont réalisés à l'aide d'une machine de creusement mécanique appelée tunnelier « roche dure ». Dans le but de préserver l'environnement et de limiter les transports, une partie des matériaux extraits sera concassée et réutilisée pour la construction du projet, le reste des déblais étant entreposé dans une

ancienne carrière à proximité de l'entrée du tunnel (lire plus loin, *L'environnement, une priorité*).

LE TUNNELIER

Le tunnelier est constitué d'un bouclier simple jupe à appui longitudinal et de 10 remorques équipées de tous les systèmes hydrauliques et électriques nécessaires au fonctionnement de la machine. Ces remorques permettent d'assurer également l'ensemble de la logistique et, notamment, l'approvisionnement des voussoirs, du mortier de bourrage et de la gravette ainsi que la ventilation.

Le tunnelier mesure 170 m de long. Il a été assemblé dans une chambre de montage souterraine située à 600 m de l'entrée de la galerie.

Le diamètre nominal du bouclier est de 9,46 m avec une conicité importante pour tenir compte du risque de convergence (figure 2).

La convergence caractérise la tendance naturelle du terrain à se refermer après le forage. Elle témoigne de contraintes tectoniques présentes dans le massif et/ou de la pression résultant du poids des terres au dessus de la galerie (couverture). Pour y faire face, et prévenir

tout coincement du tunnelier, il est prévu de pouvoir augmenter le diamètre d'excavation de la machine, de 10 cm dans un premier temps puis, dans un deuxième temps, de 20 cm. Les cadences moyennes d'excavation retenues sont de 15 mètres par jour. Le terrain est abattu par 64 molettes réparties sur la tête du tunnelier (figure 3).

La roue de coupe tourne à une vitesse variable entre 0 et 5,5 tours/minute, elle pèse 1000 t et elle est équipée de 12 moteurs électriques dont la puissance totale est de 4 200 kW.

La structure du bouclier est calculée pour résister aux poussées du terrain, au détachement de blocs éventuels, ainsi qu'aux efforts de poussée nécessaires à l'avancement et au guidage du tunnelier.

L'excavation avec un tunnelier à simple jupe apporte des réponses adaptées à la problématique du massif du Fréjus pour limiter les conséquences éventuelles de l'évolution des déformations et de la zone plastique, et pour améliorer la répartition des charges sur le revêtement :

→ Une section parfaitement circulaire (favorable dans les sections potentiellement convergentes) ;

1- Site du chantier de la galerie de sécurité du tunnel du Fréjus.

2- Montage du tunnelier dans la chambre.

3- Tunnelier roche dure pour la galerie de sécurité du Fréjus.

1- Construction site for the Fréjus tunnel safety gallery.

2- Assembling the TBM in the chamber.

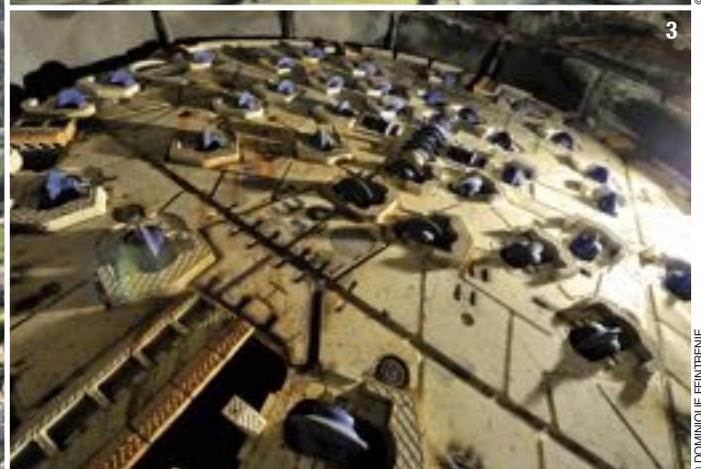
3- Hard rock TBM for the Fréjus safety gallery.



1



2



3

© VINCENT PHOTO

© DOMINIQUE FEINTRENE



4



5

© DOMINIQUE FEINTRENIÉ

- Des vitesses d'avancement plus rapides qu'en méthode conventionnelle (la durée moyenne entre l'excavation et la pose de l'anneau en sortie de bouclier est de 2 heures) ;
- Un terrain préservé autour de l'excavation (peu de vibrations, maîtrise de la géométrie) ;
- Un confinement à l'extrados des voussoirs dans une géométrie contrôlée (surcoupes).

LES ABRIS

Afin d'améliorer la sécurité du tunnel routier le plus tôt possible, les 17 abris du lot 1 ont été réalisés puis mis en service en simultané et au fur et à mesure de l'excavation de la galerie, ce qui a constitué un vrai challenge pour faire cohabiter de multiples attaques sur un seul tube (figures 8 et 9).

Le tunnelier travaillant pendant la semaine, et afin de limiter au maximum la co-activité entre les 2 chantiers, les abris ont été excavés à l'explosif essentiellement pendant le week-end. Les derniers mètres de l'abri ont été réalisés à l'aide d'une machine à attaque ponctuelle en raison de la proximité du tunnel routier.

Le génie civil et la pose des équipements ont ensuite été effectués en semaine.

LA TOPOGRAPHIE

Ce chantier est très varié au niveau des travaux et c'est également le cas pour la topographie. Le guidage du tunnelier étant automatisé, le service topographie est en charge de la mise en place et du suivi des stations de guidage. Des points ancrés sur les voussoirs servent de polygonale en galerie.

Ils permettent le guidage du tunnelier et sont recyclés en moyenne tous les 80 anneaux soit tous les 145 mètres. Cette polygonale est contrôlée régulièrement en effectuant des mesures avec les points situés dans du tunnel

routier, lors des percements d'ouvrages transversaux. Des mesures gyroscopiques sont également réalisées tous les 1500 m environ. Le service topographie est également très présent sur le chantier des abris

tout au long des travaux. Tout d'abord par l'implantation du futur ouvrage, puis avec le traçage des volées sur les 15 premiers mètres d'excavation. Des mesures profilométriques sont également réalisées tout au long de



6

© DOMINIQUE FEINTRENIÉ

4- Deux collaborateurs Razel-Bec dans le train suiveur du tunnelier de 170 mètres de long.

5- Stock des voussoirs sur la zone du Rieu Sec.

6- Logistique en hiver à l'entrée du tunnel côté France.

4- Two Razel-Bec workers in the TBM following train 170 metres long.

5- Stock of segments on the Rieu Sec area.

6- Winter logistics at the tunnel entrance on the French side.



7

© DOMINIQUE FEINTRENIÉ

l'excavation, après les tirs puis après l'application du béton projeté. En génie civil, tous les coffrages sont contrôlés en implantation avant bétonnage. C'est un chantier de précision tant au niveau de la galerie, puisque le tunnelier

devra déboucher dans la galerie traditionnelle déjà excavée côté Italie, qu'au niveau des abris, puisque côté tunnel routier, le sciage du revêtement et sa dépose ont été réalisés depuis la galerie avant l'excavation de l'abri.

Le service topographie est également en charge des auscultations des ouvrages extérieurs ainsi qu'en galerie, dont l'objectif est le suivi des déformations dans le massif et le revêtement des ouvrages.

UNE USINE DÉDIÉE À LA PRÉFABRICATION DE VOUSOIRS

L'usine de préfabrication de voussoirs, aujourd'hui située côté Italie, était initialement installée à St-Étienne-de-Cuines à environ 40 km du chantier côté France. Elle produit les voussoirs constituant le soutènement et le revêtement définitif de la galerie de sécurité du tunnel du Fréjus. Les voussoirs requièrent une précision dimensionnelle qui est obtenue grâce à l'élaboration de moules avec une précision géométrique de 0,3 mm. L'usine est largement automatisée avec un procédé de carrousel qui permet le déplacement des moules aux différents postes de travail (décoffrage, huilage, bétonnage...), une cabine de bétonnage insonorisée avec des capots moule automatique et une liaison directe avec la centrale à béton qui permet l'acheminement du béton avec une benne navette. Elle est également équipée d'une ligne d'évacuation qui permet le retournement des voussoirs et leur mise en stockage. Un prestataire occupe une partie de l'usine pour la réalisation des cages d'armatures avec un procédé tout aussi novateur qui est composé d'un carrousel pour le déplacement des gabarits et de robots pour les soudures (300 soudures en 4 minutes) ».

L'ENVIRONNEMENT, UNE PRIORITÉ

Dès la conception du projet, la prise en compte des aspects environnementaux a été un élément structurant. ▶

7- Sur la droite, galerie de marinage de 485 m de long, 16 m² de section et 15% de pente, creusée à l'explosif en montant à partir de la carrière Socamo.

8- Préparation d'un abri.

9- Ouvrage de jonction prêt à être utilisé.

7- On the right-hand, muck removal gallery 485 m long, of cross section 16 m² and gradient 15%, dug by explosive, moving upward from the Socamo quarry.

8- Preparation of a shelter.

9- Junction structure ready to be used.



© DOMINIQUE FEINTRENIÉ

8



© DOMINIQUE FEINTRENIÉ

9



10

© DOMINIQUE FEINTRENE

Les matériaux excavés ont été utilisés pour remblayer une ancienne carrière située en périphérie de la ville de Modane, ce qui permettra à terme d'améliorer l'impact visuel et paysager du site.

Une galerie de marirage a été réalisée. En effet, le marché prévoyait à l'origine le transport des déblais par convoyeurs à bande extérieurs reliant la tête de la galerie jusqu'à une plateforme de stockage intermédiaire puis cheminant à proximité du GR5 jusqu'à l'ancienne carrière. Afin d'éviter les nuisances sonores et visuelles (convoyeurs sur pylônes d'une vingtaine de mètres) ainsi que les poussières, il a été décidé de creuser une galerie perpendiculaire à la galerie de sécurité débouchant dans le site de dépôt, permettant ainsi le transport des déblais en souterrain

sans passer par l'extérieur. Cette galerie de 485 m de long, 16 m² de section et 15% de pente a été creusée à l'explosif (figure 7).

À noter également : toutes les eaux du chantier sont récupérées en entrée d'une station de traitement qui permet, par filtres presse, d'enlever les matières solides. Une régulation automatique de pH est aussi opérée en continu. Ainsi, les eaux qui sont rejetées dans le Rieu Roux sont-elles conformes aux exigences des diverses normes.

Des analyses régulières permettent de contrôler le pH, les MES (matières en suspension), les DBO5 (demandes biologiques en oxygène à 5 jours), les DCO (demandes chimiques en oxygène), les hydrocarbures (C10-C40) et les HAP (hydrocarbures aromatiques polycycliques). □

10- Vue du tunnel en cours de réalisation.

10- View of the tunnel undergoing construction.

PRINCIPALES QUANTITÉS

DÉBLAIS (LOT 1) : 550 000 m³
DÉBLAIS (LOT 2) : 450 000 m³
BÉTONS (HORS VOUSOIRS) : 70 000 m³

INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE :
Société Française du Tunnel Routier du Fréjus (SFTRF)
MAÎTRE D'OUVRAGE ITALIE :
Società Italiana per il Traforo Autostradale del Frejus (SITAF)
MAÎTRE D'ŒUVRE :
Groupement I3S - Inexia / SWS / SEA
MANDATAIRE DES TRAVAUX :
Razel-Bec en groupement avec Bilfinger Berger

ABSTRACT

13 KM OF TUNNEL BETWEEN FRANCE AND ITALY. FREJUS SAFETY GALLERY

ÉLISABETH FRÉDÉRIC MOREAU, RAZEL-BEC - JEAN-CLAUDE DURAND, RAZEL-BEC

Société Française du Tunnel Routier du Fréjus (SFTRF) awarded Razel-Bec a contract for the construction of a safety gallery parallel to the alignment of the existing road tunnel. This new tunnel, around 13 km long, represents a major new underground works project. The excavation of the gallery breaks down into two parts. The first 650 metres of the gallery on the French side are dug conventionally by explosive. The remaining 12 km are executed using a mechanical excavator called a "hard rock TBM", 170 metres long. Salient features of this project: execution of the gallery by tunnel boring machine with a passage through areas of strong convergence, and simultaneous execution of junctions by cross-passages between the tunnel undergoing works and the tunnel in service. □

13 KM DE TÚNEL ENTRE FRANCIA E ITALIA. GALERÍA DE SEGURIDAD DE FRÉJUS

ÉLISABETH FRÉDÉRIC MOREAU, RAZEL-BEC - JEAN-CLAUDE DURAND, RAZEL-BEC

La Société Française du Tunnel Routier du Fréjus (SFTRF) ha confiado a Razel-Bec la realización de una galería de seguridad paralela al trazado del túnel de carretera existente. Con sus cerca de 13 km de longitud, este nuevo túnel representa una importante obra en la actualidad del los trabajos subterráneos. La excavación de la galería se divide en dos partes. Los 650 primeros metros de la galería por el lado de Francia se excavan de manera tradicional con explosivos. Los 12 km restantes se realizan con una máquina de excavación mecánica denominada tuneladora "roca dura", de 170 m de longitud. Los puntos fuertes de esta obra son, por una parte, la realización de la galería con la tuneladora con paso por zonas de fuertes convergencias y, por otra, la ejecución simultánea de las uniones por ramales de enlace entre el túnel que se está realizando y el túnel en explotación. □

MODERNISATION DU TUNNEL DE CHAMPIGNY-SUR-MARNE

AUTEURS : ÉRIC AURIAUX, CHEF DE PROJET, INGÉROP - PIERRE CARBONEL, RESPONSABLE DE SUVI DES TRAVAUX, INGÉROP - EVAN MONROIG, CHEF DE SERVICE STRUCTURES COMPLEXES ET CALCULS SCIENTIFIQUES, INGÉROP

DEPUIS LE TERRIBLE INCENDIE DU TUNNEL DU MONT BLANC EN 1999, LES TUNNELS ROUTIERS FONT L'OBJET D'UN RENFORCEMENT DES MESURES DE PRÉVENTION ET PROTECTION INCENDIE. LE TUNNEL DE CHAMPIGNY A ÉTÉ MODERNISÉ ENTRE 2009 ET 2012 DANS LE CADRE DE LA GRANDE CAMPAGNE DE MODERNISATION DE 22 TUNNELS PARISIENS : CRÉATION D'ISSUES DE SECOURS SUPPLÉMENTAIRES, RÉFECTION DU SYSTÈME DE VENTILATION ET DU RÉSEAU D'EAU DE LUTTE CONTRE L'INCENDIE ET SURTOUT AMÉLIORATION DU NIVEAU DE RÉSISTANCE AU FEU DES STRUCTURES SUR LA BASE DE CALCULS THERMOMÉCANIQUES.



1
© PIERRE CARBONEL

HISTORIQUE DU TUNNEL DE CHAMPIGNY

La construction de l'autoroute de l'est A4 a commencé au tout début des années 1970 aux abords de Paris.

Une première section à chaussée unique par sens a été mise en service entre la porte de Bercy et Joinville-le-Pont en 1974. Celle-ci a été doublée

l'année suivante. La tranchée couverte de Champigny a été ouverte à la circulation en octobre 1976. Elle est constituée de deux tubes unidirectionnels, longs de 782 m au sud et 747 m au nord.

Avec 173 000 véhicules par jour dont 9% de poids lourds, le trafic y est très intense. Ce tunnel fait l'objet d'une

1- Vue de la tranchée couverte de Champigny sur l'autoroute A4.

1- View of the cut-and-cover tunnel of Champigny on the A4 motorway.

surveillance permanente à partir d'un poste de contrôle spécifique. Ses principaux points faibles avant l'intervention sur l'ouvrage restaient l'absence d'issue de secours, de ventilation de désenfumage, de dispositifs de fermeture, de détection automatique d'incidents ainsi qu'une distance entre plots de jalonnement importante. ▶

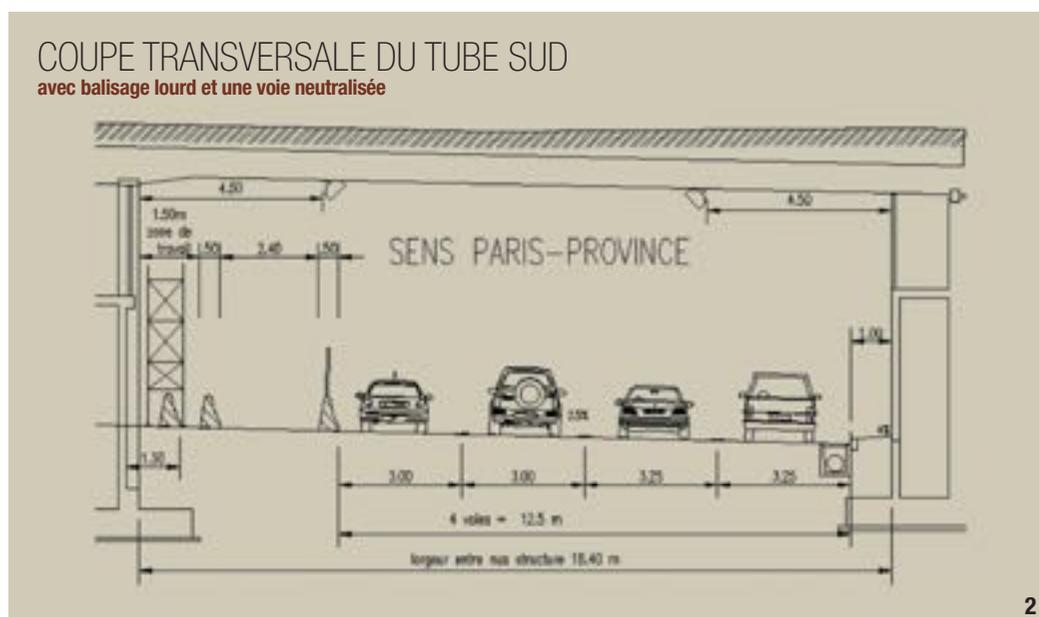
Le terrible incendie qui fit 39 morts dans le tunnel du Mont Blanc en 1999 a été provoqué par l'incendie d'un camion de margarine et de farine. Donc, même si le passage des matières dangereuses est interdit à Champigny comme aujourd'hui dans la grande majorité des tunnels d'Île-de-France, l'ouvrage n'était quand même pas assez sécurisé.

Début 2007, la Direction des routes d'Île-de-France confie à INGÉROP la maîtrise d'œuvre de la modernisation du tunnel. Les travaux consistent dans la réfection d'équipements dans l'ouvrage pour tendre vers le niveau défini par la nouvelle réglementation de sécurité incendie au feu des tunnels. Le marché comporte notamment le remplacement de la ventilation des tubes nord et sud afin de pouvoir assurer le désenfumage du tunnel en cas d'incendie.

Le programme de travaux s'appuie sur l'avis favorable du CESTR, prédécesseur de l'actuelle CNESOR, commission en charge de formuler des avis sur les conditions d'exploitation des tunnels routiers français. Cet avis du 20 mai 2005 avait comme demandes particulières : la mise en place de protections au feu, la rénovation du réseau incendie, la réalisation d'un Plan d'Intervention et de Sécurité opérationnel, l'interdiction à toutes les matières dangereuses et une inter-distance entre les issues de secours de 150 m.

PRÉSENTATION DE LA TRANCHÉE COUVERTE

La tranchée couverte de Champigny permet à l'autoroute A4 de passer en dessous des routes départementales D3 et D130 qui se croisent sur un vaste giratoire en surface au niveau



du carrefour de la Fourchette de Bry. Elle se compose de quatre voies de circulation dans chaque sens dont la vitesse autorisée est limitée à 90 km/h ainsi que d'une bande d'arrêt d'urgence par sens.

Il s'agit d'un ouvrage en béton réalisé en tranchée remblayée composé de deux tubes unidirectionnels qui abritent chacun un sens de l'autoroute. Chaque tube se compose de deux piédroits latéraux munis d'une gaine basse de ventilation et d'une galerie haute d'éclairage, et d'un piédroit central. L'extrémité est du tunnel était à l'origine garnie de poutres paralumes en béton armé qui, très abîmées par le temps et difficiles à réparer, ont été démolies en 2004.

Le tube nord est aussi semi-éclairé avec un piédroit ajouré à l'extrémité est. Pour chacun des deux tubes unidirectionnels,

2- Coupe transversale du tube sud avec balisage lourd et une voie neutralisée.

3- Pose des plaques de protection au feu sur piédroit.

4- Pose des accélérateurs et tirage des câbles de nuit.

2- Cross section of the South tube with heavy ground lighting and a neutralised lane.

3- Placing fire guard plates on the side wall.

4- Fitting circulation pumps and pulling cables at night.

rectionnels, la largeur roulable est de 17 mètres environ. Elle est délimitée par une glissière en béton côté gauche (piédroit central) et par une bordure de trottoir côté droit, sauf sur les 300 premiers mètres du tube nord où le piédroit latéral est également protégé par une glissière car il présente des ouvertures de grande section.

L'ouvrage franchit également des voies SNCF par le biais de l'ouvrage en dalle du P114 à proximité de la tête est.

Le profil en travers d'un sens de circulation est de droite à gauche :

- Un trottoir de 0,5 mètre non franchissable ;
- Une bande d'arrêt d'urgence (BAU) de 2 mètres de large environ ;
- Quatre voies de circulation de 3,25 et 3,5 mètres de large ;
- Une bande dérasée de gauche (BDG) de 0,90 mètre de large environ ;





5



7



6



8

→ Une zone neutralisée par une glissière en béton adhérent (GBA) de 1 mètre de large.

Le piédroit central est commun aux deux tubes ; il comporte deux séries parallèles de poteaux en béton armé, supports centraux de la dalle supérieure, espacés de 1,80 m et d'une section trapézoïdale de 0,50 m à 0,40 m. Sur chaque ligne de poteaux, un mur en béton armé d'une épaisseur de 20 cm est positionné en partie basse. L'espace ainsi délimité en partie basse constitue la gaine de ventilation centrale fermée par une dalle intermédiaire de 10 cm d'épaisseur.

Le mur du piédroit central côté tube sud, sens Paris - Province, est "percé" d'ouïes de ventilation de dimensions 22,5 cm par 72,5 cm disposées tous les 3,60 m environ.

Les piédroits latéraux sont constitués chacun de deux voiles en béton armé en partie basse ; le voile extérieur est épais de 75 cm et porte la dalle supérieure. Le second voile, d'une épais-

5- Transport de ventilateur de 500 kW.

6- Mise en place de ventilateur de 500 kW.

7- Réalisation du mur anti recyclage sous exploitation.

8- Mur anti recyclage avec béton poli en parement et pose des fourreaux.

5- Transporting a 500 kW ventilator.

6- Installing a 500 kW ventilator.

7- Execution of the fume barrier wall during operation.

8- Fume barrier wall with polished concrete facing and placing of ducts.

seur de 20 cm, est relié au 1^{er} voile par une dalle intermédiaire de 20 cm d'épaisseur, délimitant la gaine basse de ventilation. Il est percé d'ouïes de ventilation de dimension 22,5 cm par 82,5 cm disposées tous les 3,60 m environ. Les parties hautes des piédroits centraux et latéraux abritent les équipements d'éclairage derrière des panneaux de verre.

La dalle supérieure est une dalle en béton précontraint transversalement de 65 cm d'épaisseur en zone courante, simplement appuyée sur 4 lignes d'appui dont une ligne sur chaque piédroit latéral et deux lignes sur le piédroit central.

Les appareils d'appui latéraux sont en néoprène positionnés tous les 2,70 m environ ; les appareils d'appui centraux sont situés tous les 1,80 m, au droit des poteaux.

La précontrainte est constituée de câbles en post-tension de type 12T15 en fibre supérieure sur appui central et fibre inférieure en travée ; la distance

minimale entre l'axe du câble et le nu de béton étant de 12,5 cm.

L'ouvrage est divisé en plots pour la plupart de 35 m de longueur, séparés par des joints de dilatation de 2 cm, équipés également d'un dispositif étanche de type waterstop.

Le réseau de gaines de ventilation permet des liaisons entre galeries hautes et gaines basses ; des gaines traversantes joignent piédroits latéraux et piédroit central.

Les liaisons entre gaines hautes et basses se retrouvent principalement aux têtes de l'ouvrage ; il existe également des trappes d'accès reliant les niveaux ou débouchant sur les espaces trafic. Huit gaines traversantes ont ainsi été réalisées dès la construction sous la chaussée de l'autoroute : des gaines de ventilation de sections variables selon le dimensionnement aérodynamique et des gaines de service d'environ 2,00 m par 2,50 m.

L'ouvrage comporte à sa construction 3 niches dans le tube sud, et une niche dans le tube nord.

Il est muni à l'origine d'une ventilation semi-transversale (soufflage uniquement).

LES TRAVAUX RÉALISÉS

Les travaux de modernisation et d'amélioration de la sécurité incendie consistent donc :

Pour améliorer les accès et issues :

→ La création de 13 issues de secours conduisant à une inter-distance moyenne de 100 m,

→ La création / modification de 14 niches de sécurité,

→ La possibilité pour les services de secours d'accéder au souterrain par les issues de secours et de stationner en amont des têtes du tunnel,

→ Un système de mise en surpression des issues de secours au moyen d'un ventilateur spécifique dans les quatre issues avec cheminement d'évacuation latéral,

→ Des plots de jalonnement implantés sur chaque piédroit tous les 10 m ;

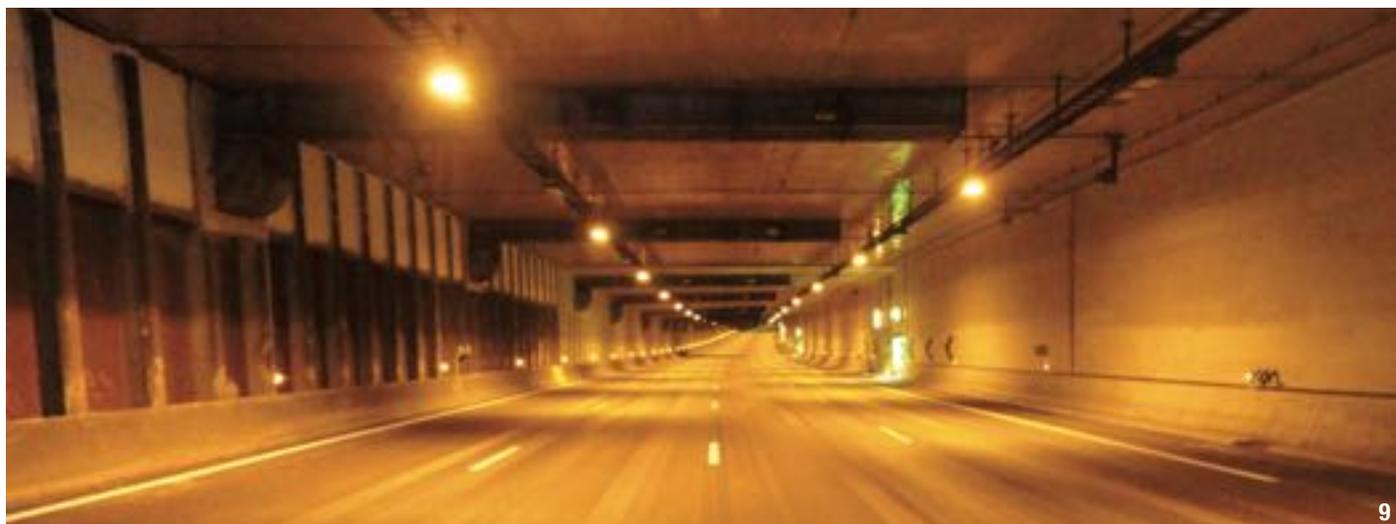
Sur les réseaux et l'assainissement :

→ Le remplacement du réseau d'eau de lutte contre l'incendie,

→ La transformation des regards avaloirs en avaloirs avec siphons, et la protection du réseau d'assainissement en tunnel,

→ La rénovation du système d'alimentation électrique à partir de deux postes source EDF distincts avec câbles dédoublés,

→ Le remplacement du système d'éclairage,



9

© PIERRE CARBONEL

→ Le dévoiement des réseaux situés dans les gaines de ventilation des piédroits latéraux ;

Pour réduire l'impact de l'incendie :

- L'amélioration du niveau de résistance au feu des structures, en plafond et en piédroits,
- La mise en place d'un système de ventilation/désenfumage,
- La création d'un mur anti-recyclage de 50 m de longueur à l'est, afin d'éviter le passage des fumées d'un incendie d'un tube à l'autre,
- La vérification des structures sous chaussée de l'autoroute A4 au droit du franchissement des voies ferrées (P114) pour assurer la protection au feu de l'ouvrage ;

Une nouvelle répartition des voies permet d'élargir la BAU :

- La bande dérasée de gauche est inchangée : 0,90 m,
- 2 voies rapides sont réduites à 3,25 m,
- 2 voies lentes restent à 3,50 m de large,
- La BAU reste de 2,00 m,
- Le trottoir est élargi à 0,60 m et rendu franchissable ; il porte un profil GBA accolé au piédroit latéral. La bande roulable côté BAU est donc de 2,70 m.

Il s'agit donc d'une part d'une modification du tracé des lignes entre voies, et d'autre part d'une modification du trottoir à droite : modification de la position de la bordure, changement du type de bordure pour une bordure franchissable, reprise du corps de trottoir et de son revêtement. Ces travaux sont associés aux travaux de modification de l'assainissement : renforcement du collecteur et transformation des avaloirs. Le trottoir est aussi abaissé au droit des accès aux issues de secours.

Des marchés transversaux visant l'ensemble des tunnels d'Île-de-France ont également été mis en œuvre sur Champigny :

- La refonte de la gestion technique centralisée,
- La vidéosurveillance et la détection automatique d'incidents,
- L'auto-évacuation,
- La fermeture physique,
- Les radiocommunications,
- Le déploiement du réseau très haut débit.

VENTILATION DE DÉSENFUMAGE, INCENDIE DE RÉFÉRENCE ET EXIGENCES RÉGLEMENTAIRES

Pour les tunnels de l'État d'une longueur supérieure à 300 m, l'instruction technique n°2006-20 abrogeant la n°2000-63 mais conservant son annexe technique précise dans le détail et, thème par thème, les dispositions techniques à prévoir (dispositions de génie civil, équipements de sécurité, comportement au feu, exploitation, ...). Elle s'applique pour les ouvrages neufs

9- Tube nord, carreaux sous dalle.

10- Tube sud, accélérateurs et éclairage renforcé.

9- North tube, flues under slab.

10- South tube, circulation pumps and reinforced lighting.

mais elle n'est pas obligatoire pour les ouvrages existants même si la volonté des autorités est de tendre vers son application avec des adaptations possibles. Pour les ouvrages neufs ou en exploitation, d'une longueur supérieure à 500 m sur le Réseau transeuropéen, s'ajoutent les exigences minimales de la Directive européenne qui sont a priori moins contraignantes que la réglementation française en vigueur.

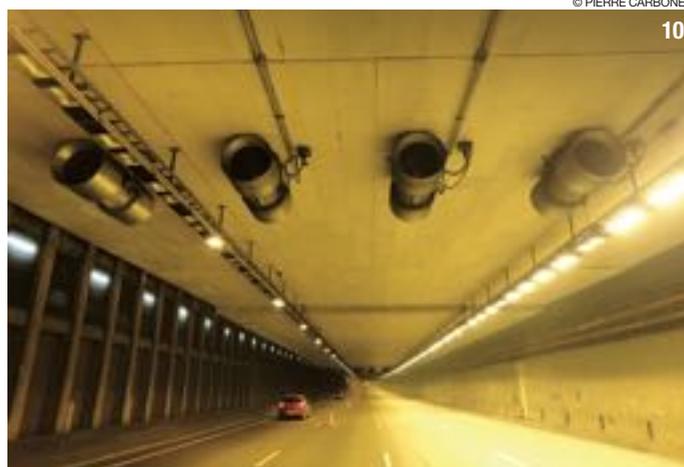
La principale exigence supplémentaire réside dans la mise en place d'issues de secours tous les 150 m dans les ouvrages neufs au lieu de 200 m dans l'instruction technique de 2006.

En absence de matières dangereuses, l'incendie de référence correspond à l'incendie d'un poids lourd à chargement faiblement combustible de 30 MW. Le système de ventilation est également testé par le calcul à la sensibilité d'un feu de 100 MW. En ce qui concerne la tenue au feu à assurer, le niveau de résistance au feu N3 a été exigé pour le voile latéral percé pour les issues et devant retenir la gaine technique haute. Comme les portes situées du côté de l'espace « trafic » dans ce voile ont un niveau de tenue maximal N2, il a fallu assurer un "complément de protection" pour atteindre le niveau N3 en gaine technique haute où se trouvent les réseaux de câbles. Le linteau au-dessus des portes a été spécifiquement renforcé.

LE NOUVEAU SYSTÈME DE DÉSENFUMAGE

Dans les ouvrages neufs, le génie civil est adapté au système de ventilation choisi : une surface nervurée en intrados n'est compatible qu'avec un système de ventilation transversal ou semi-transversal et par exemple la ventilation longitudinale s'accommode mal d'un profil en long à forte contre pente dont l'effet cheminée perturbe le fonctionnement. La conception du génie civil neuf doit être cohérente avec le système de ventilation.

Dans le cas de la tranchée couverte de Champigny, les tubes nord et sud présentent deux configurations différentes. Le tube nord dans la direction Province Paris est souvent congestionné à cause



© PIERRE CARBONEL

10

de sa proximité avec la sortie vers le Pont de Nogent et le fonctionnement d'un carrefour à feux de signalisation. Il présente une déclivité de l'ordre de 2,5% dans le même sens que la circulation. Ainsi configurée, la situation se prête plutôt au système de ventilation semi-transversal. En cas d'incendie les fumées sont extraites transversalement de la zone de l'incendie par des carneaux distribués le long des tubes et le tunnel se régénère en air frais naturellement par ses têtes et le piédroit ajouré.

Le tube sud dans la direction Paris-province est plus fluide et la déclivité de 2,5% va dans le sens contraire de la circulation, les véhicules roulant dans le sens de la montée. Il fait l'objet d'une ventilation longitudinale par batteries d'accélérateurs. Ainsi en cas d'accident, l'objectif est de pousser toutes les fumées vers la sortie du tunnel est dans le sens favorable de l'effet cheminée de façon à désenfumer les véhicules bloqués par l'accident.

Ce dispositif nécessite la construction du mur anti recyclage à la tête est ; il y en a déjà un à la tête ouest.

Pour le tube nord, le système de ventilation/désenfumage semi-transversal installé est réversible et constitué de 2 stations avec chacune 2 ventilateurs de 123 m³/s en mode d'extraction et 61,5 m³/s en mode de soufflage ; l'aspiration des fumées et le soufflage d'air frais sont assurés par des carneaux répartis sous les 20 m en sous-face du plafond.

Pour le tube sud, le système de ventilation/désenfumage longitudinal est constitué de 14 accélérateurs réversibles à 30%, répartis en deux batteries de 4 machines côté ouest et deux batteries de 3 machines côté est.

Lors d'un incendie qui se déclarerait dans le tunnel, l'ensemble des ventilateurs du tube nord est en mesure



11
© PIERRE CARBONEL

11- Essai incendie dans le tube sud.

11- Fire test in the South tube.

d'extraire environ 500 m³/s du mélange air-fumées. Ceci met le tunnel en dépression par rapport à l'extérieur. Les issues de secours ne peuvent donc pas être envahies par les fumées et les usagers qui s'y réfugient sont mis en sécurité. Le sas présent dans chaque issue protège également les usagers.

LE CALCUL DE LA RÉSISTANCE AU FEU

Le système de ventilation, les conditions d'accès par les BAU, les équipements de secours et tous les dispositifs de surveillance caractérisent les modalités d'exploitation et d'intervention de l'ouvrage en cas d'incendie. Ce dispositif doit être cohérent avec la tenue au feu de la structure.

Les scénarios d'incendies sont pour le tube sud un incendie de poids lourd de 30 MW en trafic non congestionné et pour le tube nord le même incendie cette fois à différentes positions dans le tunnel. La tenue au feu a été calculée avec la courbe de feu d'hydrocarbures majorée (HCM), à montée en température très rapide. Les protections au feu ont été dimensionnées avec les méthodes simplifiées de calcul du guide CETU de mars 2005.

Depuis cette époque, les calculs thermomécaniques non linéaires se sont développés permettant d'apporter une réponse plus économique pour les ouvrages existants. Les appareils d'appui quant à eux sont protégés par la création des nouvelles gaines techniques dont les voiles latérales présentent une résistance de niveau N3.

LA MISE EN ŒUVRE

Le marché a été notifié fin octobre 2009 pour une durée de 2 mois de préparation et 22 mois de travaux. Un moment marquant du chantier fut la livraison du premier des 4 ventila-

teurs utilisés pour le désenfumage du tube nord de l'ouvrage. Cette machine de 500 kW pèse 9 tonnes et les conditions d'accès difficiles ont rendu nécessaire la découpe de trappes dans le toit de l'usine pour pouvoir utiliser le moyen de grutage adapté. Les travaux relatifs aux issues de secours et les travaux à l'intérieur des usines de ventilation n'ont pas posé de problème d'exploitation. Les équipements et les protections au feu prévus sous la dalle de couverture ont été installés sous balisage léger et le balisage lourd a été nécessaire pour le travail sur les piédroits d'abord latéraux (transformation des galeries, refonte de la BAU et de l'assainissement et percement des issues) puis central (transformation des galeries et réalisation du mur anti recyclage à la tête est).

La DIRIF a mené une importante campagne de communication auprès des usagers. Les travaux se sont déroulés sans difficulté majeure et sans perturbation excessive de la circulation. □

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE :
Direction des routes
Île-de-France

**MAÎTRE D'ŒUVRE
CONCEPTION ET TRAVAUX :**
Ingérop Conseil & Ingénierie

ARCHITECTE : F. Néel

ENTREPRISES :
Groupement conjoint :
• Eiffage TP (mandataire)
• Clemessy
• Spie

MONTANT DES TRAVAUX :
29 M€ HT

ABSTRACT

MODERNISATION OF THE CHAMPIGNY-SUR-MARNE TUNNEL

ÉRIC AURIAUX, INGÉROP - PIERRE CARBONEL, INGÉROP - EVAN MONROIG, INGÉROP

The tunnel of Champigny on the A4 motorway dates from the 1970s.

With no emergency exit and covered by a prestressed slab, its sensitivity to fire risk was critical. Ingérop conducted project management for the modernisation of the tunnel from 2008 to 2012. Fire protective devices were installed and the new ventilation system is adapted to the traffic conditions and the different morphology of each of the two tubes. The fire protective devices were designed using the simplified calculation methods of the guide produced by the CETU (Centre d'Etudes des Tunnels) dated March 2005. Since then, nonlinear thermomechanical calculations have developed, making it possible to provide an even more economical response for the existing structures. □

MODERNIZACIÓN DEL TÚNEL DE CHAMPIGNY-SUR-MARNE

ÉRIC AURIAUX, INGÉROP - PIERRE CARBONEL, INGÉROP - EVAN MONROIG, INGÉROP

El túnel de Champigny en la A4 data de los años 70.

Sin salida de emergencia y cubierto por una losa pretensada, su sensibilidad al riesgo de incendio era crítica. Ingérop se encargó de la dirección de la obra de modernización del túnel de 2008 a 2012. Se instalaron los dispositivos de protección contra el fuego y se adaptó el nuevo sistema de ventilación a las condiciones de circulación y a la diferente morfología de cada uno de los dos tubos. Las protecciones contra el fuego se dimensionaron con los métodos simplificados de cálculo de la guía del CETU (Centro de Estudios de Túneles) de marzo de 2005. Desde esta fecha, se han desarrollado los cálculos termomecánicos no lineales, lo que permite proporcionar una respuesta aún más económica para las estructuras existentes. □



1
© PHOTOTHÈQUE ARCADIS

LE TROISIÈME POSTE SOURCE - MONACO

AUTEURS : SYLVIE FAURE, CHEF DE PROJET DET, ARCADIS - ALAIN POLONI, DIRECTEUR DE PROJET, EIFFAGE TP - LAURENT CHENIER, CONDUCTEUR DE TRAVAUX, EIFFAGE TP

LE POSTE SOURCE COMPREND DES GALERIES INTERCONNECTÉES DE SECTION VARIABLE : TROIS ALVÉOLES PARALLÈLES DE SECTION 100 M², SÉPARÉES PAR DES PILIERS DE 4 M DE LARGEUR, LIMITÉES À LEURS EXTRÉMITÉS PAR DEUX TUNNELS PERPENDICULAIRES. LES GALERIES ANNEXES COMPRENNENT LES GALERIES DE CONNEXION ET LA GALERIE D'ACCÈS, QUI DÉBOUCHE SUR UNE PLATE-FORME À CRÉER EN ÉLARGISSEMENT D'UN ANCIEN VIADUC FERROVIAIRE. CES OUVRAGES SONT CREUSÉS EN MÉTHODE CONVENTIONNELLE ET À PROXIMITÉ D'OUVRAGES SOUTERRAINS EN SERVICE.

PRÉSENTATION DU PROJET

Les projections de consommation d'électricité en Principauté de Monaco pour les prochaines années nécessitent la création d'un troisième Poste Source fonctionnel à la mi-2017.

Ce poste sera exploité, comme les deux premiers, par la Société Monégasque de l'Electricité et du Gaz (SMEG).

La demande en électricité la plus forte se situe entre juin et septembre : climatisation, consommation des yachts de grand luxe, etc.

Ce Poste Source, constitué de trois transformateurs (deux en service, un

en secours) logés dans les alvéoles, doit permettre de distribuer l'électricité sous une tension de 20 kV dans les galeries techniques de la Principauté de Monaco à partir d'une alimentation sous une tension de 63 kV fournie par RTE (figure 2 (3)).

Compte-tenu de l'emprise d'un Poste Source, tant en surface minimale au sol (1 500 m² environ) qu'en volume (12 000 m³ environ), au regard des surfaces disponibles pour la construction en Principauté de Monaco, le Service des Travaux Publics de Monaco, Maître d'ouvrage de l'opération,

1- Quai de déchargement et alvéoles entre les piliers rocheux.

1- Unloading platform and compartments between the rock pillars.

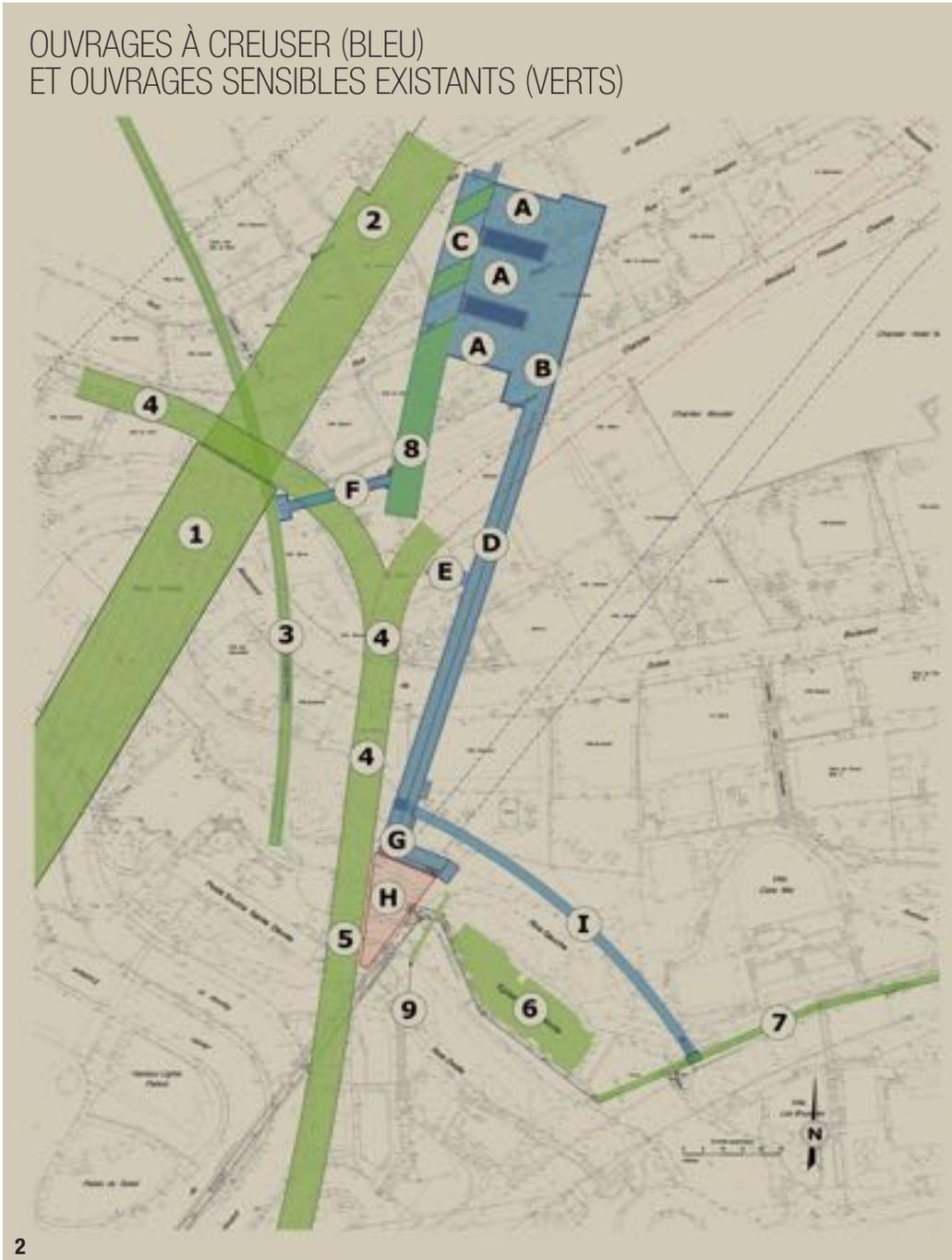
a décidé de construire ce poste en souterrain dans le calcaire du Tithonique, à partir d'un ancien tunnel SNCF désaffecté (figure 2 (8) et (C)), suite à

la mise en souterrain des voies SNCF dans les années 1990.

La construction du Poste totalement en souterrain, à plus de 100 m de la surface latéralement et 40 à 60 m de profondeur, est une première à Monaco et en France.

Ce cas très particulier a nécessité des adaptations du génie-civil en phase conception, tant pour le désenfouage et l'alimentation en air frais, non mécanisée, des équipements de refroidissement des transformateurs (81 000 m³/h), que pour le drainage et l'évacuation des eaux d'infiltration.

OUVRAGES À CREUSER (BLEU)
ET OUVRAGES SENSIBLES EXISTANTS (VERTS)



RÉPARTITION DES TRAVAUX
PAR LOT

À partir du tunnel SNCF désaffecté, l'entreprise Eiffage TP et sa filiale monégasque Sitren, titulaires du marché du Lot 1 (voir encadré), doivent pour les travaux souterrains (figure 2) :

- Le creusement et le soutènement des galeries annexes (D, F, I) et des galeries du Poste Source (A, B, C) ;
- L'étanchéité dans toutes les parties du Poste Source (A, B, C) ;
- Le génie-civil du Poste Source et de la galerie d'accès (A, B, C, D).

Les travaux extérieurs dus par le Lot 1 comprennent :

- Le terrassement d'une plate-forme de 130 m² environ sur un versant calcaire escarpé du Vallon Sainte-Dévote (G) ;
- La réalisation du génie-civil de la galerie de prise d'air du Poste Source (G) ;
- Une plate-forme à créer en élargissement du viaduc existant dans le prolongement de la galerie d'accès (H).

Le Lot 2 Serrurerie et le Lot 5 Peinture interviennent sur l'ensemble du Poste Source, tandis que le Lot 3 Ventilation-Sécurité-Incendie-Plomberie et le Lot 4 Courant fort-courant faible, interviennent uniquement sur les zones de circulation et d'approvisionnement : galerie d'accès (D) et quai de déchargement (B).

Une colonne humide sera installée dans la galerie d'accès et un sprinkler dans le quai de déchargement. Le Poste Source doit être livré le 31/03/2015 à la SMEG, qui équipera le Poste Source pendant une durée de 24 mois pour le mettre en service mi-2017.

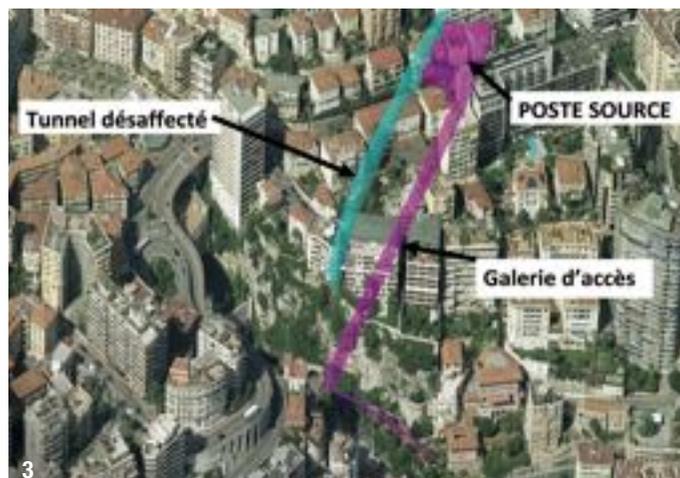
UN CHANTIER
SOUS CONTRAINTES

Le troisième Poste Source est creusé dans un environnement densément urbanisé (figure 3), classé comme sensible, sous une couverture calcaire de 40 à 60 m, et à proximité d'ouvrages souterrains récents plus ou moins distants (figure 2) : gare souterraine de Monaco ((1) distance 50 m), tunnel SNCF en service ((2) distance 2 à 15 m), tunnel d'accès au débarcadère de la gare de Monaco ((4) distance 3 à 20 m), tous creusés dans le calcaire Tithonique de l'écaille de Monte-Carlo. Cet environnement est très contraignant en raison de la sensibilité des différents ouvrages pour lesquels des seuils d'alerte et d'arrêt bas ont été retenus de façon à les préserver (tableau 1). ▷

2- Ouvrages à creuser (bleu) et ouvrages sensibles existants (verts).
3- Projection du Poste Source et de la galerie d'accès dans l'environnement urbain.

2- Structures to be excavated (blue) and existing sensitive structures (green).

3- Projection of the source substation and access tunnel in the urban environment.



La plate-forme à terrasser en extérieur est limitée (figures 2 et 4) :

- À l'est par l'ancien viaduc ferroviaire (5) classé sensible et le portail du tunnel du débarcadère (4) ;
- À l'ouest, par un aqueduc en maçonnerie (9), dont l'arc très élancé s'appuie sur la rive à terrasser, d'une part, et par l'église Sainte-Dévote (6), sainte-patronne des Monégasques, d'autre part.

Ces ouvrages anciens représentent une contrainte pour les terrassements extérieurs, mais également pour le creusement de la galerie d'accès (D) et de la galerie annexe 20 kV (I), conduisant les câbles dans la galerie technique de distribution (7), et qui doit être creusée sous faible couverture latérale (5 à 20 m) et verticale (10 à 20 m) sur une bonne partie de son tracé.

AUSCULTATION

Dans un périmètre étendu autour des ouvrages à creuser, 95 capteurs de vibrations et 285 cibles topographiques ont été posés dans/sur :

- Les bâtiments d'habitation,
- La gare souterraine, le tunnel SNCF en service, le tunnel du débarcadère,
- Le viaduc et l'aqueduc en maçonnerie.

De plus, six fissuromètres électroniques ont été disposés sur l'aqueduc en maçonnerie.

Ce dernier a également été conforté pour la durée des travaux par un caparaçonnage au moyen de poutres DOKA et d'un cintre en bois pour soutenir l'arc élancé (figure 4).

Les données des capteurs de vibrations sont transmises au MOA, MOE et CT après chaque tir.

Les mesures topographiques sont hebdomadaires.

LES POINTS PARTICULIERS DU TERRASSEMENT

Les points particuliers du troisième Poste Source sont, d'un point de vue du terrassement :

- Des niveaux de fond de fouille très variables dans les différentes galeries du poste avec de nombreux caniveaux et tranchées, en pente pour certains, nécessitant un phasage de terrassement spécifique et coûteux en temps (abattage demi-section supérieure, stross, second stross et/ou tranchées) (figure 5) ;
- L'approfondissement du tunnel existant sur 3 m, le long du piédroit commun avec le tunnel SNCF en service, d'épaisseur 2 à 15 m (figure 2 (C)) ;
- Une galerie d'accès très élancée



4 © PHOTO THÉÂTRE ARCADIS

(figure 6) nécessitant l'excavation d'une partie supérieure et de deux stross de 3 m de hauteur, dans un calcaire fracturé et karstifié ;

- Le raccordement de la galerie de liaison 63 kV (figure 2 (F)) sur la galerie SMEG (3) où circule un câble 63 kV sous tension ;
- Le creusement de la galerie de liaison 20 kV (I) sous faible couverture latérale et verticale à proximité de l'église Sainte-Dévote (6) et de bâtiments classés sensibles ;
- Le raccordement de cette galerie 20 kV sur la galerie technique (7) où circulent tous les réseaux des concessionnaires ;
- La collecte de toutes les eaux d'infiltration en périphérie du Poste Source et leur rejet en un seul point bas avec une évacuation gravitaire dans un forage dirigé sur une longueur de 130 m environ.

LES POINTS PARTICULIERS DU GÉNIE-CIVIL

Les points particuliers du génie-civil du troisième Poste Source sont :

- La conception et la réalisation de la paroi démontable pouvant supporter une pression d'explosion de 2 t/m² (en cas d'explosion d'un transformateur) ;
- La conception des volumes de dissipation du souffle d'explosion : paroi fusible, espace de dissipation, protection du local transformateur situé à 1 m de distance ;
- La réalisation d'une alimentation en air frais naturelle non mécanisée pour le refroidissement des transformateurs situés à 130 m de distance de la surface ;
- La réalisation d'un circuit enterré de mise à la terre au droit du poste avec une obligation de résistance du réseau général de terre inférieure à 1 ohm pour des conditions saisonnières moyennes.

4- Vue d'ensemble des travaux extérieurs et des ouvrages existants.

4- General view of external works and existing structures.

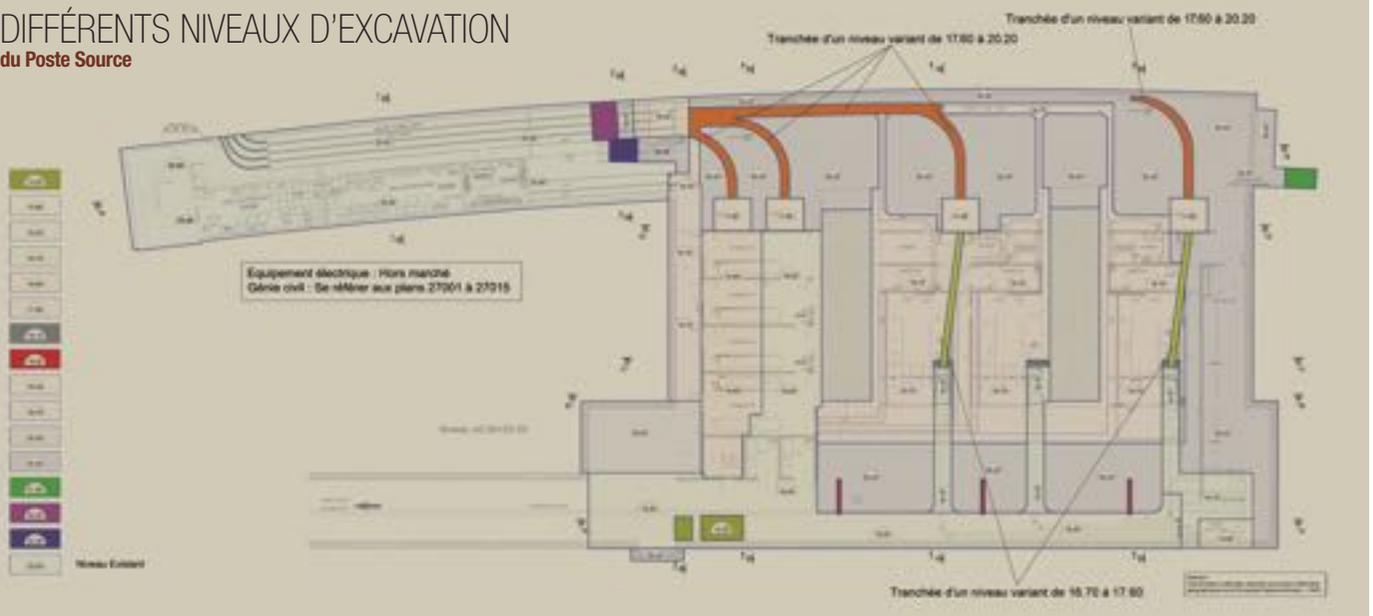
RÉALISATION DES TRAVAUX DE TERRASSEMENT - SOUTÈNEMENT

CONDITIONS D'ACCÈS
La plateforme d'accès n'étant pas réalisée au préalable et afin de réduire les délais d'exécution, le projet prévoyait 2 attaques à partir de l'amorce du futur tunnel BVF-crémaillère descendant :
→ L'une par l'élargissement du puits d'accès au tunnel désaffecté ;

TABLEAU 1 : SEUILS DE VIBRATIONS RETENUS EN FONCTION DE LA SENSIBILITÉ DES OUVRAGES

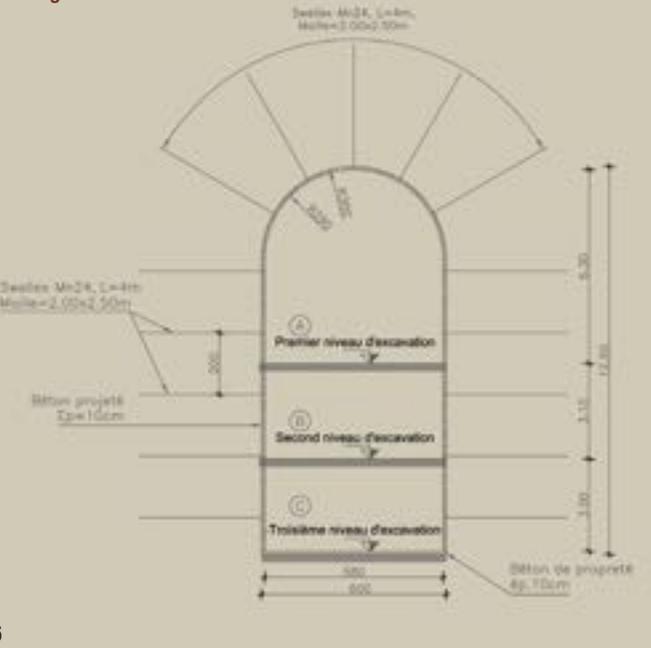
	Seuils des vitesses de vibrations (en mm/s)				
		1-8 Hz	8-30 Hz	30-100 Hz	> 100 Hz
Constructions sensibles	Seuil d'alerte	3	3	3	5
	Seuil d'arrêt	5	Linéaire 5 à 6	Linéaire 6 à 7	7
Église et Bâtiment Sainte Dévote	Seuil d'alerte	2	2	3	4
	Seuil d'arrêt	2	Linéaire 3 à 5	Linéaire 5 à 6	6
Ancien aqueduc et autres ouvrages	Seuil d'alerte	2		3	
	Seuil d'arrêt	3		4	
Tunnel SNCF en service		1-30 Hz	30-100 Hz	100-300 Hz	> 300 Hz
	Seuil d'alerte	5	15	20	25
	Seuil d'arrêt	7,5	20	30	

DIFFÉRENTS NIVEAUX D'EXCAVATION du Poste Source



5

PHASAGE DE TERRASSEMENT de la galerie d'accès



6

→ L'autre par la création d'une descenterie donnant accès à la voûte du tunnel d'accès.

L'entreprise a proposé une variante consistant à recréer un accès au tunnel désaffecté par l'intermédiaire d'une rampe aménagée dans le tunnel du débarcadère. 600 m³ de béton ont été excavés au BRH pour la création de cette rampe.

EXCAVATIONS

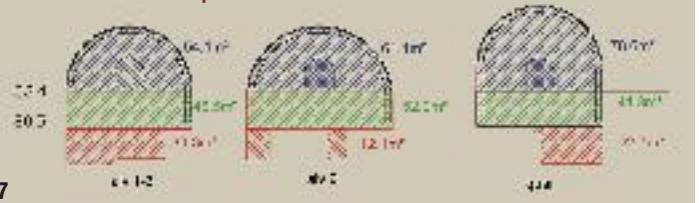
Méthode - Phasage

L'ensemble des terrassements est réalisé en méthode conventionnelle à l'explosif.

Compte-tenu de la très bonne qualité du rocher d'une part et de seuils sismiques très faibles d'autre part, les plans de tir présentent un maillage serré et une charge unitaire maximale faible (entre 300 et 800 g selon les zones). La longueur des volées est de fait limitée, entre 0,80 m et 1,80 m.

Compte-tenu du séquençage complexe des volées (plus de 250 mines sur une ½ section supérieure, de 70 m²), les grandes sections (alvéoles et quai) sont réalisées en plusieurs étapes (figure 7) :
→ Excavation d'une galerie bouchon centrale d'environ 17 m² à partir du niveau du tunnel existant ;

PHASAGE DU TERRASSEMENT dans les alvéoles et le quai



7

5- Différents niveaux d'excavation du Poste Source.

6- Phasage de terrassement de la galerie d'accès.

7- Phasage du terrassement dans les alvéoles et le quai.

5- Various levels of excavation of the source substation.

6- Scheduling of earth moving for the access tunnel.

7- Work sequencing of earth moving in the compartments and platform.

→ Abattage éventuel d'un second stross ou des tranchées/fosses en fonction du plan d'excavation.

Explosifs

L'entreprise a choisi d'utiliser exclusivement de la dynamite pour les raisons suivantes :

- Son effet brisant est favorable dans un rocher aussi compact ;
- Les cartouches sont plus faciles à mettre en œuvre et ne nécessitent pas de faire des pré-charges (volées courtes) ;
- L'adaptation en fonction de la longueur des volées et des résultats sismiques est plus facile (utilisation de cartouches de 100 g, 125 g, 250 g et 365 g).

Compte-tenu du diamètre des cartouches de dynamite, la foration est réalisée en Ø 41 mm. En fonction du nombre de temps de départ et de sa plus grande souplesse d'utilisation, on utilise principalement un amorçage NONEL (mais l'amorçage électrique est également utilisé sur les petites sections). Toute la gamme est utilisée, du SP5 au LP80. Les détonateurs en fond de trou sont reliés par des raccords retards (17 ms, 25 ms, 42 ms) introduisant le séquençage entre lignes. ▷

→ Abattage du reste de la ½ section supérieure ;

→ Abattage du stross sur une hauteur maximale de 4 m. (foration verticale) ;



© PHOTOTHÈQUE ARCADIS



© PHOTOTHÈQUE EIFFAGE TP

La technologie NONEL permet également de réaliser des tirs doubles sur 2 fronts différents.

Pour la réalisation des stross sur une profondeur de 4 m, l'entreprise a choisi de réaliser une foration verticale avec bi-détonation, permettant ainsi la réalisation de tirs importants, jusqu'à 300 m³.

Cycles d'excavation

Le phasage de terrassement est classique et comprend les opérations successives suivantes : foration de la volée, chargement, tir, ventilation, marinage, purge, soutènement immédiat en béton projeté fibré et boulons de type swellex ou HA scellés au coulis.

Les terrassements sont réalisés à raison de 1 à 3 tirs par jour sur différentes sections.

Pour la réalisation des stross, un pré-découpage est réalisé, soit par sciage, soit par la réalisation de trous forés très proches, de façon à limiter la propagation des vibrations et/ou à ne pas fracturer le rocher des piédroits élançés entre les alvéoles.

Soutènements

Préalablement au démarrage des excavations, le tunnel désaffecté a été renforcé par un boulonnage dense (environ 400 boulons HA25 de 4 m scellés au coulis).

Sur les 15 m du piédroit commun au tunnel SNCF en service et au tunnel désaffecté, d'épaisseur 2 à 5 m, un renforcement cintré datant de la construction de la gare a été repris et adapté : les cintres ont été recalés, coupés au-dessus de l'attaque de l'alvéole et fixés par une poutre de liaison boulonnée.

Concernant les excavations, le soutènement mis en œuvre est composé classiquement de :

- Béton projeté fibré RIG (fibres métalliques) d'épaisseur minimale 7 cm ;

- Boulons swellex Mn24 de longueur 4 m, remplacés par des boulons HA32 de 6 m scellés au coulis dans les zones d'intersection, avec un maillage moyen de 1,50 x 1,50 m ;

- Béton non fibré de recouvrement des têtes de boulon et des fibres (épaisseur 5 cm).

À partir de ce schéma de base, des adaptations sont faites en fonction de la section, de la qualité du terrain et de la longueur des volées.

Par exemple, la galerie de liaison Bordina (7 m²) a été réalisée sans boulonnage, avec uniquement 5 cm de béton projeté non fibré mis en place à la fin de l'excavation, et 2 à 3 volées ont été réalisées successivement (3 à 4 m de découvert) dans la galerie d'accès, avant application du soutènement, lorsque le terrain le permettait.

8- Marinage du stross.

9- Robot de foration 2 bras dans le tunnel désaffecté.

10- Galerie d'accès : excavation, soutènement de la section supérieure.

8- Muck removal from the tunnel core.

9- Two-armed drilling robot in the disused tunnel.

10- Access tunnel: excavation, supporting structure for the top section.

Aucun cintre lourd n'a été nécessaire, seuls des cintres réticulés étaient prévus en tête de galerie d'accès pour améliorer l'efficacité des boulons horizontaux réalisés en calotte sur 10 m depuis la plateforme extérieure (effet de voûte parapluie).

Matériels

Pour les grandes sections (> 30 m²), les matériels utilisés sont :

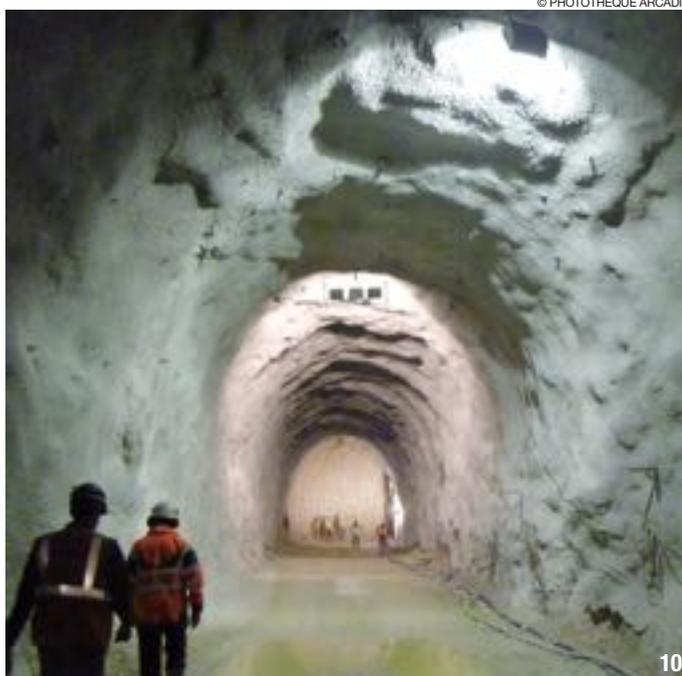
- Robofore automatisé diesel/électrique équipé de 2 bras avec glissières de 5,60 m (longueur maximale de foration 4 m) et marteaux de type HC108 (figure 9) ;
- Pelle Komatsu PC228 (23 t) de type urbaine équipée d'un godet de 1,25 m³ et d'un BRH Montabert BRV32 ;
- Chargeur sur pneus Komatsu WA380 avec godet de 3,5 m³ à déversement latéral ;
- Robot à béton projeté Normet Spraymec 9150 WPC ;
- Chariot élévateur Manitou MRT1542 à tourelle avec nacelle de capacité 365 kg ;
- Nacelle élévatrice 4 x 4 16 m.

Pour les petites sections :

- Un pantofore électrique équipé d'un bras avec glissière de 3,50 m (longueur maximale de foration 2 m) et marteau de type HC40 ;
- Mini-pelle 5 t équipée d'un BRH de 400 kg ;
- Bobcat à chenilles 3 t type 190 avec godet à dents ;
- Pompe à béton électrique et lance manuelle pour la réalisation du béton projeté par voie humide.

MESURES ENVIRONNEMENTALES

Les contraintes environnementales (bruit, poussières, qualité de l'eau) sont particulièrement importantes sur le projet ; l'entreprise a donc mis en



© PHOTOTHÈQUE ARCADIS

10



11

© PHOTOTHÈQUE EIFFAGE TP



12

© PHOTOTHÈQUE ARCADIS

place des mesures pour réduire considérablement l'impact des travaux de terrassement et a notamment mis en œuvre :

- Une station de traitement des eaux performante permettant de travailler en circuit fermé, en limitant considérablement les apports et les rejets d'eau ;
- Un système de ventilation avec prise d'air dans le tunnel SNCF pour ne pas avoir de ventilateur à l'extérieur ;

11- Marinage du stross du quai de déchargement.
12- Chargement de la volée d'abatage d'une alvéole.

11- Unloading platform core muck removal.
12- Charging the blasting hole for blasting a compartment.

- La fermeture du chantier par une porte permettant de contenir le bruit et les poussières. Ces mesures, associées à un contrôle strict de tous les paramètres (sonomètres, analyses d'air et d'eau, etc.) permettent de respecter les prescriptions strictes fixées par la réglementation.

CALENDRIER

La durée totale des travaux est 29 mois et se répartit comme suit :

- Travaux préparatoires (constats d'huissiers, capteurs de vibrations, cibles topographiques, caparaçonnage de l'aqueduc) : 5 mois.
- Terrassement/soutènement : 15 mois (fin prévue en juin 2014).
- Étanchéité/génie-civil : 12 mois, dont 3 en recouvrement avec le terrassement (fin prévue février 2015).
- Lots techniques : 4 mois, en recouvrement avec le Génie-civil, fin le 31/03/2015. □

PRINCIPALES QUANTITÉS

TERRAINS EXCAVÉS

À L'EXTÉRIEUR : 2 600 m³

EN SOUTERRAIN : 30 000 m³

SOUTÈNEMENTS PROVISOIRES EN SOUTERRAIN

BÉTONS PROJETÉS : 2 300 m³

BOULONS D'ANCRAGE SWELLEX 4M : 1800 u

BOULONS D'ANCRAGE HA25 4M : 400 u

BOULONS D'ANCRAGE HA32 6M : 180 u

GÉNIE CIVIL EN SOUTERRAIN

COFFRAGE : 25 000 m²

BÉTON DE REVÊTEMENT : 7 000 m³

ARMATURES POUR BÉTON ARMÉ : 585 t

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE : Service des Travaux Publics de Monaco
EXPLOITANT : Société Monégasque de l'Électricité et du Gaz (SMEG)

MAÎTRE D'ŒUVRE : Arcadis

MAÎTRE D'ŒUVRE COURANT FORT - COURANT FAIBLE - VENTILATION : Segic Ingénierie

ORDONNANCEMENT PILOTAGE ET COORDINATION : Arcadis

LOT 1 : Terrassement - Soutènement - Gros Œuvre - Ouvrage d'Art - Maçonnerie - Étanchéité - VRD : Groupement Eiffage TP/Sitren

LOT 2 : Serrurerie : Entreprise Polymetal SAM

LOT 3 : Ventilation - Protection Incendie - Plomberie : Entreprise Crystal SAM

LOT 4 : Courant fort - Courant faible : Squarelectric SAM

LOT 5 : Peinture : Entreprise Tubino & Fils SAM

ABSTRACT

THIRD SOURCE SUBSTATION - MONACO

SYLVIE FAURE, ARCADIS - ALAIN POLONI, EIFFAGE TP - LAURENT CHENIER, EIFFAGE TP

Projections of future electricity consumption showed the need to build a third source substation to distribute electricity at 20 kV from a 63 kV power supply. Executed underground, it comprises three compartments of cross section 100 m², separated by rock pillars 4 m wide, crossed at both ends by a perpendicular tunnel. The project also involves excavation of the substation access tunnel, and two galleries of cross section 8 m², in a highly urbanised environment and in the vicinity of underground structures in service not far from the blasting areas. □

LA TERCERA ESTACIÓN DE TRANSFORMACIÓN - MÓNACO

SYLVIE FAURE, ARCADIS - ALAIN POLONI, EIFFAGE TP - LAURENT CHENIER, EIFFAGE TP

La proyección del consumo de electricidad en el futuro ha puesto de manifiesto la necesidad de construir una tercera Estación de Transformación con objeto de distribuir electricidad a una tensión de 20 kV a partir de una alimentación de 63 kV. La obra, de construcción subterránea, incluye tres alvéolos de 100 m² de secciones, separados por pilares de roca de 4 m de ancho, cortados en sus dos extremos por un túnel perpendicular. El proyecto también incluye la excavación de la galería de acceso a la estación y de dos galerías de 8 m² de sección, en un contexto sumamente urbanizado y cerca de estructuras subterráneas en servicio a poca distancia de las zonas de explosión. □

RÉHABILITATION DU TUNNEL DU VIEUX PORT À MARSEILLE : UN CHANTIER DE NUIT EN MILIEU URBAIN

AUTEURS : MAÎTRE D'OUVRAGE : JOËL VANNI, (COMMUNAUTÉ URBAINE MARSEILLE PROVENCE MÉTROPOLÉ)
MAÎTRE D'ŒUVRE : THIERRY HECK, (ARCADIS - MANDATAIRE) - RÉGIS DESBIEF (BG INGÉNIEURS CONSEILS)
GROUPEMENT D'ENTREPRISES : BRUNO DIMANCHE - NICOLAS BENNATI, (EIFFAGE TP - MANDATAIRE)

LE TUNNEL VIEUX-PORT A ÉTÉ MIS EN SERVICE EN 1967 POUR RELIER LES DEUX RIVES DU VIEUX PORT. INDÉPENDAMMENT D'UNE MISE AUX NORMES DE SÉCURITÉ, IL CONVENAIT DE LE RÉHABILITER ET DE LE RÉNOVER AVANT L'ANNÉE 2013 POUR « MARSEILLE CAPITALE EUROPÉENNE DE LA CULTURE ». CE CHANTIER A ÉTÉ RÉALISÉ ENTIÈREMENT DE NUIT. LA CIRCULATION A ÉTÉ RÉTABLIE CHAQUE MATIN SANS AUCUN RETARD NI INCIDENT. LE MAÎTRE D'OUVRAGE SALUE LE PROFESSIONNALISME DES MAÎTRES D'ŒUVRE ET DES ENTREPRISES QUI A PERMIS DE RÉUSSIR CE GRAND CHANTIER DE RÉHABILITATION EN MAÎTRISANT LES COÛTS, LA QUALITÉ ET LES DÉLAIS ET EN RESPECTANT LES USAGERS.



1
© PHOTOTHÈQUE EIFFAGE

PRÉSENTATION DU PROJET

Le tunnel du Vieux Port à Marseille constitue un ouvrage clé situé au centre de la trame de circulation de l'hyper-centre de la ville (figure 2),

En accord avec les textes réglementaires, la mise aux normes de sécurité a nécessité des travaux de réhabilitation au niveau des tunnels proprement

aits mais également au niveau des ouvrages connexes et des bâtiments techniques.

Ces travaux ont dû tenir compte des contraintes liées aux travaux de nuit et donc aux obligations de remise en service des tunnels le matin à 6 h, et ont nécessité une adaptation des méthodes d'exécution des travaux aux conditions d'exploitation.

1- Tunnel nord-sud avec nouveaux bardages et nouvelle ventilation sanitaire.

1- North-South tunnel with new cladding and new sanitary ventilation.

OBJECTIF : MISE EN SÉCURITÉ DES TUNNELS EN ACCORD AVEC LES TEXTES RÉGLEMENTAIRES

Conformément aux textes réglementaires, le tunnel du Vieux Port appartient à la catégorie des tunnels urbains à trafic non faible interdit aux Transport de Marchandises Dangereuses (TDM). De fait, les travaux de réhabilitation du tunnel du Vieux Port, des ouvrages

et des bâtiments connexes s'inscrivaient dans une démarche de mise en sécurité de l'ensemble des ouvrages conformément notamment à la circulaire interministérielle 2000-63.

Ces travaux ont consisté en une remise à niveau du génie civil et des équipements avec notamment la création d'issues de secours, des équipements d'exploitation et de sécurité et des conditions d'intervention des secours. La réhabilitation a porté également sur l'enlèvement des parements en amiante et leur remplacement, le renouvellement de l'ensemble des équipements techniques, le remplacement complet du système de ventilation et de l'ensemble des équipements de sécurité ainsi que la réparation des bétons.

CARACTÉRISTIQUES DES OUVRAGES EXISTANTS

Le tunnel du Vieux Port est constitué de 2 tunnels et d'ouvrages connexes. Dans le détail :

Les tunnels ;

Un tunnel de sens nord-sud, l'autre de sens sud-nord, de longueur respective 576 et 559 m.

Cet ouvrage construit entre les années 1964 et 1967, est caractérisé dans sa partie centrale par 6 caissons immergés préfabriqués de 45 m de long et de 14,60 m de large (figure 3).

RÉSEAU DES TUNNELS MARSEILLAIS



2 © DR

2- Réseau des tunnels marseillais.
3- Construction du tunnel du Vieux Port de 1964 à 1967.

2- Marseille tunnel network.
3- Construction of the tunnel of the Old Port from 1964 to 1967.

Dans la partie nord, la structure des tunnels est différente. En effet, le tunnel de sens sud-nord est constitué d'une voûte en béton tandis que celui de sens nord-sud a été réalisé en tranchée couverte.

Chaque tunnel est constitué de 2 voies de circulation de 3,50 m de large, de 2 trottoirs et de 2 galeries latérales (l'une technique, l'autre servant de gaine de ventilation).

Le gabarit maximal, limité à 3,20 m, exclut de fait la quasi-totalité des

pois lourds (véhicules de plus de 3,5 tonnes). Le tunnel est interdit aux véhicules de Transport de Marchandises Dangereuses.

Ouvrages connexes : les tunnels St-Maurice et Vaudoier, les bâtiments

→ Le tunnel Saint Maurice est situé en amont du tunnel de sens sud-nord et a été creusé lors de la construction du tunnel sous le Vieux-Port. D'une longueur de 80 mètres environ, il été creusé à l'explosif.

→ Le tunnel Vaudoier dit « tunnel centre-ville » permet le passage direct des véhicules provenant du nord vers le Vieux Port. C'est un ouvrage cadre accolé au tube ouest, d'une longueur d'environ 50 m.

→ Les bâtiments :

- Le bâtiment de commandes (bâtiment C) est implanté côté nord sur le parvis Saint-Laurent. Au sein de ce bâtiment, le poste de contrôle gère la circulation. Un accès direct au tunnel est possible sur le tube est par le biais du puits d'accès ;

- L'usine de ventilation située sur le Vieux Port (côté nord) est partiellement enterrée et permet de faire fonctionner les ventilateurs. Ces derniers insufflent de l'air dans les galeries latérales du tunnel, dites galeries de ventilation, permettant ainsi le renouvellement de l'air ;

- Le bâtiment D situé sur le Vieux Port au niveau des quais et de l'entrée du bassin de Carénage sert surtout de bassin d'accumulation des eaux pluviales venant du tunnel et des chaussées du bassin carénage et comprend une station de pompage équipée de trois pompes ;

- La station de pompage centrale est située au point bas du tunnel. Un appui entre caissons du tunnel a été utilisé comme espace de stockage.

CONTENU DES TRAVAUX DU MARCHÉ

Les travaux ont consisté notamment en :

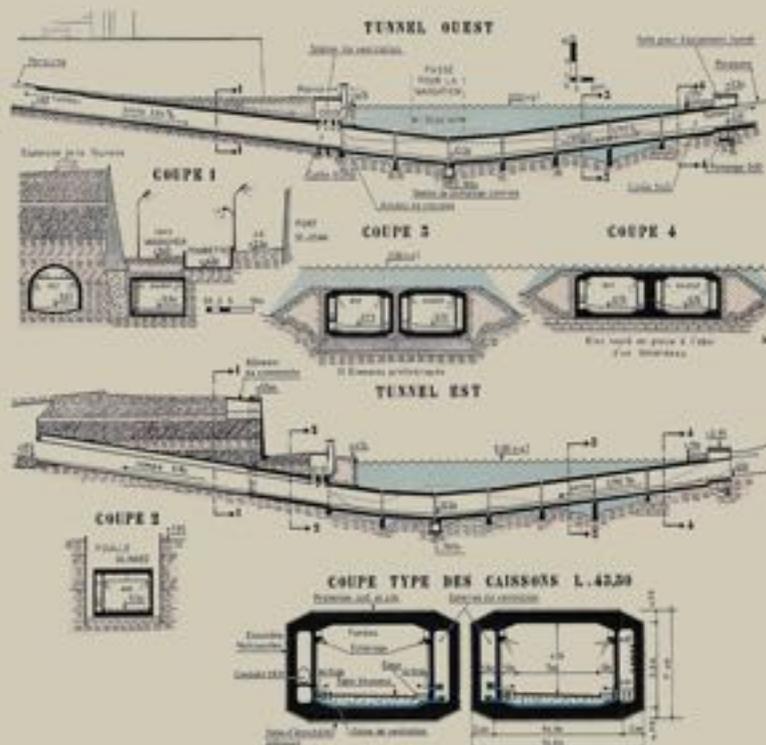
→ L'aménagement d'un giratoire à l'entrée Sud permettant la gestion de la circulation et l'accès aux secours ;

→ Le désamiantage des parties d'ouvrages concernées et leur démolition ;

→ La pose de protection au feu sur les structures ;

→ La création de 3 issues de secours ; ▷

CONSTRUCTION DU TUNNEL DU VIEUX PORT DE 1964 À 1967



3 © DR



- La pose de nouveaux bardages et de bandeaux lumineux ;
- Le remplacement de l'ensemble des équipements techniques ;
- Les aménagements nécessaires des structures et des bâtiments ;
- La réhabilitation des structures avec notamment des travaux de traitement de venues d'eau ainsi que la réalisation d'une protection cathodique des joints des caissons

Aménagement d'un giratoire à l'entrée Sud

Cet aménagement assimilable à un rond-point (figures 4a & 4b) était nécessaire afin de permettre :

- La fermeture aux usagers de l'entrée du Tunnel Prado Carénage (TPC) vers Aubagne, par une barrière télécommandée depuis le Poste de Commande TPC ;
- La fermeture aux usagers de l'entrée du Tunnel Vieux-Port (TVP) vers la Joliette (Tube Est) par une barrière télécommandée depuis le Poste de Commande TVP ;
- Au Bataillon des Marins Pompiers de Marseille (BMPM) d'accéder, en cas d'incidents, en contre-sens, dans le tube Ouest du TVP ;
- Au BMPM d'accéder, en cas d'incidents, en contre-sens, dans le TPC ;
- Aux usagers d'effectuer un demi-tour dans le cas où l'entrée d'un tunnel était fermée ;
- L'accès à la zone d'installation de chantier.

Désamiantage

Les travaux de désamiantage ont consisté en la dépose des éléments de bardage existants des différents tunnels (figure 5) et dans la démolition de la dalle située en partie nord du tunnel sens sud-nord, partie d'ouvrage appe-

lée plus communément voûte Saint Laurent. Ces opérations ont nécessité la mise en place de mesures respectant la réglementation en vigueur vis-à-vis de la présence d'amiante et l'établissement d'un plan de retrait.

Le Groupement a dû également s'adapter et prendre les dispositions nécessaires au regard de la législation, en raison de la présence de 2 types de produits contenant de l'amiante : les produits non friables et les produits friables.

Traitement des joints des caissons : réparation des bétons et protection cathodique

Les diagnostics effectués au cours des études préalables ont permis de mettre en évidence les différents travaux à exécuter :

4a & 4b- Accès sud avant et après les travaux.

5- Dépose des bardages en amiante dans les tunnels.

6- Principe de mise en œuvre de la protection cathodique.

4a & 4b- South access before and after the works.

5- Removal of asbestos cladding from the tunnels.

6- Schematic of the application of cathodic protection.

→ Traitement des voûtes (voûte Saint-Laurent et tunnel Saint-Maurice) par injections de fissures ;

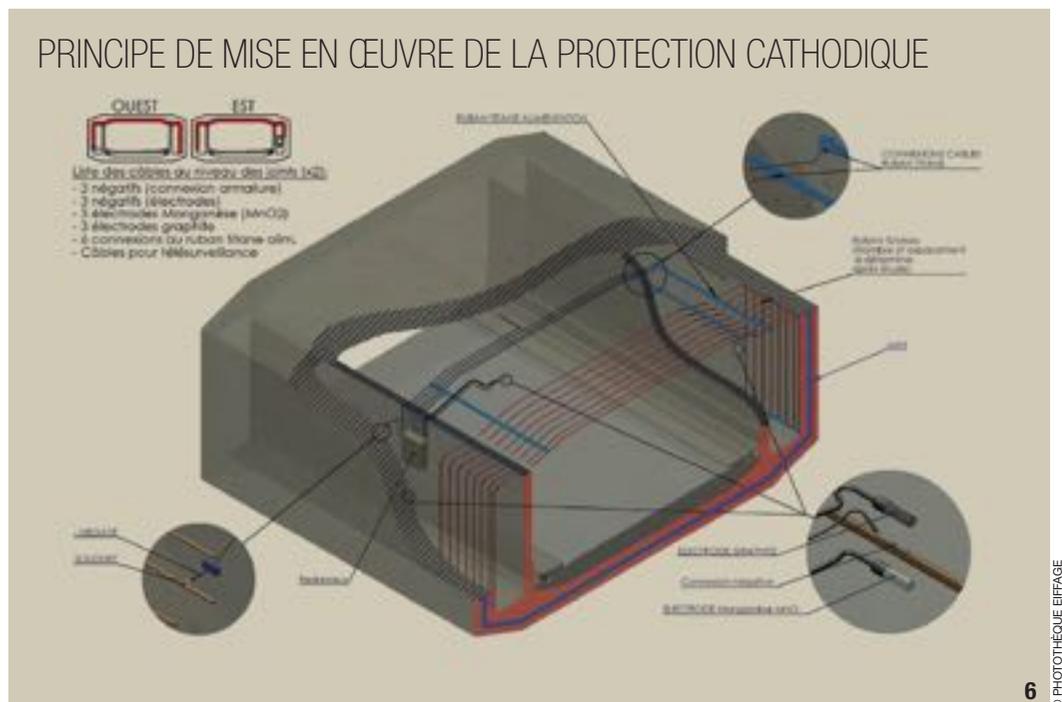
→ Traitement des éclats de béton ;

→ Traitement des joints de caissons. Ces joints des caissons situés dans un environnement salin, constituant un point faible vis-à-vis de l'étanchéité, présentaient une corrosion plus ou moins développée.

Un premier traitement a consisté à traiter le joint vis-à-vis des venues d'eau par injection et mise en place d'une bande d'hypalon.

Le choix de traitement de la corrosion par protection cathodique par courant imposé a été retenu.

Ce procédé a pour but de réduire voire de stopper le processus d'altération des armatures.





Pour des raisons évidentes de faisabilité, la protection cathodique a consisté à traiter uniquement la nappe d'armatures intérieure des caissons, sur une largeur de 2 m, par la mise en place dans la structure béton de rubans en titane ainsi que des électrodes de références en graphite et manganèse (figure 6). Le système de protection

cathodique mis en place fait l'objet d'une télésurveillance permanente laquelle permettra en continu, de visualiser l'état du système (tension et courant), de piloter la dépolarisation et de vérifier l'état des disjoncteurs d'alimentation des coffrets redresseurs.

Aménagements du système de ventilation par création

de trémies de ventilation, nouveau système d'extraction massive et nouvelle ventilation sanitaire

Afin de satisfaire à la réglementation des tunnels urbains à trafic non faible d'importants aménagements ont été nécessaires.

Ces aménagements ont consisté pour l'essentiel à restructurer complète-

ment l'ancien bâtiment de ventilation dans lequel existaient des ventilateurs vétustes (figures 7 et 8) et à créer un système d'extraction massive (figures 9 et 10) des fumées en cas d'incendie. Ont été réalisées 2 trémies de dimensions importantes (16 m² d'ouverture) dans des dalles bétons existantes de 2 m d'épaisseur.

7 & 8- Anciens extracteurs et travaux d'aménagements dans l'usine de ventilation.

9 & 10- Nouveaux extracteurs et nouveaux aménagements dans l'usine de ventilation.

7 & 8- Old exhausters and development works in the ventilation plant.

9 & 10- New exhausters and new developments in the ventilation plant.



Une ventilation sanitaire longitudinale dans les tunnels a été créée (figure 11). L'ensemble de ces travaux de génie civil d'aménagements a nécessité de la part du Groupement une adaptation de ses méthodes d'exécutions ainsi que la mise en œuvre de moyens conséquents dans un milieu exigu et contraignant en matière de charges maximale autorisée.

Protection au feu des structures

Afin de répondre aux exigences de la réglementation actuelle en terme de résistance au feu, une protection au feu a été mise en œuvre au niveau des bâtiments situés au-dessus des tunnels, des joints des caissons et de la section cadre en partie sud du tunnel sens sud-nord.

Des plaques répondant au critère de tenue au feu MO ont été mises en place.

Aménagements d'issues de secours

Afin de ramener l'inter-distance à 200 m entre les points d'évacuation des usagers, des issues de secours au nombre de 3 ont été créées (figure 12). Au final le schéma des issues de secours est constitué d'une galerie de communication entre les 2 tunnels et d'une galerie de secours dédiée à chaque tunnel débouchant dans le bâtiment D situé coté sud du tunnel du Vieux Port.

Le passage du système de ventilation existant (insufflation d'air sanitaire par galeries de ventilation) au système de ventilation réalisé (ventilation longitudinales avec extraction massive) a permis de disposer des anciennes galeries de ventilation et de les transformer en galeries de secours (figure 13).

Ces issues de secours ont nécessité des aménagements dans les bâtiments existants et des modifications de la structure afin de permettre aux moyens de secours d'intervenir dans les meilleures conditions et aux usagers de s'évacuer les tunnels dans des conditions optimales de sécurité.

La GTC

La GTC existante a été remplacée en totalité.

Le système GTC mis en place est composé de 2 automates redondants, avec des modules E/S déportés sur le terrain. Le réseau terrain est en double anneau fibre optique auto-cicatrisant. Les serveurs d'acquisition temps réel GTC sont redondés

La supervision du tunnel du Vieux Port (figure 14) permet à l'Exploitant d'assurer la conduite de l'ouvrage depuis le PC tunnels.



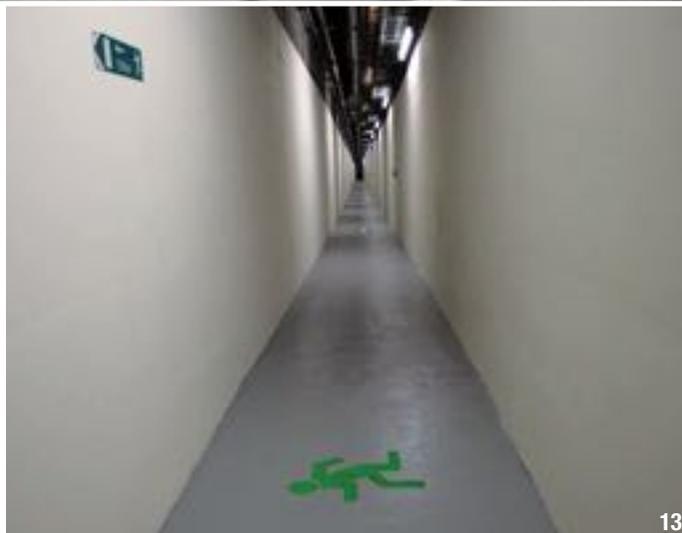
11

© PHOTO THÉOQUE EIFFAGE



12

© PHOTO THÉOQUE EIFFAGE

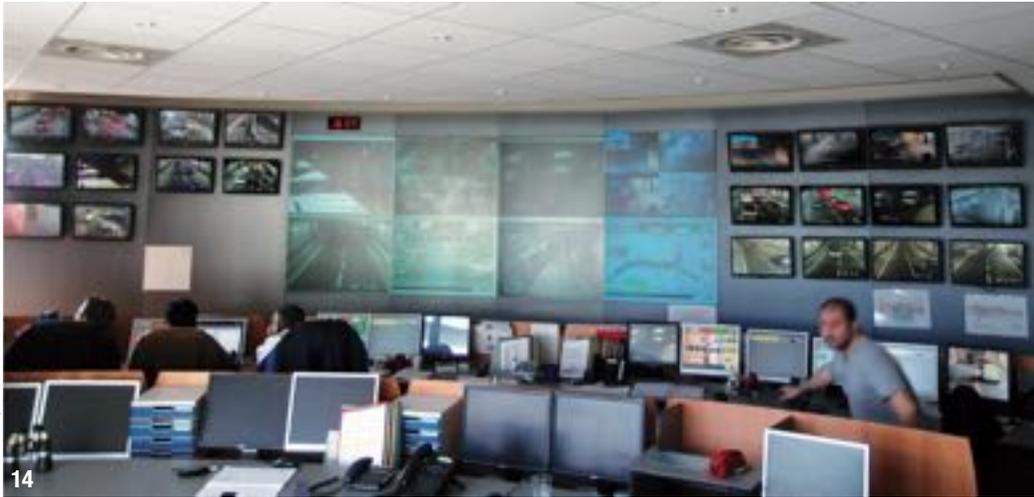


13

© PHOTO THÉOQUE EIFFAGE

11 - Nouvelle ventilation sanitaire en tunnel.
12 & 13 - Création d'issues de secours et des galeries de sécurité.

11 - New sanitary ventilation in the tunnel.
12 & 13 - Creation of emergency exits and safety galleries.



14

LES TRAVAUX DU TUNNEL DU VIEUX PORT EN QUELQUES CHIFFRES

GÉNIE CIVIL

- Dépose de bardages amiantés : 6 000 m²
- Dépose de câbles : 58 km
- Injection de fissures : 2 600 m
- Protection au feu : 2 500 m²
- Protection cathodique par courant imposé : 1 680 m²
- Création d'issues de secours : 3
- Pose de nouveaux bardages et de glissières en béton : 6 500 m²

ÉQUIPEMENTS PRINCIPAUX

- Poste HTA/BT 3x630 kVA, TGBT et distribution électrique
- 25 accélérateurs en tunnel 27 kW
- 3 extracteurs 132 kW et registres pour extraction massive
- 2 stations de pompage (4x120 l/s et 2x120 l/s)
- Système GTC 2 automatés redondants et 16 modules E/S déportés
- Système radiocommunication en tunnel
- 44 caméras dont 25 DAI
- 10 niches de sécurité
- 4 issues de secours et galeries de sécurité
- 760 luminaires pour éclairage tunnel

14- Poste de commande du tunnel rénové.

14- Renovated tunnel control station.

CONTRAINTES DE RÉALISATION DES TRAVAUX DE NUIT

Les analyses du trafic réalisées lors des études préalables, ont permis d'identifier que le trafic répondait à

des mouvements pendulaires de type domicile-travail, avec des volumes importants.

En raison de ces éléments, une fermeture simultanée des deux tubes comme toute fermeture en journée, même partielle, était interdite.

Par ailleurs, la présence du tunnel concédé Prado-Carénage situé au sud du tunnel du Vieux Port a renforcé cette obligation de maintien du trafic en journée.

En conséquence, il a été imposé au Groupement d'entreprises la contrainte de réaliser les travaux de nuit de façon quasi exclusive selon une plage horaire de 22h (mise à disposition du tunnel aux entreprises) à 6h (remise à disposition du tunnel aux usagers).

Chaque remise en service a nécessité de la part du Groupement d'entreprises et avec l'Exploitant, une vérification du bon fonctionnement des équipements entrant dans le cadre des Conditions Minimales d'Exploitations.

En l'occurrence, il s'agissait de contrôler l'efficacité de la vidéo, de l'éclairage, de la signalisation, de la ventilation sanitaire, de la conduite incendie, des postes d'Appels d'Urgence (PAU) et Prises Courants Pompiers, de la GTC/ Supervision. □

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRISE D'OUVRAGE :

Communauté Urbaine Marseille Provence Métropole

GROUPEMENT DE MAÎTRISE D'ŒUVRE :

Arcadis (mandataire) - BG Ingénieurs Conseils

CONTRÔLE TECHNIQUE : Bureau Véritas

GROUPEMENT D'ENTREPRISES :

Eiffage TP (mandataire) - Axima - Clemessy - Eiffage Énergie

ABSTRACT

RENOVATION OF THE TUNNEL OF THE OLD PORT IN MARSEILLE: WORK AT NIGHT IN AN URBAN ENVIRONMENT

JOËL VANNI - THIERRY HECK - RÉGIS DESBIEF - BRUNO DIMANCHE - NICOLAS BENNATI

To bring the tunnel of the Old Port into compliance with standards, renovation and repair works must be performed. Since this structure is located on a dense urban site, closing both tunnels at the same time is prohibited and closing one, even temporarily, during the daytime is prohibited. The works to upgrade the civil engineering and equipment must therefore be carried out at night. A check on all the safety equipment is performed each morning before opening, to verify compliance with minimum operating conditions. □

REHABILITACIÓN DEL TÚNEL DEL PUERTO VIEJO EN MARSELLA: UNA OBRA REALIZADA POR LA NOCHE EN MEDIO URBANO

JOËL VANNI - THIERRY HECK - RÉGIS DESBIEF - BRUNO DIMANCHE - NICOLAS BENNATI

Para que el túnel del Puerto Viejo se adecuara a las normas, era necesario realizar obras de reforma y rehabilitación. Dado que esta obra se sitúa en un centro urbano denso, está prohibido cerrar simultáneamente los dos túneles, así como cerrar uno, incluso temporalmente, durante el día. Así pues, las obras, que consisten en una modernización de la ingeniería civil y de los equipamientos, deben realizarse por la noche. Todas las mañanas, antes de la apertura, se efectúa un control del conjunto de los equipos de seguridad para verificar la conformidad con las Condiciones Mínimas de Explotación. □



RÉNOVATION DE LA VENTILATION DE DÉSENFUMAGE DU COMPLEXE SOUTERRAIN DE NANTERRE-LA DÉFENSE

AUTEURS : MICHEL DARPAS, INGÉNIEUR EN CHEF AU PÔLE ÉQUIPEMENTS ET SÉCURITÉ, SETEC TPI - FRÉDÉRIC HERVÉ, DIRECTEUR DU PÔLE ÉQUIPEMENTS ET SÉCURITÉ, SETEC TPI

BIEN QUE NON APPLICABLE AUX TUNNELS EXISTANTS, LA RÉGLEMENTATION D'AOÛT 2000 CONCERNANT LE NIVEAU DE SÉCURITÉ DANS LES TUNNELS ROUTIERS NEUFS DEMEURE UNE RÉFÉRENCE VERS LAQUELLE IL EST SOUHAITABLE DE TENDRE. LA RÉNOVATION DE LA VENTILATION DES TUNNELS DE NANTERRE - LA DÉFENSE CONSTITUE UN EXEMPLE TYPIQUE OÙ LES CONTRAINTES DE L'EXISTANT NE PERMETTENT PAS D'ATTEINDRE LES STANDARDS DES OUVRAGES NEUFS. DES ÉTUDES AUX ESSAIS, CET ARTICLE DÉCRIT LES MOYENS ET LES INNOVATIONS QUI ONT PERMIS D'ATTEINDRE UN BON NIVEAU DE SÉCURITÉ.

PRÉSENTATION GÉNÉRALE DU CONTEXTE DE L'OPÉ- RATION

Dans le cadre de la modernisation des 22 tunnels du réseau routier francilien (hors Ville de Paris), le complexe souterrain de Nanterre-La Défense constitue un chantier majeur de 15 km sur l'A14 et l'A86 dans une zone fortement urbanisée. La Direction Interdépartementale des Routes d'Ile de France (DIRIF), en

tant que Maître d'Ouvrage, a opté pour un marché de conception-réalisation attribué à un groupement constitué par Bouygues TP (Mandataire), Spie Batignolles TPCI, SDEL, Axima Seitha, Setec TPI et Artelia.

L'ampleur des travaux est considérable puisqu'ils comprennent la construction d'issues de secours supplémentaires, la pose de 300 000 m² de protection feu des structures, la refonte des réseaux

**1- Secteur
Défense :
modèle
global.**

**1- Défense
sector: ove-
rall model.**

HT BT, de la ventilation ainsi que de la gestion technique centralisée.

Pour ce chantier hors norme, l'enjeu de la rénovation de la ventilation de désenfumage est d'autant plus important pour la sécurité des usagers et des services de secours que l'interdiction aux poids lourds décrétée depuis août 2008 dans le tunnel de l'A14 doit être levée suite aux travaux de modernisation.

LE QUARTIER DÉFENSE AUTOROUTIER A14/A86

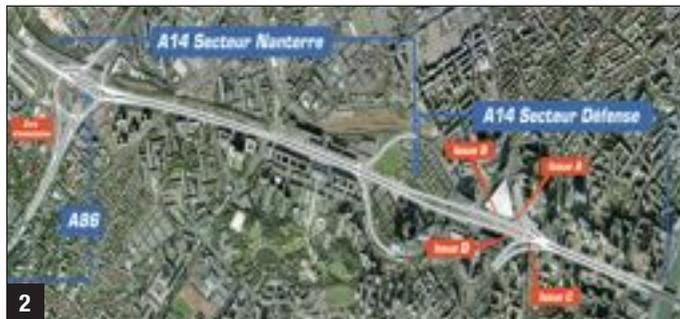
Le complexe A14/A86 constitue l'une des principales dessertes du quartier de la Défense (figure 2).

Avec 3 000 000 m² de bureaux accueillant environ 170 000 salariés, cet ensemble est le plus grand quartier d'affaires d'Europe. Il abrite également des ouvrages et des activités variés. Ainsi les voiries et tunnels de l'EPADESA, plus de 230 000 m² de commerces dont le centre commercial "Les 4 temps", le CNIT et d'autres établissements recevant du public. Il comprend également un nœud intermodal de transport composé de lignes de métro, de RER, de bus, de tramway (RATP) et de train (SNCF) traversé chaque jour par plus de 400 000 personnes.

LE COMPLEXE AUTOROUTIER DE NANTERRE LA DÉFENSE (A14/A86)

Le complexe souterrain de Nanterre - La Défense est composé des autoroutes A14 et A86, lesquelles sont reliées par un échangeur en partie enterré.

Le tunnel de l'A14 comprend 2 tubes monodirectionnels d'environ 4,1 km de long ainsi que quelques bretelles d'entrée et sortie pour un trafic moyen journalier annuel de 100 000 véhicules/jours. Le tunnel de l'A86 comprend 2 tubes monodirectionnels d'environ 1 km de long pour un trafic moyen journalier annuel de 100 000 véhicules/jour. La vitesse est limitée à 70 km/h sur le tunnel de l'A14 comme sur l'A86. Les diverses sections du complexe A14/A86 ont été réalisées à des époques très différentes. Ainsi, les tubes de l'A14 Défense ont été



© DIRIF

2- Le complexe souterrain A14/A86 dans son environnement urbain.

3- Coupe de la superstructure de La Défense.

2- The A14/A86 underground complex in its urban environment.

3- Cross section of the La Défense superstructure.

aménagés dans des structures pré-existantes à plusieurs niveaux conçues dans les années 1960-1970 lors de la création du quartier de l'esplanade de La Défense. Par la suite, les tunnels de l'A14 Nanterre et de l'A86 Nanterre ont été ouverts en 1996 alors que les dernières bretelles réalisées dans l'échangeur ont été ouvertes en 2004. Il est d'usage de référencer les 4 principaux tubes de la manière suivante :

- A14 sens W (noté A14W) pour

le sens de circulation Province vers Paris ;

- A14 sens Y (noté A14Y) pour le sens de circulation Paris vers Province ;

- A86 sens intérieur (noté A86 Int) pour le sens de circulation du sud vers le nord ;

- A86 sens extérieur (noté A86 Ext) pour le sens de circulation du nord vers le sud.

L'ensemble des travaux en tunnel a été réalisé de nuit. Le complexe A14/A86 est ainsi resté en exploitation de jour et le week-end pendant la totalité des travaux à l'exception de fermetures partielles de l'ouvrage durant quelques week-ends et pour trois semaines au mois d'août 2011 (secteur A14 défense uniquement).

DESCRIPTION DE LA VENTILATION EXISTANTE

L'étalement dans le temps des études de conception puis des travaux de réalisation de ces ouvrages a engendré une grande hétérogénéité des principes de ventilation des ouvrages et des structures de génie civil. Il en résulte une disparité de conception pour les gaines et les usines de ventilation.

Ainsi, la diversité des principes se traduit par une ventilation :

- Transversale sur A14 avec présence d'une transparence aéraulique ;

- Transversale et longitudinale sur A86 avec présence d'une transparence aéraulique ;

- Transversale ou longitudinale sur l'échangeur.

L'ouvrage est divisé en 40 cantons de longueurs variées allant de 140 m à 640 m. La plus petite section en bretelle est de 45 m² alors qu'elle dépasse 180 m² sur la partie à 4 voies de l'A14Y. Les gaines d'extraction cheminent également de manière très diverse :

- En piédroit droit ou gauche ;

- En piédroit droit et gauche ;

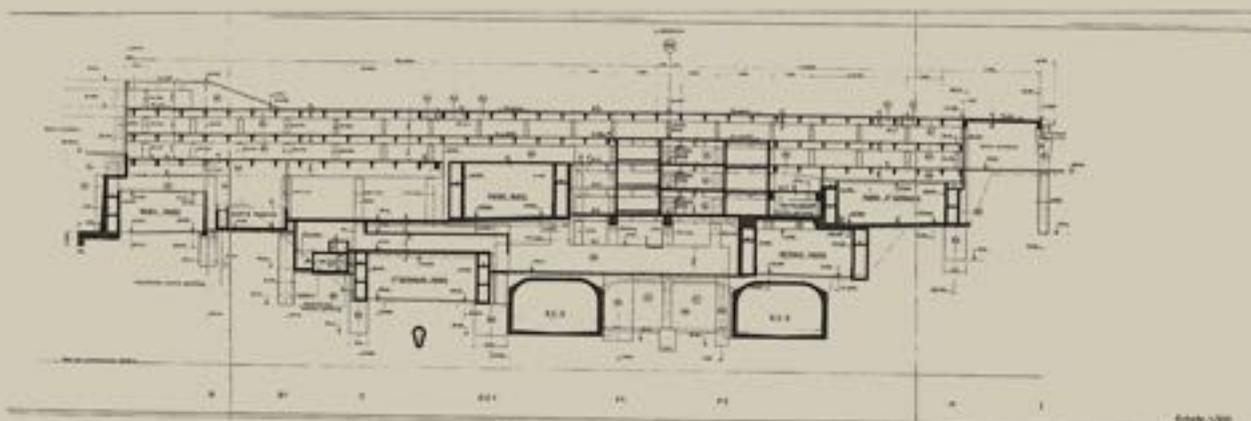
- En plafond.

En zone A14 Nanterre et A86, l'extraction en tunnel s'effectue par des carreaux de grande taille répartis tous les 50 m conformément aux recommandations actuelles. Sur la partie Défense, les carreaux de petite taille réparties tous les 5 m ne permettent pas une extraction efficace des fumées en cas d'incendie (figure 4).

Parmi les 23 usines regroupant les locaux techniques du complexe, 16 sont équipées de ventilateurs de soufflage ou d'extraction. Sur le secteur A14 Défense, chaque gaine d'extraction n'est équipée que d'un seul ventilateur supprimant systématiquement le désenfumage dans le canton concerné en cas de panne ou défaut d'un équipement.

Sur le reste de l'ouvrage les cantons disposent de 2 ventilateurs ce qui permet de maintenir une capacité (bien que réduite) d'extraction en cas d'incendie. Le désenfumage repose sur 38 scénarios associés à des cantons en tunnel. ▷

COUPE DE LA SUPERSTRUCTURE DE LA DÉFENSE



© DEFACTO

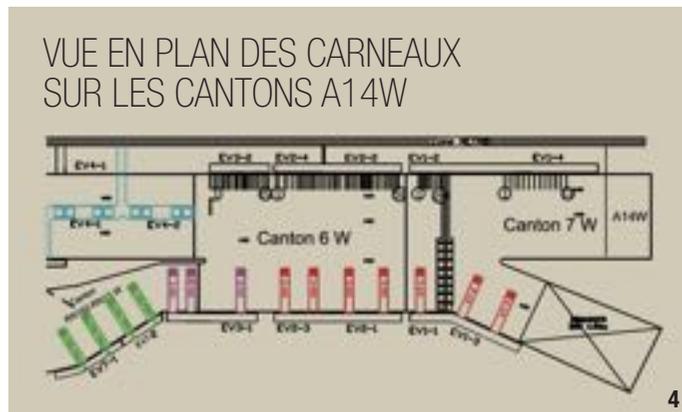
3

Le principe général des scénarios de désenfumage consiste à extraire sur le canton sinistré puis sur le canton situé immédiatement en aval en maintenant un soufflage réparti sur l'ensemble de l'ouvrage.

Sur le secteur Défense, le nombre réduit d'extracteurs utilisés par scénario de désenfumage allié à un système d'extraction répartie via de petits carneaux peu efficaces ne permettait pas d'atteindre un niveau de sécurité satisfaisant. De plus, la moindre panne d'un extracteur sur l'A14 Défense engendrait rapidement le passage en « Critique » vis-à-vis des conditions minimale d'exploitation (CME).

OBJECTIFS DE RÉNOVATION DU DÉSENFUMAGE

Bien que l'instruction technique rende obligatoire le contrôle du courant d'air longitudinal dans les tunnels unidirectionnels urbains de plus de 3 000 m, l'objectif de contrôle du courant d'air longitudinal au sens du §3.2.2.b de l'Instruction Technique (IT) n'a pas été retenu. En effet, en raison des dimensions exceptionnelles de certaines sections de l'ouvrage et de la présence de multiples bretelles d'entrée/sortie ou l'interconnexion au niveau de l'échangeur, l'application de l'IT aurait conduit à une remise en cause fondamentale du génie civil existant. Aussi, la MOA a considéré qu'un niveau de sécurité équivalent pouvait être obtenu par une gestion appropriée des systèmes en tirant bénéfice des dimensions exceptionnelles de certaines sections de l'ouvrage. En cas d'absence de contrôle du courant d'air longitudinal, l'objectif de majoration des débits d'extraction est ainsi recherché sachant qu'elle ne pourra pas toujours être atteinte compte tenu des limites du génie civil existant. Cependant, le programme prévoyait que le contrôle du courant d'air devait être atteint dans plus des 2/3 des cantons pour des conditions adverses dues aux effets atmosphériques (appe-



lés couramment contrepressions et correspondant aux conditions de vent pour un tunnel urbain) dont la durée de dépassement ne doit excéder 5 % du temps. La gestion appropriée des systèmes repose sur la mise en œuvre d'un principe de désenfumage adapté aux conditions de circulation au départ de l'incendie.

→ Si le trafic est fluide, l'objectif principal est de pousser les fumées en aval de l'incendie (dans le sens de circulation), sans assurer nécessairement la stratification des fumées, puis de les extraire si possible ou sinon de les évacuer à la sortie du tunnel (figure 6).

→ Si le trafic est bloqué, l'objectif principal est de favoriser la stratification des fumées en réduisant la vitesse du courant d'air longitudinal au droit

de l'incendie, et de les extraire dans la zone du sinistre (figure 7).

Afin de rendre le système plus robuste le Maître d'Ouvrage n'a pas envisagé de système de régulation active avec mesure de la vitesse du courant d'air et asservissement des équipements de ventilation en boucle fermée.

En termes de moyens, le programme de rénovation demandait essentiellement le changement de 49 moto-ventilateurs d'extraction dont les puissances varient de 55 à 450 kW avec une obligation de résultats sur les débits minimaux à extraire par canton. Le Maître d'Ouvrage restait ouvert quant aux propositions à mettre en œuvre (équipements supplémentaires, choix du scénario de désenfumage selon des paramètres à définir) pour atteindre les objectifs de contrôle du courant d'air.

4- Vue en plan des carneaux sur les cantons A14W.

5- Secteur Défense : zoom sur la tête de la bretelle RN192.

6- Illustration du principe du désenfumage longitudinal.

7- Illustration du principe du désenfumage transversal.

4- Plan view of flues on A14W sections.

5- Défense sector: focus on the head of the RN192 ramp.

6- Illustration of the longitudinal smoke control technique.

7- Illustration of the transverse smoke control technique.

ÉTUDE DE CONCEPTION DE LA VENTILATION

Les études de conception se sont déroulées en deux phases : Un Avant-Projet puis un Projet.

PHASE D'AVANT-PROJET - ÉTUDE DE CONCEPTION

Le dossier d'Avant-Projet avait pour objectif de répondre au programme mais également de permettre un chiffrage des travaux puisque l'ensemble constituait l'offre du Groupement Bouygues qui lui a permis de remporter le marché de Conception-Réalisation. Les études d'avant-projet ont permis de dégager les grands principes de rénovation des installations de désenfumage et de pré-dimensionner les débits et les puissances des extracteurs à rénover. Les études d'optimisation des moyens



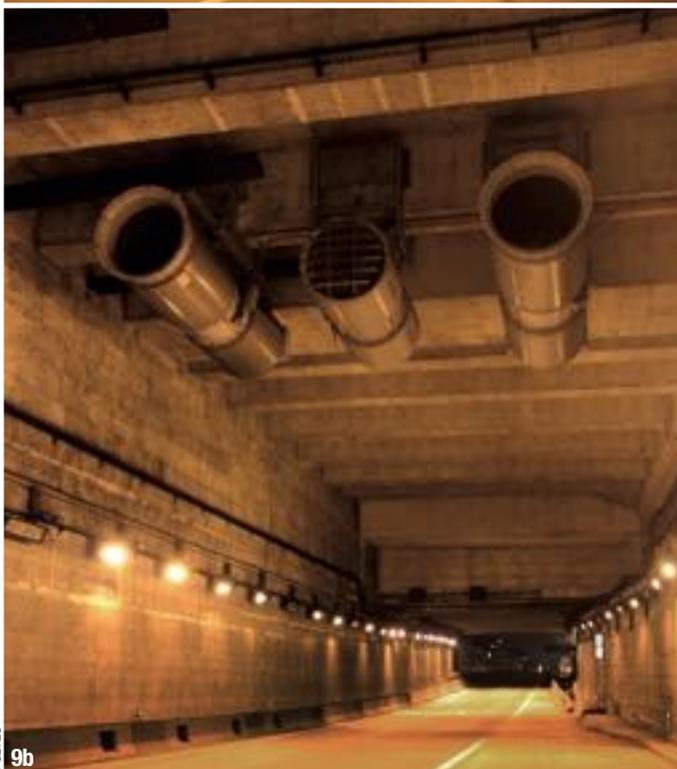


8- Superposition des ventilateurs fonctionnant en parallèle.

9a & 9b- Carneaux et accélérateurs en zone A14 Défense.

8- Superposition of fans operating in parallel.

9a & 9b- Flues and circulation pumps in Défense zone A14.



en ventilateurs d'extraction a permis de proposer le remplacement de 46 moto-ventilateurs (soit 3 de moins que le programme) tout en dépassant les capacités en débit demandées au programme. Les premières études de détermination des scénarios de désenfumage en tenant compte des contre-pressions extrêmes ont mis en évidence la nécessité de prévoir des équipements supplémentaires pour améliorer le contrôle du courant d'air longitudinal en tunnel. Le choix s'est porté sur la mise en place de deux batteries de 3 accélérateurs (dont un fonctionnant en sens inverse) sur chacun des deux sens dans le secteur Défense de l'A14 ainsi que sur le remplacement de neuf accélérateurs monodirectionnels par des machines réversibles sur les tubes de l'A86 (figure 9b). Cette option permet également la création de scénarios de mise en surpression du tube sain en cas d'incendie afin d'éviter le recyclage des fumées d'un tube à l'autre.

PHASE DE PROJET

Le défi qu'a dû relever le Groupement était de réaliser un dossier Projet sur un ouvrage existant aussi important en seulement 6 mois. Des équipes ont travaillé en parallèle pour réaliser les études aérauliques 3D de détermination des contre-pressions et les études de dimensionnement des extracteurs.

De même, la création des modèles aérauliques 1D du tunnel et l'optimisation des scénarios de désenfumage a nécessité de mobiliser des moyens humains conséquents. L'hétérogénéité des usines a conduit l'équipe de projecteurs à concevoir des aménagements différents pour chaque ligne d'extracteurs.

Étude des effets du vent - Étude aéraulique 3D de détermination des contre-pressions

La problématique du contrôle du courant d'air a amené l'ingénierie à étudier plus précisément par simulation les effets du vent sur les têtes de tunnel

pour en évaluer l'impact en termes de contrepressions. Cette démarche a été menée en partenariat avec le CSTB. La modélisation en 3D des bâtis est réalisée sur 4 zones d'entrée et sortie du tunnel. Les obstacles pertinents sont pris en compte dans un rayon de 300 m. Les simulations numériques sont réalisées sous le logiciel CFD Fluent pour les 4 zones séparément. Les calculs réalisés permettent d'obtenir, pour les directions de vent simulées, la répartition des pressions sur l'ensemble des têtes de tunnels. Ces résultats sont ensuite reliés aux données de vent issues d'une station météorologique de manière à déterminer les valeurs des coefficients de tête de tunnel en fonction de la direction du vent $C_p(\theta)$, ceci pour l'ensemble des portails étudiés (figures 1 & 5).

La station météorologique la plus proche est située à Vélizy-Villacoublay, soit à 14 km des têtes les plus éloignées de l'ouvrage. L'analyse des

données météorologiques montre que les vitesses de vent (à 10 m d'altitude) sont toujours inférieures à 7 m/s pendant 95% du temps toutes directions confondues. À partir des $C_p(\theta)$ et des données météorologiques, les valeurs des contre-pressions favorables et défavorables sont déterminées pour chaque tête du complexe A14/A86.

Ce travail a permis de réduire de manière significative les valeurs de contre-pressions de dimensionnement à une gamme de l'ordre de plus ou moins 15 Pa alors que les études précédentes se basaient sur une gamme de plus ou moins 50 Pa.

Phase de projet - Études de dimensionnement des réseaux

Des calculs de perte de charge sont menés dès le démarrage de la phase projet. Les données d'entrée concernant les gaines intégrées dans les ouvrages de génie civil existants de la partie A14 Défense sont constituées essentiellement par des plans de structure de l'époque.

Ces informations étant incomplètes, des équipes des constructeurs ont multiplié les nuits de visite pour lever les incertitudes ou absence de données d'entrée sur la géométrie de certaines gaines. Ces campagnes ont permis ainsi de compléter et fiabiliser les données d'entrée pour les calculs de pertes de charges indispensables au dimensionnement des machines.

Au final, les dimensionnements réalisés en phase AVP ont pu être affinés, permettant d'aboutir à la commande de 46 moto-ventilateurs d'extraction.

Le dédoublement des extracteurs a nécessité l'adaptation des réseaux de gaine au niveau des usines par la création de plenums communs. L'espace disponible étant réduit, l'agencement avec superposition des ventilateurs s'est imposé dans 80% des réseaux sur le secteur Défense (figure 8).

Tous les extracteurs du secteur A14 Défense ont été remplacés. Ces évolutions permettent une augmentation de la capacité globale du débit d'extraction de l'ordre de 80%. Sur l'A14 Nanterre, plus de la moitié des extracteurs est remplacée pour un gain de la capacité globale du débit d'extraction de l'ordre de 20%. L'accroissement important des débits d'extraction sur le secteur Défense nécessite d'augmenter la section des carneaux en tunnel.

Afin d'améliorer l'efficacité du désenfumage, la mise en place de gros carneaux répartis environ tous les 50 m a été retenue en remplacement des petits carneaux existants agencés en peigne. ▽



10a



10b

© SETEC

Cette solution est adaptée à chaque fois que les contraintes liées au génie civil existant le permettent.

En effet, en moyenne les dimensions des nouveaux carreaux de 2 m par 0,6 m nécessitent des ouvertures importantes dans les parois des gaines d'extraction et un cheminement dans l'espace tunnel (pour extraire en partie haute) contraint par le gabarit autoroutier (figures 9a).

Détermination des scénarios de désenfumage

À partir des données géométriques du tunnel et du dimensionnement des machines validées en phase projet, l'étude de détermination est menée sous le logiciel Express'Air, développé par Setec TPI. Ce logiciel de calculs permet de simuler, à l'aide d'un modèle 1D anisotherme transitoire, l'évolution des différents paramètres tels que la vitesse de l'air, la température ou la concentration en polluants dans un tunnel routier en cas d'exploitation normale ou en situation d'incendie. Le complexe A14/A86 est constitué de 3 ensembles aérauliques indépendants comprenant l'A14Y et l'A86 Ext (reliées par la bretelle B1), l'A86 Int connectée aux bretelles B3, B4 et B8) et l'A14W. Chacun fait l'objet d'un modèle distinct. L'ensemble des équipements du tunnel est modélisé (ventilateur de soufflage et d'extraction, accélérateurs, barrière d'arrêt de trafic, etc.) ainsi que les différents paramètres liés au trafic, à l'incendie ou aux contrepressions. Des centaines de simulations ont permis de déterminer un scénario de désenfumage optimisé pour chaque canton. Les scénarios de désenfumage retenus permettent de tirer le meilleur parti des installations de ventilation rénovées tout en respectant le contrôle du courant

d'air dans près des trois quart des cas. L'ajustement des plages de contrepression réalisé en phase projet a permis de déterminer un seul et unique scénario de désenfumage quelles que soient les conditions météorologique correspondant au percentile 95. Ainsi, deux familles de scénarios de désenfumage associés à l'état du trafic fluide ou bloqué sont définies conformément au programme.

Des aménagements physiques n'existant pas systématiquement au niveau des têtes des ouvrages, des scénarios de mise en surpression du tube sain sont étudiés.

76 nouveaux scénarios de désenfumage et 12 nouveaux scénarios de mise en surpression sont élaborés dans le cadre de la mise en sécurité du complexe A14/A86.

Ils s'ajoutent à 8 scénarios de désenfumage existants non impactés par la mise en sécurité.

Au total, ce développement conduit à la création d'un ensemble de scénarios de désenfumage, lesquels sont implantés dans la nouvelle GTC :

- 42 scénarios de désenfumage en trafic fluide ;
- 42 scénarios de désenfumage en trafic congestionné ;
- 12 scénarios de mise en surpression.

10a & 10b- Essais incendie en secteur Défense.

11- Tube A14Y - Les fumées rattrapent le trafic.

10a & 10b- Fire tests in Défense sector.

11- A14Y tube - The fumes catch up with the traffic.

CAMPAGNE D'ESSAIS IN SITU DES SCÉNARIOS DE DÉSENFUMAGE

Afin de faire face aux contraintes importantes liées aux courtes durées de fermeture durant trois à quatre nuits par semaine, le Groupement Bouygues a mis en place des moyens humains importants et des procédures détaillées afin de limiter les aléas et de respecter le planning contractuel.

Avant la campagne d'essais, des actions de maintenance préventive sont menées sur les équipements de ventilation du tunnel (ventilateurs de soufflage et d'extraction, accélérateurs, etc.). L'objectif de la campagne d'essais

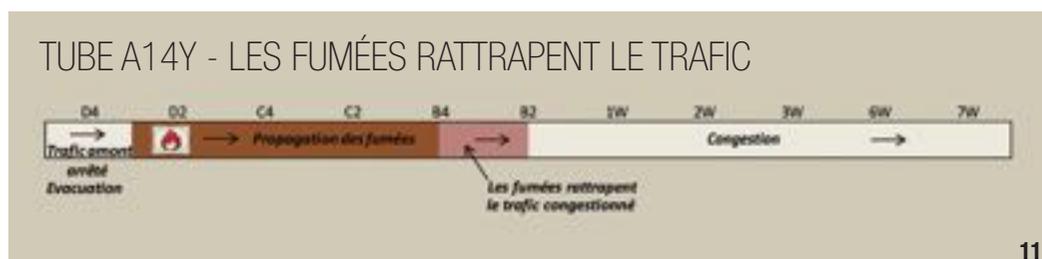
est de vérifier le bon paramétrage des scénarios au niveau de la GTC d'une part et la cohérence des vitesses d'air en tunnel par rapport aux simulations faites en phase Projet d'autre part.

Chaque nuit, trois équipes réalisent des missions distinctes à savoir : pilotage de l'essai, réalisation des mesures sur site ou encore maintenance.

La première équipe, postée au PC Trafic et Tunnel Ouest île-de-France (PCTTO), contrôle les paramètres et lance les scénarios à tester depuis la GTC. Elle s'assure du bon déroulement des essais, pilote l'équipe de mesure et prévient l'équipe de maintenance en cas de défaut sur un équipement nécessaire aux essais. L'équipe basée en tunnel est coordonnée depuis le PCTTO. Elle est chargée des mesures aérauliques réalisées selon la procédure spécifique aux essais et sur les positions de mesures définies dans les cahiers de recette propres à chacun des 96 scénarios.

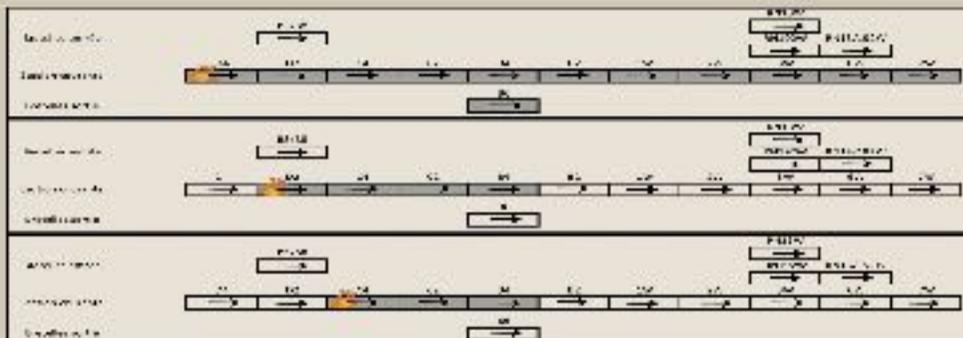
Durant les 4 à 5 heures disponibles, le Groupement Bouygues teste en moyenne 4 scénarios par nuit comprenant également des mesures de conditions initiales et finales respectivement en début et fin de nuit.

Ces tests sont complétés par deux essais « fumées froides » et deux essais « fumées chaudes ».



© SETEC

EXEMPLE DE RÉSULTATS DE L'ANALYSE AÉRAULIQUE SUR A14W



12

EXEMPLE DE MATRICE DE CONDITIONS de déclenchement des régimes de désenfumage longitudinal



13

Trois scénarios en trafic fluide et un scénario en trafic congestionné sont testés selon un timing intégrant un délai de 3 minutes avant le démarrage de la ventilation de désenfumage. Ils ont permis de vérifier le respect du contrôle du courant d'air longitudinal que ce soit en repoussant les fumées en trafic fluide ou en favorisant la stratification des fumées en trafic congestionné. Ces essais ont mis en évidence le bon cantonnement des fumées en trafic fluide et congestionné ainsi que l'efficacité du système de désenfumage d'une manière générale (figures 10a & 10b).

AIDE À LA DÉTERMINATION DE L'ÉTAT DU TRAFIC

Dans son avis du 21/07/2010 sur le Dossier Préliminaire de Sécurité, le Préfet des Hauts-de-Seine a recommandé de préciser « les critères et moyens permettant de distinguer les situations de trafic fluide et celles de trafic congestionné » dans la mise au point des scénarios de désenfumage. Le principe consiste alors à élaborer un système permettant de générer une information binaire « trafic fluide ou trafic bloqué » de manière à proposer le scénario de désenfumage le plus adapté à l'opérateur.

En termes de sécurité, le régime de désenfumage longitudinal est bien

12- Exemple de résultats de l'analyse aérodynamique sur A14W.

13- Exemple de matrice de conditions de déclenchement des régimes de désenfumage longitudinal.

12- Example of the results of aerodynamic analysis on A14W.

13- Example of a matrix of conditions for triggering longitudinal smoke control systems.

adapté aux conditions de trafic fluide, c'est-à-dire sans risque de présence d'usagers bloqués à l'aval du foyer. En revanche, en cas de trafic congestionné en aval du foyer, il est préférable de conserver un bon état de stratification des fumées, ceci dans l'objectif d'éviter d'enfumer les usagers se trouvant dans la colonne de trafic à l'aval de l'incendie (figure 11).

Le régime de désenfumage longitudinal est donc à employer à condition que les fumées poussées vers l'aval du foyer de l'incendie ne rattrapent pas le trafic. Dès que le risque d'enfumer des usagers en aval du foyer se présente, soit parce que les fumées risquent d'atteindre une zone où le trafic est fortement congestionné, soit parce qu'aucune information fiable n'est disponible sur l'état de la circulation, le régime de désenfumage transversal constitue la stratégie à appliquer. Cette analyse permet de caractériser l'objectif du système Trafic Fluide Bloqué (TFB) : il s'agit de connaître, pour tout départ possible d'incendie et à chaque instant, l'état du trafic dans la zone de propagation des fumées de l'incendie en régime longitudinal.

Déterminer, pour tout départ possible d'incendie, la zone de propagation des fumées de l'incendie en régime de désenfumage longitudinal.

Pour chaque canton de ventilation du complexe, un départ d'incendie et l'application du régime de désenfumage longitudinal ont été simulés à l'aide des modèles 1D développés sous Express'Air (Logiciel 1D Setec de simulation des écoulements fluides en réseaux maillés). L'analyse aérodynamique a permis d'appréhender l'étendue du

panache de fumées pour chacune de ces simulations. Autrement dit, pour chaque départ possible d'incendie, la zone jusque dans laquelle les fumées sont susceptibles d'évoluer en appliquant un régime de désenfumage longitudinal a été déterminée. La méthode retenue a consisté à rechercher pour chaque simulation le point de vitesse de courant d'air nulle en aval de l'incendie, caractérisant théoriquement la fin de propagation des fumées.

Les schémas ci-dessous illustrent les conclusions obtenues de l'analyse aérodynamique pour quelques cantons de ventilation du tube A14W (figure 12).

Note de lecture du schéma : Sur ces schémas, un logo incendie est représenté sur le canton où le foyer de l'incendie a été simulé, chaque « case » correspond à un canton, les cantons gris correspondent aux cantons enfumés et les cantons blancs ne sont pas concernés par les fumées. Ainsi pour un départ d'incendie dans le canton D2 (2^e cas), le régime de désenfumage longitudinal implique une propagation des fumées en aval jusque dans le canton B4.

Le croisement des cantons de ventilation, des résultats des analyses aérodynamiques et du découpage du complexe en zone de trafic a permis d'établir des matrices de conditions de déclenchement des régimes de désenfumage longitudinal. La figure 13 présente la matrice de conditions pour le tube A14Y (sens Paris -> Province).

Le système de mesure

Deux dispositifs déployés préalablement dans le tunnel étaient susceptibles de fournir des données pour répondre au besoin :

- Les boucles de recueil automatique de données de trafic SIRIUS ;
- Les analyseurs du système DAI (Détection Automatique des Incidents).

Si les données trafic SIRIUS sont éprouvées, l'implantation d'une station de recueil environ tous les 250 m n'est pas compatible avec le niveau d'échelle des zones de trafic recherché. Installées tous les 80 à 100 m, les caméras DAI forment, elles, un réseau de capteurs suffisamment dense pour couvrir géographiquement les variations d'état du trafic.

Le système DAI a donc été retenu pour déterminer l'état du trafic en tenant compte d'un seuil de trafic bloqué de 20 km/h. Le développement et le déploiement du système TFB sont réalisés en tant que module au sein du « SI DAI ».

Le SI DAI est le système informatique permettant d'assurer le lien entre les différentes passerelles filtrantes du métier DAI et l'ensemble fonctionnel GTC/SAGTu (Gestion Technique Centralisé/Système d'Aide à la Gestion des Tunnels).

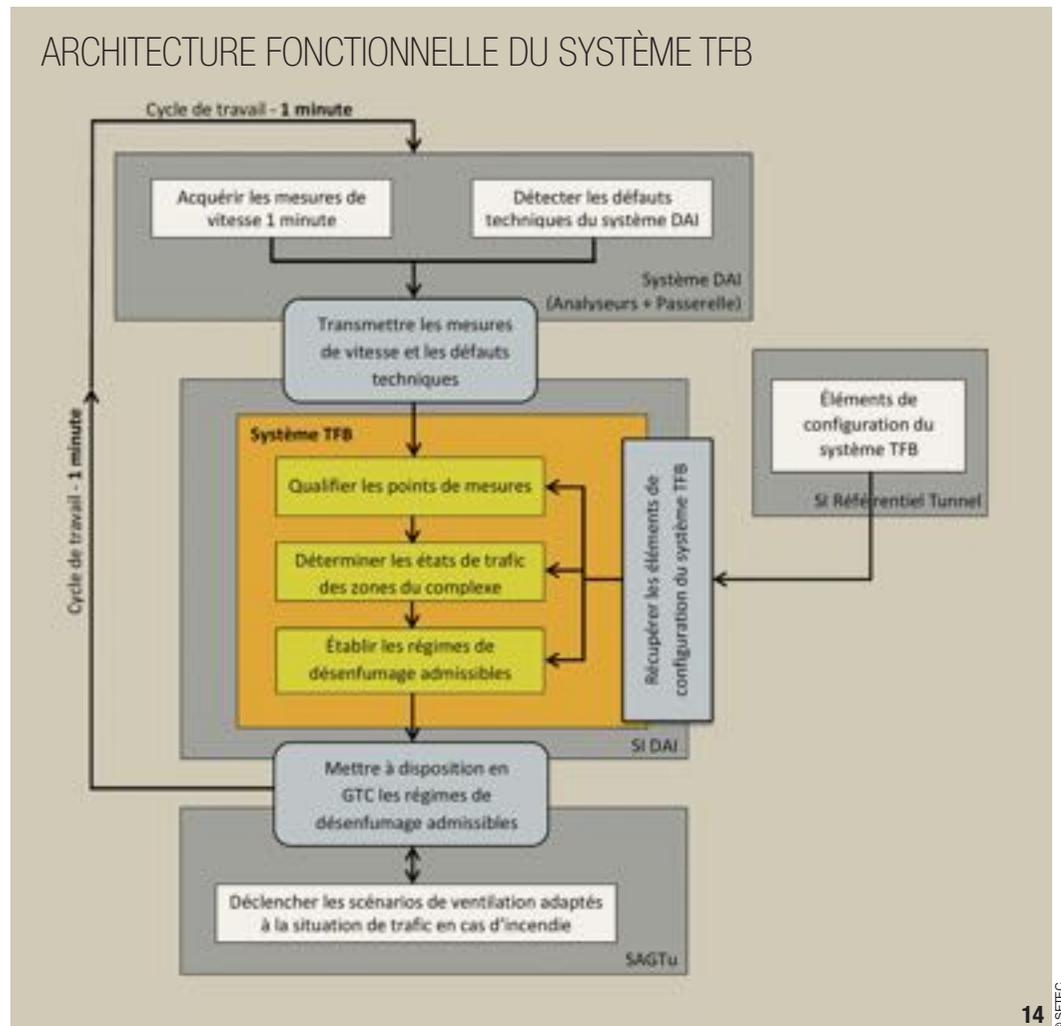
La méthode mise au point s'avère fiable pour la détermination des états de trafic en vue du choix de régime de désenfumage à appliquer. En novembre 2012, la comparaison des vitesses mesurées par les radars et de l'information « trafic fluide bloqué » élaborée par le système TFB déployé n'a relevé aucun cas de faux fluide sur plus d'une dizaine de jours ouvrables d'analyse.

Les essais réalisés au premier semestre 2013 avec le système TFB développé et déployé donnent un bon niveau de fiabilité (figure 14).

CONCLUSIONS

Après deux ans de travaux, la réception des travaux de rénovation de la ventilation des tunnels de Nanterre-La Défense a été réalisée en septembre 2012. Le système d'aide à la détermination du trafic délivrant l'information « trafic fluide bloqué » a été mis en exploitation en mars 2013. L'instruction du dossier de sécurité (procédure « CNESOR ») n'a révélé aucune réserve concernant la ventilation du complexe A14xA86. La réintroduction des poids lourds est prévue pour la fin de l'année 2013 après la finalisation de travaux d'amélioration du réseau d'eau incendie sur l'A14 Défense.

Les travaux d'amélioration de la sécurité des tunnels de Nanterre La Défense ont concerné un grand nombre d'équipements et systèmes tels que la GTC, la DAI, les systèmes d'auto-évacuation, l'électricité HT et BT ou encore la tenue au feu de l'ouvrage. Après plus de trois



ans de travaux réalisés en quasi-totalité de nuit, les fermetures nocturnes s'espacent pour tendre vers un rythme correspondant aux besoins en maintenance des équipements.

Le Groupement Bouygues TP (Mandataire), Spie Batignolles TPCI, SDEL, Axima Seitha, Setec TPI et Artelia, a réalisé les études de conception et

14- Architecture fonctionnelle du système TFB.

14- Functional architecture of the TFB system.

des travaux conséquents de l'ordre de 120 millions d'euros sur une durée réduite et limitée à deux ans et demi. La réussite de ce projet repose sur une organisation adaptée et un réel climat de confiance entre les équipes du maître d'ouvrage et de son AMO, l'exploitant des tunnels et les équipes du concepteur/constructeur. □

ABSTRACT

RENOVATION OF SMOKE CONTROL VENTILATION FOR THE NANTERRE-LA DEFENSE UNDERGROUND COMPLEX

MICHEL DARPAS, SETEC TPI - FRÉDÉRIC HERVÉ, SETEC TPI

As part of safety improvements for the tunnels of the Paris area road network, the underground complex of Nanterre-La Défense constitutes a major project on the A14 and A86 motorways. The heterogeneity of this structure's design is a major difficulty for ventilation renovation engineering in order to come closer to the safety requirements for new tunnels described in the August 2000 regulations. The design required specific procedures to optimise ventilation facilities. An innovative system determines the state of the traffic in order to propose the appropriate smoke control scenario. This renovation work was carried out successfully and on schedule with the complex in service. □

RENOVACIÓN DE LA VENTILACIÓN DE SALIDA DE HUMOS DEL COMPLEJO SUBTERRÁNEO DE NANTERRE-LA DÉFENSE

MICHEL DARPAS, SETEC TPI - FRÉDÉRIC HERVÉ, SETEC TPI

En el marco de la mejora de la seguridad de los túneles de la red de carreteras de la región de Ile-de-France, el complejo subterráneo de Nanterre-La Défense constituye una importante obra en la A14 y la A86. La heterogeneidad del diseño de esta obra presenta una gran dificultad para los estudios de renovación de ventilación que tienen como objetivo tender hacia las exigencias de seguridad de los túneles nuevos descritas en la normativa de agosto de 2000. El diseño ha requerido procedimientos específicos para optimizar los medios de ventilación. Un sistema innovador determina el estado del tráfico con objeto de proponer el escenario de salida de humos adecuado. Esta renovación se ha realizado satisfactoriamente respetando los plazos acordados y sin interrupción del tráfico. □

Lundi, 7h00, mon véhicule ne démarre plus.

- Mon chantier attendra.
- J'emprunte la voiture de ma femme.
- Je reste serein : mon assureur SMABTP a tout prévu !



Franck, conseiller en assurance SMABTP

« Quand un problème arrive à l'un de nos clients, ce n'est jamais celui qu'il imaginait ! Heureusement notre savoir-faire nous permet d'anticiper pour lui : nous avons déjà tout envisagé. C'est pour cela que nous apportons à nos assurés la meilleure solution pour l'entreprise, leurs dirigeants et leurs collaborateurs. »

Forte de plus de 150 ans d'expérience, la SMABTP assure les professionnels du BTP. Ses experts vous accompagnent à chaque instant.

Par exemple, en cas de sinistre auto, vos collaborateurs et vous-même bénéficiez d'une **assistance performante et complète**, avec la fourniture d'un véhicule de remplacement et l'expertise à distance. Tout ce dont vous avez besoin pour protéger votre activité !

Notre métier : assurer le vôtre

Retrouvez nous sur
www.smabtp.fr

ACTIVITÉ Responsabilité décennale - Responsabilité civile
Dommages en cours de travaux - Protection juridique

BIENS PROFESSIONNELS Engins de chantier - Locaux - Véhicules

DIRIGEANTS ET SALARIÉS Couverture des engagements sociaux - Épargne
Prévoyance - Retraite collective et individuelle

SMABTP
BÂTIR L'AVENIR AVEC ASSURANCE

SMABTP, société d'assurance mutuelle à cotisations variables, entreprise régie par le Code des assurances
RCS PARIS 775 684 764 - 114 avenue Emile Zola - 75739 PARIS Cedex 15



1
© CÉDRIC HELSLY

LE TUNNEL DE SAINT-BÉAT

AUTEURS : GILLES BOYER, DIRECTEUR TRAVAUX SOLETANCHE BACHY TUNNELS -
VINCENT PERRAUD, INGÉNIEUR TRAVAUX SOLETANCHE BACHY TUNNELS

LE TUNNEL ROUTIER DE SAINT-BÉAT, DE 100 M² DE SECTION ET D'UNE LONGUEUR DE 1 020 M, EST L'OUVRAGE PHARE DU PROJET DE DÉVIATION DES COMMUNES DE SAINT-BÉAT /ARLOS EN HAUTE GARONNE SUR LA RN 125. AVEC DE FORTS ENJEUX ENVIRONNEMENTAUX ET ÉCONOMIQUES, IL S'INTÈGRE DANS L'AMÉNAGEMENT DE LA LIAISON TRANSFRONTALIÈRE TOULOUSE - SARAGOSSE - MADRID PAR LE VAL D'ARAN. CET ITINÉRAIRE TRANSPYRÉNÉEN A LA PARTICULARITÉ D'ÊTRE PRATICABLE TOUTE L'ANNÉE, EN PARTICULIER GRÂCE AU TUNNEL DE BASSE ALTITUDE DE VIELHA EN ESPAGNE QUI RELIE LE VAL D'ARAN ET L'ARAGON.

PRÉSENTATION

Au niveau du village de Saint-Béat, la vallée de la Garonne se referme (figure 2) pour former un étranglement qui constitue actuellement un point de passage délicat pour les véhicules empruntant la RN 125, notamment les poids lourds.

Cette déviation du village, d'une longueur de 5 600 mètres, comprend un tunnel routier de 1020 m creusés, une station de ventilation au nord et un ouvrage cadre au sud, dont les extré-

mités sont raccordées à la RN 125 actuelle par des carrefours giratoires, l'un au nord, l'autre au sud.

Le marché de réalisation du tunnel de Saint-Béat a été attribué au groupement d'entreprises : Soletanche Bachy France, Soletanche Bachy Tunnels, Pizzarotti spa et Guintoli (mandataire).

Le projet de déviation de la Route Nationale 125 est porté par la Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement Midi-Pyrénées qui en assure la maîtrise

1- Vue du front.

1- Front view.

d'ouvrage sous l'autorité du Préfet de Région. La Direction Interdépartementale des Routes du Sud-Ouest prend en charge la maîtrise d'œuvre.

Cet aménagement global a été déclaré d'utilité publique par arrêté préfectoral,

le 2 juin 2000. Il contribue à améliorer la sécurité des usagers et des riverains, à parfaire la fluidité de l'itinéraire pour faciliter les relations transfrontalières, et à développer l'activité économique des territoires desservis.

Il est cofinancé par l'État, le Conseil régional de Midi-Pyrénées, et le Conseil général de la Haute-Garonne.

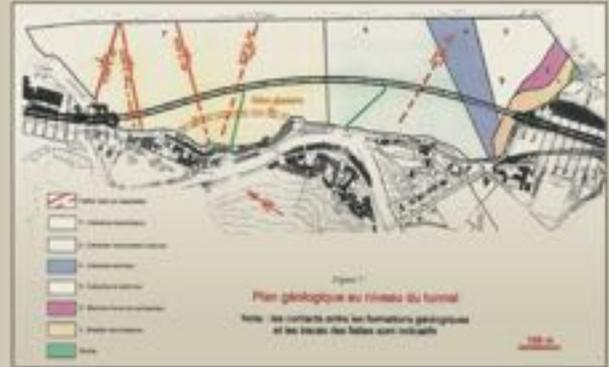
La RN 125 constitue l'une des 5 principales liaisons transfrontalières avec le pays voisin, l'Espagne. Sa position centrale en fait une liaison essentielle.



2

© CÉDRIC HELSLY

PLAN GÉOLOGIQUE AU NIVEAU DU TUNNEL



3

© CHANTIER

La mise en service du tunnel est prévue en 2016. Le tunnel est creusé dans les marbres de Saint-Béat avec 100 m² de section (12 m de large par 10 m de hauteur), sur une longueur de 1 020 m environ (figure 4). Il sera revêtu et muni d'une dalle de ventilation.

Il est également équipé de deux galeries de secours de 150 m et d'une section de 10 m² qui permettent l'évacuation des usagers en cas d'accident. Le système de ventilation est intégré à la tête nord du tunnel. Il assure la ventilation en phase normale de circulation et l'évacuation des fumées en cas d'incident. L'usine de ventilation est à réaliser à la tête nord du tunnel, son architecture s'intègre dans l'environnement du massif du Cap de Mount. En tête sud, un PCIF (Passage Inférieur Cadre fermé) est à réaliser avec le rétablissement du RD 44 menant au col de Menté.

2- La vallée de la Garonne et le tracé du projet.

3- Plan géologique au niveau du tunnel.

4- Tracé du tunnel.

2- The valley of the Garonne and the project layout.

3- Geological drawing at the tunnel level.

4- Tunnel alignment.

Le chantier en phase d'excavation mobilise environ 75 personnes qui travaillent du lundi au vendredi, 24 heures sur 24.

GÉOLOGIE ET GÉOTECHNIQUE

Le creusement du tunnel de Saint-Béat se déroule au sein du massif du Cap de Mount qui appartient à la zone interne métamorphique de la partie nord-pyrénéenne datant du Jurassique et du Crétacé. Les terrains recoupés par le tunnel correspondent essentiellement à des calcaires marmoréens et à des marbres (figure 3). Ces matériaux résultent d'un processus de métamorphisme des terrains en place du Secondaire (calcaires et dolomies) issu de l'orogénèse pyrénéenne (métamorphisme Haute température - Basse pression). Ainsi, sur 950 m environ, se succèdent des calcaires marmoréens et des marbres présentant de bonnes caractéristiques géotechniques. Ces roches sont saines, raides et homogènes ; de légères variations de cristallisation et de teinte sont visibles.

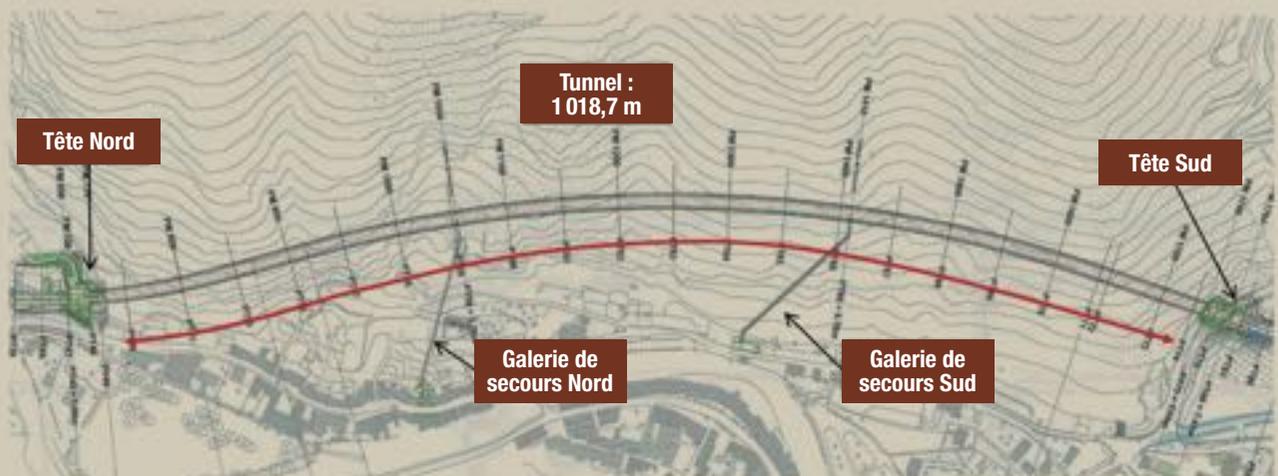
Le comportement du massif rocheux recoupé en tunnel a été essentiellement gouverné par les discontinuités qui le recoupent. En effet, cette zone a subi des phases de déformations massives et complexes. Trois à quatre principales familles de discontinuités sont identifiées et recoupées sur l'ensemble du linéaire du tunnel.

À l'entrée sud, sur 30 m de largeur environ, on observe une brèche marmoréenne tectonique, qui correspond aux terrains remaniés par la faille Nord-Pyrénéenne.

Localement, des anomalies géologiques ont été recoupées en tunnel :

→ Des zones karstiques présentant des vides et des remplissages argilo-terreux associés instables ont été traversées en profil de soutènement lourd cintré sous la protection d'auréoles divergentes de boulons de soutènement autoforeurs injectés.

TRACÉ DU TUNNEL



4

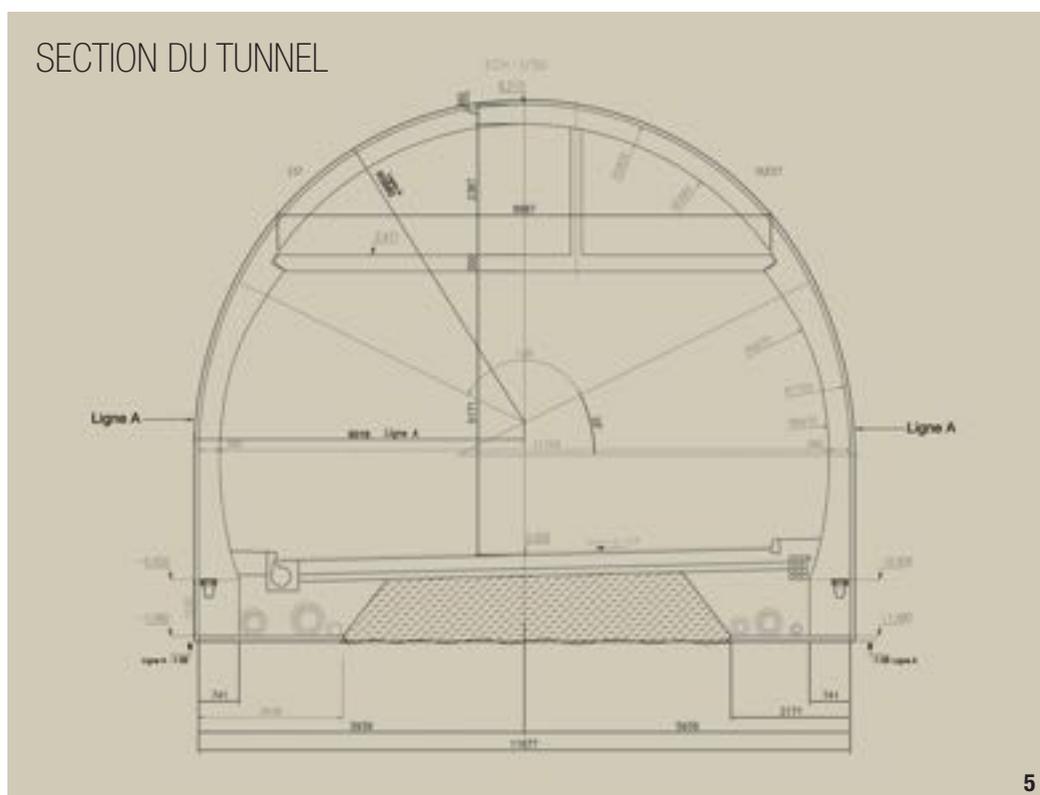
© CHANTIER

→ Un conduit aquifère karstique a été recoupé avec une venue d'eau sous pression de près de 100 l/s de débit pendant les épisodes de forte pluviométrie. D'importantes investigations géophysiques (géoradar, tomographie électrique) ont été réalisées par Soldata Geophisic pour définir la géométrie du conduit karstique, afin d'en concevoir son traitement.

→ Plusieurs filons d'intrusion volcanique ont été traversés avec des épaisseurs métriques à décimétriques. Ces roches éruptives se sont insérées entre les plans de discontinuités du massif par filons alternés entre les bancs calcaires. Elles sont présentes, soit sous la forme d'une roche très altérée, soit sous la forme d'une roche raide et très abrasive qui a conduit à des surconsommations importantes de taillants de foration, ainsi qu'à des durées plus importantes de foration sur les zones concernées.

Les galeries de secours sont inscrites dans les mêmes matériaux. Une exception cependant : la galerie de secours nord qui recoupe sur quelques dizaines de mètres un sillon glaciaire constitué de matériaux marmoréens emballés dans une matrice argilo-sableuse. Celui-ci fera l'objet d'une campagne de reconnaissance par sondage carotté avec auscultations géophysiques (géoradar, cylindre électrique).

Un suivi de la géologie du massif recoupé est réalisé quotidiennement. Un relevé géologique systématique de tous les fronts de taille est effectué par le géologue. Lors de ces relevés, une analyse de la lithologie et de la fracturation est réalisée par le géologue et le chargé de soutènement, afin de permettre l'adaptation des profils de soutènement et des longueurs de volées. Des sondages destructifs de reconnaissance à l'avancement, de 36 m de longueur environ, sont réalisés de



manière hebdomadaire, afin de permettre la reconnaissance préalable de toute zone qui sera excavée par la suite et ainsi d'anticiper la rencontre d'éventuelles anomalies géologiques.

CARACTÉRISTIQUES GÉOMÉTRIQUES DU TUNNEL

Ce tunnel comprend deux voies de circulation de 3,5 m de largeur avec une bande médiane de 1 m, deux bandes dérasées de 0,50 m et des trottoirs de service de 90 cm pour l'exploitation. La section excavée est d'environ 100 m² (12 m de large par 10 m de hauteur). Le tunnel est revêtu d'une voûte de 36 cm d'épaisseur, et muni d'une dalle de ventilation d'une épaisseur de 30 cm (figure 5).

- 5- Section du tunnel.
- 6- Station d'épuration de chantier.
- 7- Ventilation du chantier.

- 5- Tunnel cross section.
- 6- Worksite wastewater treatment plant.
- 7- Worksite ventilation.

de la voûte insuffleront l'air frais de la gaine vers le piédroit du tunnel. Les réseaux d'incendie primaire et secondaire, les réseaux secs, les réseaux de collectes des eaux du massif et des eaux usées sont disposés sous les trottoirs.

DES ENJEUX ENVIRONNEMENTAUX FORTS SÉCURISATION PRÉALABLE DE LA MONTAGNE

Le village de Saint-Béat est logé contre les falaises du Cap de Mount : il est soumis à un plan de prévention des risques de chutes de blocs. Une sécurisation a été mise en place avant le démarrage des travaux du tunnel dans le cadre de marchés préparatoires.

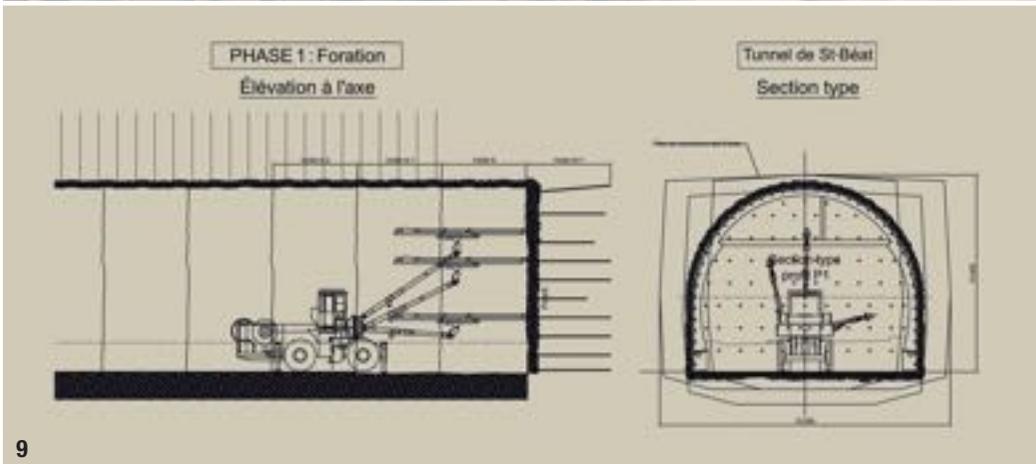
Une cloison de ventilation sépare une gaine d'air frais de 5 m² et une gaine d'air vicié de 9,5 m². Des carneaux de ventilation noyés dans le revêtement





8

© CHANTIER



9

© CHANTIER

Elle a fait l'objet de la pose d'écrans et de filets sur les falaises surplombant Saint-Béat et les têtes de tunnel. Les forts enjeux écologiques du secteur, avec notamment la présence de genévriers thurifères et oxycèdres, ont impliqué une pose des équipements de sécurité adaptée par une découpe précise des filets afin de ne pas nuire à ces espèces protégées.

8- Forage.
9- Plan de tir.
10- Chargement des explosifs.

8- Drilling.
9- Blasting pattern.
10- Charging explosives.

PROTECTION DES EAUX ET DU MILIEU AQUATIQUE

Pour répondre aux exigences environnementales définies au marché, principalement en ce qui concerne la ressource et la qualité des eaux, les efforts ont été axés sur les moyens de captage (eaux du massif et eaux utilisées pour les travaux en tunnel), de traitement et de recyclage des eaux d'exhaure.

Pour limiter la consommation d'eau industrielle, un dispositif spécifique de captage des eaux du massif et de traitement des eaux d'exhaure provenant du tunnel a été conçu, afin de permettre de les exploiter en circuit fermé pour l'excavation du tunnel.

Les eaux potentiellement chargées (résidus d'explosifs, hydrocarbures, matières en suspension, etc.) provenant du tunnel sont acheminées via un réseau de collecteurs, de caniveaux et de bassins décanteurs/filtrants (matières en suspension) vers une station de traitement (figure 6). Cette station de traitement mise en place par le chantier a été conçue pour traiter les matières en suspension les plus fines et réguler le pH des eaux de foration et d'exhaure par l'intermédiaire d'un automate. Cet automate assure donc autant la gestion que le suivi des paramètres physico-chimiques des eaux d'exhaure et des eaux traitées afin d'anticiper et de limiter les produits nécessaires à leur traitement.

La station permet ainsi, concernant la quasi-totalité des eaux, de les traiter puis de les recycler pour les activités en tunnel (foration, brumisation et arrosage du marin). Grâce à cette installation, on limite la consommation de cette ressource et donc les impacts sur le milieu naturel en excluant le rejet direct.

Un suivi biochimique et chimique régulier (interne et laboratoire extérieur) est effectué aussi bien sur les eaux traitées que sur les eaux de la Garonne (amont et aval), afin de confirmer ou d'anticiper l'efficacité du procédé de traitement et la préservation du milieu naturel. ▷



10

© CÉDRIC HELSLY



11

© CÉDRIC HELSLY

L'enjeu est très important, les eaux de la Garonne étant en effet classées par le SDAGE en « bon » état physico-chimique et « très bon » état biologique.

LE BRUIT

Un dossier d'estimation du bruit généré par le chantier sur toutes les zones d'activité a été validé par un arrêté préfectoral et a fait l'objet de contrôles par un organisme externe dans les emprises du chantier et chez les riverains.

LE SUIVI DES VIBRATIONS ET DE LA SURPRESSION AÉRIENNE

Le suivi est assuré par un réseau de capteurs qui sont mis en place et déployés au fur et à mesure de l'avancement du tunnel. Les capteurs sont placés sur des affleurements rocheux et sur des bâtis aux alentours du chantier de creusement : maisons d'habitation,

églises, bâtiments publics, édifices ou autres. Les enregistrements de chaque tir sont transmis en temps réel à distance par réseau GSM.

LA SÉCURITÉ EN PRIORITÉ

L'organisation des travaux mise en place et les matériels utilisés ont fait l'objet de longues réflexions et ont été choisis afin d'obtenir une sécurité optimale des travailleurs.

L'ORGANISATION DES TRAVAUX

Les équipes chargées de l'excavation sont spécialisées par métier et alternent chaque jour entre les attaques Nord et Sud. Cette spécialisation leur permet de maîtriser (sécurité et efficacité) totalement et en temps relativement court leurs tâches : chargement/marinage/soutènement/foration. Lors du marinage, il n'y a pas d'autre activité en tunnel.

11- Relevé topographique.

12- Marinage.

13- Purge des blocs instables.

11- Topographic survey.

12- Mucking.

13- Removing unstable blocks.

- Ventilation puissante (figure 7) renforcée par une brumisation au front ;
- Installations fixes le long du tunnel pour le contrôle de l'air en galerie et la lutte contre l'incendie ;
- Emploi de balises de détection de gaz pour le suivi de la qualité de l'air respiré par le personnel.

LES DISPOSITIFS DE SÉCURITÉ

- Le tunnel est équipé d'un contrôle par badge permettant, en cas d'incident, la connaissance de la présence du personnel présent à l'intérieur du tunnel ;
- Un réseau d'eau industrielle et incendie parcourt l'ensemble du tunnel, équipé de bouches d'incendie ;
- Des alarmes sonores et des feux flash sont disposés régulièrement en tunnel pour l'évacuation en cas d'incendie ;

LE MATÉRIEL

- Emploi de nacelles minières à plates-formes robustes pour les accès en hauteur (réduction des risques de chute) ;
- Chargement de l'explosif en vrac par pompage d'émulsion (réduction importante des manutentions) ;



12



13

© CÉDRIC HELSLY

- Des exercices de simulation de départ d'incendie sont régulièrement organisés ;
- Des tableaux techniques de dispositif sécurité/environnement sont répartis à intervalles réguliers et sont composés des éléments de sécurité d'urgence, extincteurs, boîte pharmacie, appareil de respiration autonome, absorbants, etc.

QUALITÉ DE L'AIR

Un dispositif de suivi en continu de la qualité de l'air est mis en place avec notamment :

- Le suivi des concentrations des gaz : gaz explosifs, nitrates NH₃, CO, NO₂,
- Le suivi du débit d'air réglementaire en tunnel, soit une vitesse de circulation de 0,5 m/s.

LES PRINCIPALES PHASES DES TRAVAUX DE CREUSEMENT

Le creusement s'effectue à 70 % depuis la tête Nord et 30% depuis la tête Sud. Les galeries de secours sont creusées depuis le tunnel, afin de réduire la gêne pour les riverains et les usagers de la RN 125.

Les excavations sont réalisées selon la technique traditionnelle à l'explosif, qui consiste à avancer par volées successives. Chacun des avancements est obtenu par la répétition d'une série de tâches : la foration du plan de tir, suivie



14 © CHANTIER

14- Boulonnage.
15- Béton projeté.

14- Rockbolting.
15- Shotcreting.

du chargement des explosifs, puis du tir et enfin de la ventilation. Le marouflage qui correspond à l'évacuation des déblais du tunnel débute ensuite et se prolonge par la purge du terrain. Enfin, le relevé topographique et géologique du front dérocté a lieu. Le soutènement du terrain découvert termine le cycle.

PHASE DE FORATION DE LA VOLÉE

La longueur de la volée dépend des conditions géologiques rencontrées. Elle peut atteindre 5 m dans les cas les plus favorables, et se réduire à 2 m lorsque la roche est très fracturée.

La foration est assurée par un jumbo robotisé à 3 bras (figure 8).

Un plan de tir (figure 9) comprend environ 160 trous pour une section excavée de 106 m², en diamètre 57 mm et d'une longueur adaptée au plan de tir en cours.

PHASE CHARGEMENT ET TIR

Une fois le plan de tir foré, l'étape de chargement commence par une purge

légère de sécurité du front de façon à garantir qu'aucun bloc rocheux ne puisse s'en détacher.

Le système M.O.R.S.E. a été retenu comme moyen de fabrication de l'explosif au front et de chargement d'une émulsion.

Le chargement de l'explosif (figure 10) dans les trous de mine est réalisé par pompage d'une émulsion de nitrate d'ammonium ; l'amorçage de cette charge explosive est assuré par un détonateur non électrique qui est introduit en fond de mine en même temps que l'émulsion.

Un système M.O.R.S.E. monté sur camion mélange les produits spécifiques et pompe l'émulsion en fond du trou de mine selon des dosages programmés. Une fois les produits mélangés et confinés dans le trou, la charge peut être considérée comme explosive. Les quantités de matières explosives manipulées sur le chantier sont ainsi réduites aux détonateurs et aux cordons détonant des trous de post-découpage. La quantité d'explosifs utilisée atteint au maximum 1 600 kg pour une volée de 5 m. L'emploi de ce processus offre plusieurs avantages :

- La réduction du nombre d'opérations et la rapidité de mise en œuvre ;
- La suppression de la manipulation des cartouches d'explosifs (le produit est pompé) ;



© CEDRIC HELSY

15

→ L'augmentation de la sécurité, car le produit ne devient explosif qu'en fond de trou, une fois mélangé et confiné ;

→ La maîtrise des quantités introduites qui sont programmées au niveau du poste de commande du M.O.R.S.E. selon la profondeur réelle du trou.

Ce processus permet également d'adapter les quantités et les densités d'émulsion en fonction de l'évolution des longueurs des volées et des plans de tir.

Une fois les trous de mine chargés et les détonateurs raccordés entre eux, le boutefeu procède à l'évacuation du personnel et du matériel au front, place des garde-issues et procède aux avertissements réglementaires au moyen d'une sirène pour prévenir de l'imminence d'un tir.

Le tir a ensuite lieu et est immédiatement suivi de la phase de ventilation.

PHASE DE MARINAGE

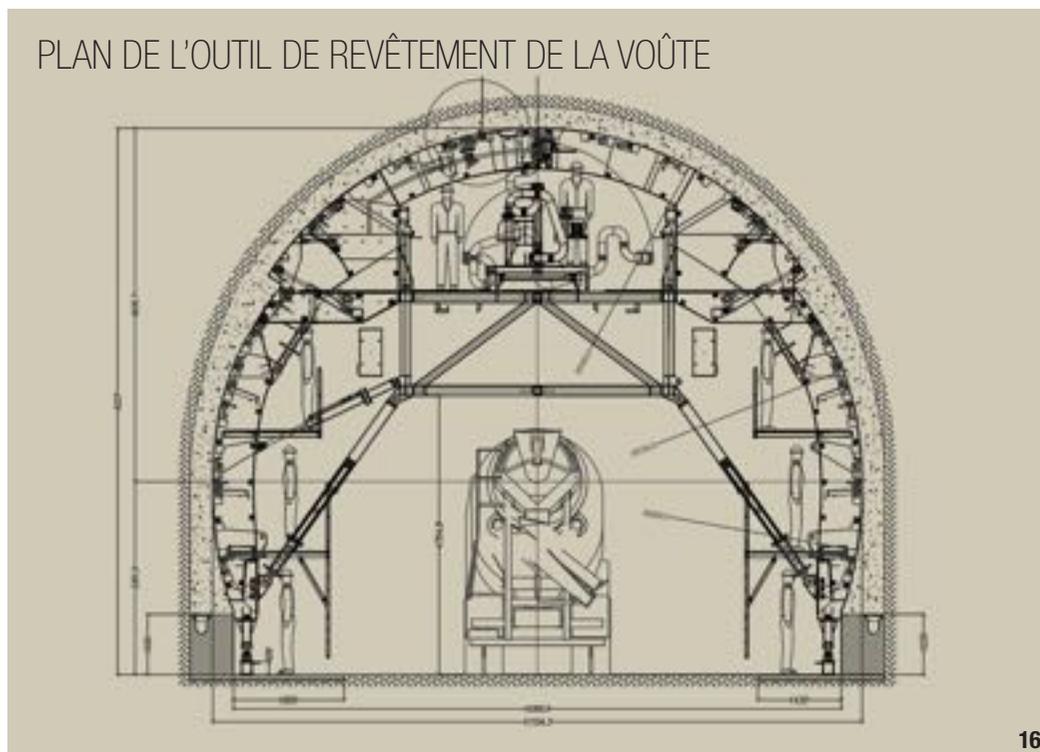
La ventilation est assurée par un ventilateur soufflant installé à l'extérieur du tunnel, de 315 KW, qui propulse à front dans un ventube d'un diamètre de 2 m un débit d'air frais de 70 m³/s. Cette ventilation est maintenue à plein régime durant tout le temps du marinage, puis réduite pour les autres phases.

Le marinage (figure 12) est réalisé à l'aide d'une chargeuse CAT 980 qui remplit, en seulement deux godets, un camion 8X4. Un échelon de sept camions 8x4 est mis en rotation pour évacuer les matériaux sur les sites de dépôt en tête Nord et Sud du tunnel, dans l'attente de leur réutilisation comme remblai de la section courante. Une brumisation associée à une ventilation soufflante est mise en place au front de taille pour abaisser au sol les particules de gaz résultant du tir.

À l'issue du marinage et une fois la zone du front de taille libre, la purge de tous les blocs potentiellement instables à front et en voûte est effectuée au moyen d'une pelle de 40 t équipée d'un brise-roche hydraulique (figure 13).

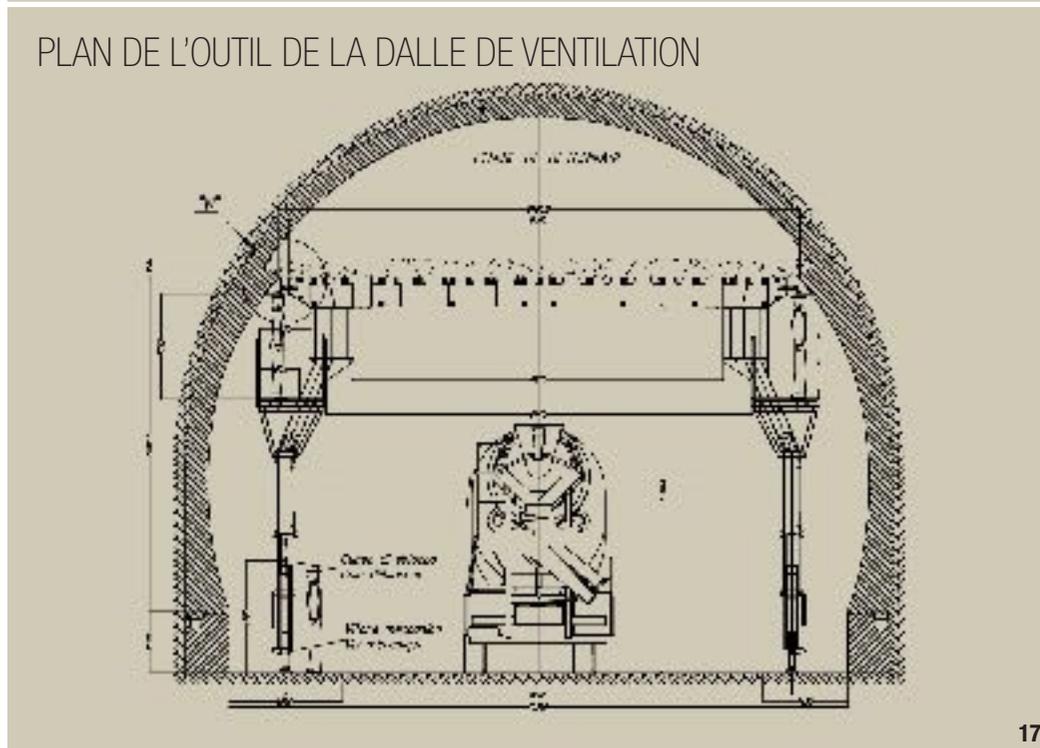
Ensuite, un relevé topographique (figure 11) est réalisé pour vérifier que le profil excavé de la volée considérée correspond bien à celui qui était attendu et pour détecter d'éventuels sous-profils.

Le relevé géologique est réalisé simultanément par l'entreprise et par la MOE : il consiste à relever les conditions géologiques rencontrées au front et en parois. Il permet de vérifier que le soutènement mis en œuvre correspond bien aux nécessités du terrain.



16

© CHANTIER



17

© CHANTIER

PHASE DE BOULONNAGE ET BÉTON PROJETÉ

Sur l'essentiel du linéaire, dans les calcaires ou marbres massifs peu à moyennement fracturés, le soutènement consiste à mettre en place un boulonnage (figure 14) et un béton projeté d'une épaisseur de 5 à 8 cm. Les auréoles de boulons sont composées de 3 à 6 ancrages répartis, de type « à friction », espacés de 1,5 à 2 m. Ces ancrages de 4 m sont insé-

16- Plan de l'outil de revêtement de la voûte.

17- Plan de l'outil de la dalle de ventilation.

16- Drawing of the roof lining tool.

17- Drawing of the ventilation slab tool.

rés dans les trous forés radialement en voûte, puis expansés par un gonflage sous pression d'eau (300 bars).

Le soutènement des parements est assuré par une couche de béton projeté de 8 cm d'épaisseur (figure 15), au moyen d'un robot radiocommandé (pompe à béton montée sur porteur équipé d'un bras hydraulique portelance, et d'une pompe doseuse d'accélérateur de prise asservie). Sur le restant du linéaire, dans les calcaires

très fracturés ou au passage d'anomalies karstiques et/ou de failles, le soutènement est assuré par un profil cintré composé de profilés HEB 180, espacés de 1,50 m environ, et d'un béton projeté de remplissage de 20 cm d'épaisseur.

ÉTANCHÉITÉ ET REVÊTEMENT

L'étanchéité de la voûte sera assurée par une membrane PVC 20/10^e posée sur le béton projeté de soutènement au moyen de 2 portiques de pose. Côté extrados, elle sera protégée des

blessures du béton projeté par un géotextile et ancrée par mise en place de fixations.

Côté intrados, elle sera protégée uniquement dans les zones armées et les masques d'about.

Le revêtement du tunnel est en béton essentiellement non armé.

Seuls les corbeaux d'appuis et les ancrages de la dalle de ventilation sont armés.

La dalle et le voile séparateur de ventilation sont armés.

La réalisation du revêtement sera assurée par deux outils coffrants de

10 mètres de longueur, se déplaçant sur les pieds de banquettes par l'intermédiaire de rails (figure 16).

Le coffrage de la dalle de ventilation sera, quant à lui, assuré par un outil de type table sur portique en treillis (figure 17).

Les 16 000 m³ de bétons techniques nécessaires au revêtement ainsi qu'à la dalle et à la cloison de ventilation, seront réalisés par une centrale à béton dédiée au chantier. Compte tenu des contraintes climatiques et des conditions de salage de l'itinéraire, les bétons des deux cent pre-

miers mètres à chaque tête seront de classe XF4 (résistants au gel et aux sels) et les bétons de la partie centrale de classe XF2.

AVANCEMENT DES TRAVAUX

La jonction entre les deux attaques Nord et Sud du tunnel principal a eu lieu le 10/12/2013 (figure 18).

Les activités se concentrent désormais sur les excavations simultanées de 2 galeries de secours (section d'environ 10 m², longueur 150 m) depuis l'intérieur du tube principal.

Elles déboucheront dans le village de Saint-Béat.

Le génie civil des banquettes est en cours, en attendant le démarrage de la pose de l'étanchéité, puis du bétonnage du revêtement courant février 2014. □



© PIERRE HOCH
18

PRINCIPALES QUANTITÉS

TRAVAUX SOUTERRAINS :

DÉBLAIS EN SOUTERRAIN : 119 940 m³

CINTRES HEB 180 TUNNEL : 165 000 kg

CINTRES HEB 100 GALERIES DE SECOURS + LONGRINES : 16 100 kg

BLINDAGE TUNNEL ET GALERIES DE SECOURS : 24 000 kg

BOULONS D'ANCRAGE À SCÈLÈMENT CONTINU AU MORTIER : 25 400 kg

BOULONS D'ANCRAGE À SCÈLÈMENT CONTINU À LA RÉSINE : 42 200 kg

BOULONS À ANCRAGE RÉPARTI NON SCÈLÉS : 2 200 u

PLAQUES DE RÉPARTITION POUR BOULONS : 14 000 kg

BÉTON PROJETÉ EN SOUTERRAIN : 4 070 m³

BÉTON C35/45 REVÊTEMENT TUNNEL : 14 600 m³

BÉTON C30/37 EN SOUTERRAIN : 5 600 m³

ACIERS POUR BÉTON : 283 t

18- Percement.

18- Drilling.

PRINCIPAUX INTERVENANTS

ENTREPRISES ET INTERVENANTS :

MAÎTRISE D'OUVRAGE : État - DREAL Midi-Pyrénées

MAÎTRE D'ŒUVRE : DIR Sud-Ouest, Service Ingénierie Routière de Toulouse

ASSISTANT À MAÎTRE D'ŒUVRE ET CONTRÔLE EXTÉRIEUR VIBRATIONS : Cetu

ASSISTANT À MAÎTRE D'ŒUVRE - SUIVI GÉOLOGIQUE : Arcadis

ASSISTANT À MAÎTRISE D'OUVRAGE « TUNNEL » : Cetu

ASSISTANT À MAÎTRISE D'OUVRAGE - SUIVI ENVIRONNEMENTAL : Biotope

CONTRÔLE EXTÉRIEUR DES TRAVAUX : Cete Sud-Ouest - Cete Lyon

TITULAIRE DU MARCHÉ DU TUNNEL : Groupement Guintoli - Soletanche Bachy France - Soletanche Bachy Tunnels - Pizzarotti SPA

SOUS-TRAITANTS :

BUREAU D'ÉTUDES TECHNIQUES : Terrasol - Setec

TRAVAUX DE CONFORTÈMENT EN FALAISE : Gauthier

TERRASSEMENTS EXTÉRIEURS ET MARINAGE : Cazal

EXPLOSIFS : EPC France

BÉTONS PROJETÉS ET BÉTONS DE FONDATIONS : Groupe Daniel

BÉTONS TECHNIQUES : Bonifay

ÉTANCHÉITÉ : GCC

ABSTRACT

SAINT-BÉAT TUNNEL

G. BOYER, SOLETANCHE BACHY TUNNELS - V. PERRAUD, SOLETANCHE BACHY TUNNELS

Saint-Béat Tunnel is the flagship structure of the planned diversion on highway RN 125 in the districts of Saint-Béat and Arlos in the Haute Garonne region. At the level of Saint-Béat village, the valley of the Garonne closes to form a bottleneck which is currently a difficult passage for vehicles, especially trucks, taking the RN 125 highway. This diversion 5600 metres long, bypassing the village, includes a 1020-metre road tunnel of cross section 100 m², dug by explosive, a ventilation station to the north and a frame structure to the south, the ends of which are connected to the present RN 125 by roundabouts. □

EL TÚNEL DE SAINT-BÉAT

G. BOYER, SOLETANCHE BACHY TUNNELS - V. PERRAUD, SOLETANCHE BACHY TUNNELS

El túnel de Saint-Béat es la obra estrella del proyecto de desviación de los municipios de Saint-Béat y de Arlos en Alto Garona en la RN 125. A la altura del pueblo de Saint-Béat, el valle del Garona se cierra formando un estrangulamiento que actualmente constituye un punto de paso delicado para los vehículos que circulan por la RN 125, especialmente para los camiones. Este desvío de 5.600 metros de longitud, que evita el pueblo, incluye un túnel de carretera de 1.020 m de longitud y 100 m² de sección excavado con explosivos, una estación de ventilación en el norte y una estructura marco al sur, cuyos extremos se conectan con la RN 125 actual por medio de intersecciones giratorias. □

RÉNOVATION LOURDE DU TUNNEL DE LA CROIX-ROUSSE - TRAITEMENT DE LA PROBLÉMATIQUE DES TASSEMENTS

AUTEURS : JAMES DUPONT, DIRECTEUR DE PROJET, EGIS TUNNELS - THOMAS ROUX, RESPONSABLE TRAVAUX, EGIS TUNNELS - ADRIEN SAITTA, EXPERT GEOTECHNIQUE, EGIS TUNNELS

LES TRAVAUX DE RÉNOVATION LOURDE DU TUNNEL DE LA CROIX-ROUSSE À LYON, RÉALISÉS ENTRE 2010 ET 2013, ONT NOTAMMENT CONSISTÉ À CRÉER UN DEUXIÈME TUBE À USAGE DE GALERIE DE SÉCURITÉ ET RÉSERVÉE AUX « MODES DOUX » (PIÉTONS ET CYCLISTES) AINSI QU'ÀUX TRANSPORTS EN COMMUN. COMPTE TENU DU CONTEXTE URBAIN PARTICULIER ET DE LA PRÉSENCE À PROXIMITÉ IMMÉDIATE DE BÂTIMENTS ET DE STRUCTURES SENSIBLES, DES MOYENS SPÉCIFIQUES ONT DÛ ÊTRE MIS EN ŒUVRE DÈS LES ÉTUDES AMONT POUR CARACTÉRISER ET LIMITER LES IMPACTS DES TASSEMENTS INDUITS PAR LE CREUSEMENT DE CE NOUVEAU TUBE.

© PHOTOTHÈQUE EGIS TUNNELS

1a



CADRE GÉNÉRAL DE L'OPÉRATION

SITUATION ET PÉRIMÈTRE

Le tunnel de la Croix-Rousse, construit entre 1939 et 1952, est un ouvrage routier urbain, situé en France, dans le département du Rhône, sur la commune de Lyon (1^{er} et 4^e arrondissements), sous la colline de la Croix-Rousse, permettant de relier les rives du Rhône et la Saône (figure 2).

C'est un monotube bidirectionnel, à deux fois deux voies de circulation, avec un trafic de plus de 40 000 véhicules par jour. Avant travaux, les véhicules autorisés sont les bus, des véhicules dérogatoires (exploitant et services de secours) et les véhicules dont le gabarit est inférieur à 2,5 m avec un poids total autorisé en charge inférieur à 3,5 t. D'environ 1 750 m de long, le tunnel existant présente une pente longitudinale quasi nulle, une chaussée de

12 m de large (pour les deux sens de circulation avec séparateur central), et une hauteur libre de 6 m à l'axe de l'ouvrage sous le faux-plafond supportant les gaines de ventilation reliées aux carneaux et bouches de soufflage (figure 3). L'ouvrage comporte 5 puits de ventilation, constitués chacun de 2 conduits (1 d'air frais et 1 d'air vicié), reliant les gaines de ventilation en tunnel aux usines en surface, qui

regroupent les installations électriques et ventilateurs (figure 3).

Le périmètre de l'opération de rénovation lourde du tunnel de la Croix-Rousse est délimité par les emprises suivantes (figure 2) :

→ **En section courante** : le tube routier existant et le fuseau d'emprise maximale au droit de la nouvelle galerie de sécurité ;

→ **Côté Rhône** : au-delà de la sortie du tunnel comprenant l'architecture de la tête de l'ouvrage, l'échangeur jusqu'au pont De Lattre de Tassigny, ainsi que la place Chazette ;

→ **Côté Saône** : au-delà de la sortie du tunnel comprenant l'architecture de la tête de l'ouvrage, le raccordement à l'avenue de Birmingham.

OBJECTIFS

Les principaux objectifs de cette opération sont les suivants :

→ Enjeux majeurs :

- Mettre l'ouvrage routier en conformité avec les normes de sécurité tout en lui conférant un caractère plus « urbain » ;
- Respecter le plan des déplacements urbains de la ville ;
- Préserver l'environnement ;

→ Exigences fondamentales :

- Prendre en compte le contexte habité urbain, très contraint, durant toute la réalisation des travaux ;
- Respecter les impératifs de sécurité pour les travailleurs, les usagers et les riverains ;
- Maintenir les fonctions de l'ouvrage existant et ses capacités de trafic pendant les travaux, hors fermetures ponctuelles rendues strictement nécessaires ;
- Maintenir après les travaux de rénovation des restrictions d'accès aux poids lourds au tunnel (hauteur limitée à 3,5 m).

Les travaux comprennent essentiellement le creusement d'un nouveau tube à usage de galerie de sécurité et réservée aux « modes doux » (piétons et cyclistes) et aux transports en commun, la rénovation du tube existant et les aménagements aux têtes (figure 4) :

→ Travaux de création du nouveau tube : creusement/marinage/soutènement, étanchéité, revêtement, ouvrages d'exploitation et de sécurité, réseaux secs et humides, chaussées et voies piétonnes et cyclables ;

→ Travaux de rénovation du tube existant : démolition et évacuation des gaines et carneaux de ventilation (important désamiantage), ouvrages d'exploitation et de sécurité, réseaux secs et humides, chaussées ;

→ Travaux extérieurs : dégagement des emprises, terrassements, réseaux secs et humides, génie civil, locaux techniques et bassins de traitement des eaux ;

→ Équipements d'exploitation et de sécurité, y compris système de ventilation ;

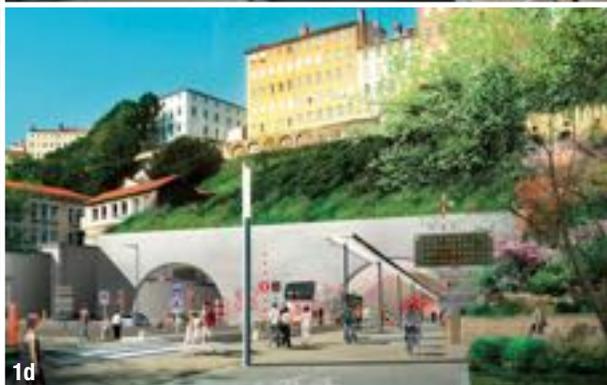
→ Architecture des têtes et insertion des ouvrages dans le site ;

→ Système d'information commun à l'ensemble des tunnels gérés par la Communauté Urbaine de Lyon (le Grand Lyon) ;

→ Réaménagement en têtes : raccordement des tubes à la voirie existante, requalification de la traversée piétonne souterraine et réaménagement de la place Chazette côté Rhône.

1a & 1b-
Tête Saône.
1c & 1d-
Tête Rhône.

1a & 1b-
Saône portal.
1c & 1d-
Rhône portal.



© PHILIPPE MARTYNIUK

© PHOTO THÉQUE EGIS TUNNELS

© PHILIPPE MARTYNIUK

PLANIFICATION

Les principaux jalons et étapes clés de l'opération préalables aux travaux sont les suivants :

- **2006** : études préliminaires ;
- **Décembre 2007** : lancement de la consultation ;
- **Juillet 2008** : examen du Dossier Préliminaire de Sécurité par la Commission Nationale d'Évaluation de la Sécurité des Ouvrages Routiers (CNESOR) ;
- **Mai 2009** : notification du marché de travaux et début des études de conception détaillée.

Les travaux se sont déroulés entre le premier trimestre 2010 et le dernier trimestre 2013 (figure 5).

PROCÉDURE DE CONCEPTION-RÉALISATION CADRE RÉGLEMENTAIRE ET ASSISTANCE À MAÎTRISE D'OUVRAGE

Un marché de conception-réalisation est un marché de travaux forfaitaire permettant de confier à un groupement d'opérateurs économiques, ou à un seul opérateur économique, une mission globale portant à la fois sur l'établissement des études de conception détaillée et sur la réalisation des travaux. Dans ce cadre, le Maître d'Ouvrage (MOA) n'est pas assisté par une Maîtrise d'Oeuvre directement à son service (figure 6), celle-ci étant intégrée dans le groupement Concepteur-Entrepreneur (ou « Titulaire »).

En conséquence, le MOA est conduit à mettre en place une organisation et une structure à forte implication dans ce processus, dotées des compétences suffisantes. Il peut faire appel à des compétences externes, les textes réglementaires lui laissant le choix entre différentes formes d'assistance.



L'Assistance générale à Maîtrise d'Ouvrage (AMO) est très certainement une des plus adaptées (figure 6) qui permet notamment de :

- Définir le besoin (le programme de l'opération) et identifier les risques ;
- Faire émerger la solution retenue ;
- Sécuriser le projet en anticipant les procédures et approbations, et en caractérisant les risques par un recueil adapté des intrants ;
- Suivre la réalisation des prestations, des travaux et les réceptions ;
- Mener une gestion appropriée.

Le curseur des études est par conséquent déplacé : des études de niveau avant-projet ont été réalisées par le Titulaire dès l'offre pour cette opération. Pour autant le MOA doit définir son besoin et maîtriser les risques (techniques, coûts, délais, etc.). C'est pour ces raisons qu'il s'est adjoint une Assistance générale à Maîtrise d'Ou-

2- Situation et périmètre de l'opération.

3- Tunnel existant avant travaux.

2- Location and scope of the project.

3- Existing tunnel before works.

RÔLE FONDAMENTAL DU PROGRAMME DE L'OPÉRATION

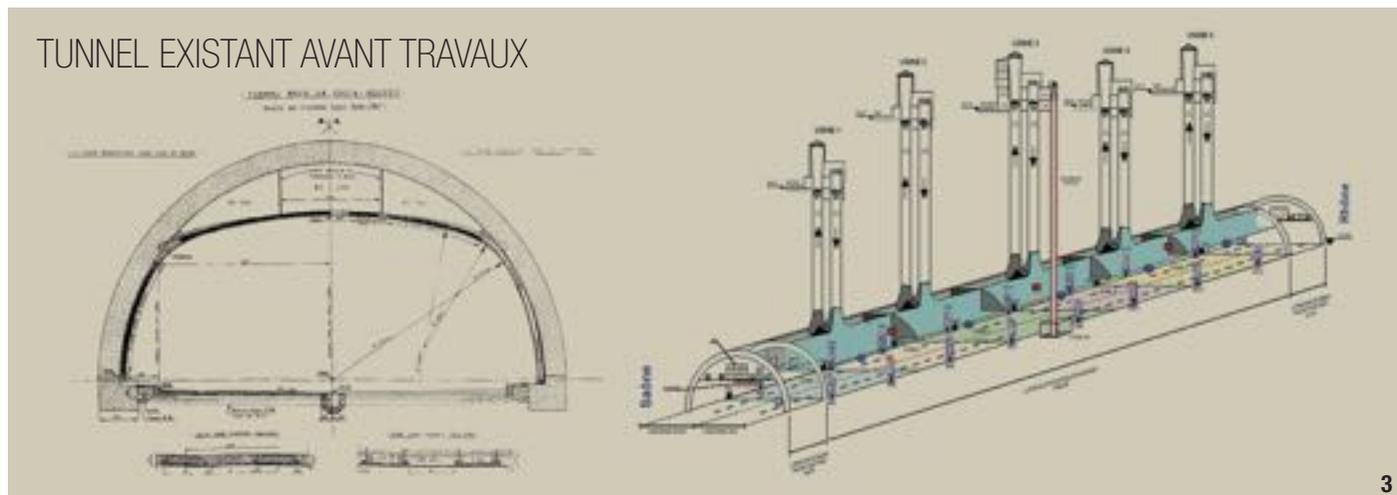
Comme le précise l'article 2 de la Loi du 12 juillet 1985 le « maître de l'ouvrage définit dans le programme les objectifs de l'opération et les besoins qu'elle doit satisfaire ainsi que les contraintes et exigences qui y sont associées ».

Par ailleurs, l'article 12 du Code des Marchés Publics précise notamment que le programme de l'opération est une des pièces constitutives du marché de travaux de conception-réalisation.

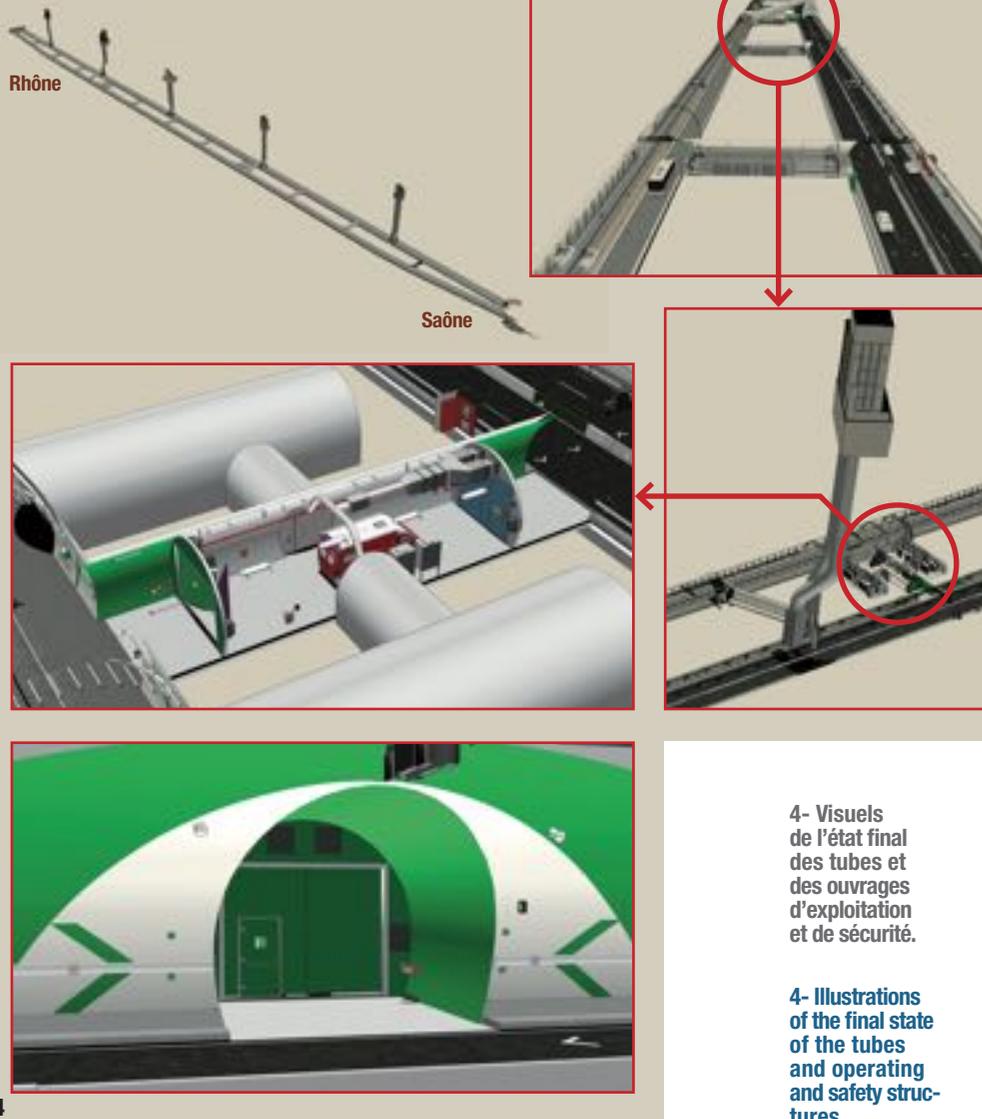
Ces dispositions mettent en exergue que la qualité du programme est primordiale pour la réussite d'une opération avec ce type de procédure.

Il est donc impératif que le MOA établisse un programme fonctionnel, organisationnel et technique, suffisamment détaillé, précis et complet.

TUNNEL EXISTANT AVANT TRAVAUX



VISUELS DE L'ÉTAT FINAL DES TUBES ET DES OUVRAGES D'EXPLOITATION ET DE SÉCURITÉ



4- Visuels de l'état final des tubes et des ouvrages d'exploitation et de sécurité.

4- Illustrations of the final state of the tubes and operating and safety structures.

L'achèvement préalable de procédures et d'approbations (concertations et enquête publique, dossier Loi sur l'Eau, foncier...) est primordial pour éviter le risque de remise en question du programme par les candidats, voire de la faisabilité de l'opération après attribution du marché.

Cela implique que le MOA mène en amont une partie de la conception. Ce travail va donc bien au-delà de la récupération d'intrants et de l'établissement d'un programme d'objectifs. Pour certaines parties de la conception cela va même au-delà de la simple faisabilité (ex. pour la présente opération : système de ventilation définitif des deux tubes).

C'est une des conditions nécessaires à la validité des études établies par le Titulaire.

ORGANISATION DES PRESTATIONS ET DE LEUR CONTRÔLES

Les principes d'organisation des contrôles externes du Titulaire ont été spécifiés de la façon suivante dans le programme de l'opération :

- Études de conception détaillée réalisées par les Lots n°3 et n°4 (conception et architecture) - leur contrôle externe par les Lots n°1 et n°2 (génie civil et équipements) ;
- Études d'exécution réalisées par les Lots n°1 et n°2 (génie civil et équipements) - leur contrôle externe par le Lot n°3 (conception) ;
- Travaux exécutés par les Lots n°1 et n°2 (génie civil et équipements) - leur contrôle externe par les Lots n°3 et n°4 (conception et architecture) ;

→ Mandataire du groupement assurant le pilotage de l'ensemble des contrôles ainsi que la direction du chantier.

Le MOA s'est donné le droit de vérifier et superviser les contrôles du Titulaire (dans le programme de l'opération). Il pouvait donc mettre en place tout contrôle technique de son choix (mesures eau, air et bruit, essais sur bétons, étanchéité ou/et chaussées, etc.), en sus de ceux effectués par le Titulaire. Dans cet objectif, le MOA a défini un contrôle extérieur assuré par l'AMOT qui se faisait soit par sondages ponctuels, soit de manière systématique pour les prestations soumises à « points d'arrêt ». Ces derniers, spécifiés dans le programme de l'opération, devaient être approuvés par le MOA, assisté de son AMOT, avant de pouvoir

poursuivre les études ou les travaux. Le Coordonnateur Sécurité et Protection de la Santé (CSPS) et le Contrôleur Technique (CT) assuraient le contrôle extérieur propre à leurs missions : contrôles en matière de sécurité et de protection de la santé, et contrôles techniques normatifs et réglementaires. L'AMOT effectuait son contrôle extérieur en consolidant les avis des autres contrôles extérieurs : MOA, CSPS et le CT.

DÉMARCHE GÉNÉRALE POUR LE TRAITEMENT DE LA PROBLÉMATIQUE DES TASSEMENTS

PRINCIPES DE LA DÉMARCHE

Dès les phases d'études amont (en 2006), le MOA et l'AMOT ont initié une démarche générique ayant pour objectif de maîtriser les risques, et notamment ceux associés à la préservation des structures existantes en phase travaux. L'objectif était d'évaluer les risques, de définir une ou plusieurs méthodes de traitement de chaque risque et de définir une ou des mesures compensatoires si le risque devient inévitable ou se produit.

Cette démarche comprend 4 étapes successives, les 2 premières se déroulant avant la notification du marché de travaux et les 2 suivantes durant son exécution :

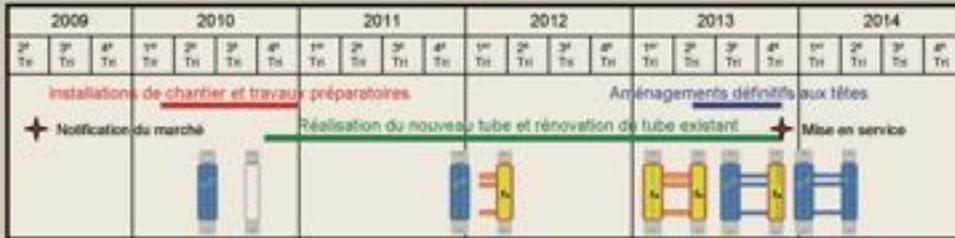
- **Étape n°1** : identification et description des risques ;
- **Étape n°2** : lancement de la consultation sur la base d'un programme détaillé ;
- **Étape n°3** : suivi de la bonne prise en compte des prescriptions du programme de l'opération dans le déroulement des études du Titulaire ;
- **Étape n°4** : suivi de la bonne prise en compte des études dans le déroulement des travaux, appréciation et validation des résultats obtenus.

L'enjeu de la préservation du bâti nécessite essentiellement de maîtriser les tassements et les vibrations. Seule la démarche menée pour la gestion des risques liés aux tassements est abordée dans la suite de l'article. Une démarche similaire a été appliquée pour la gestion des risques liés aux vibrations, avec notamment la réalisation d'études amont conséquentes (essais de tir, modélisation de la propagation des ondes...).

IDENTIFICATION ET DESCRIPTION DES RISQUES

L'étape n°1 a consisté à identifier et décrire les risques puis à anticiper leur prise en compte :

CALENDRIER DES TRAVAUX



5

TYPE DE MONTAGE D'UNE OPÉRATION



6

FIGURE 4 © TITULAIRE DU MARCHÉ DE CONCEPTION-RÉALISATION DE L'OPÉRATION DE RÉNOVATION LOURDE DU TUNNEL DE LA CROIX-ROUSSE - FIGURE 5 © DR

→ Soit par le biais de contraintes et prescriptions fixées dans le programme de l'opération sur la base d'études réalisées en amont ;

→ Soit dans les études du Titulaire.

Les 2 principales familles de risques liées aux tassements ayant été identifiées par le MOA et l'AMOT sont les suivantes :

→ Dégradation du tube routier existant ;
→ Dégradation du bâti et autres structures sensibles.

La maîtrise de ces risques nécessitait donc une connaissance aussi précise que possible des terrains traversés (géologie, hydrogéologie, géotechnique...) et des ouvrages sensibles présents dans la zone d'influence des travaux (bâti, tube routier, ouvrages de soutènement aux têtes, métro ligne C, réseau de galeries...). De nombreuses études amont ont dès lors été menées par le MOA avec l'appui et l'expérience de l'AMOT (recherches bibliographiques, expertises de l'existant, études géologiques...).

ÉTABLISSEMENT DU PROGRAMME DE L'OPÉRATION ET LANCEMENT DE LA CONSULTATION

L'étape n°2 a consisté à lancer une consultation sur la base d'un programme de l'opération qui, grâce aux études amont, décrivait et listait :

- L'état des lieux existant et les intrants nécessaires à la maîtrise des risques ;
- Les exigences en termes d'architecture, de génie civil... ;
- Les procédures à mettre en œuvre ;
- Les contraintes en matière d'exécution des ouvrages ;
- Les risques couverts ou non.

Risques liés aux tassements	Etudes réalisées en amont par le MOA et l'AMOT puis fournies au Titulaire lors de la consultation	Etudes et procédures spécifiques demandées au Titulaire et soumises à points d'arrêt
<p>Dégradations du tube routier liées à l'excavation du nouveau tube et aux terrassements réalisés pour la rénovation du même tube</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Recherches bibliographiques de l'existant • Rapports d'inspection détaillée du tube routier 	<ul style="list-style-type: none"> • Etat des lieux contradictoire du tube routier • Expertise détaillée et enquête caves et fondations • Référé préventif du bâti • Procédure expertise structure publiques de surface • Permis de construire (instruit par le Service sécurité de la Ville de Lyon) • Projet des terrassements et soutènements aux têtes (plans, notes de calcul...) • Projet des travaux en souterrain (plans, notes de calcul...) • Procédure d'auscultation • Plan de rétablissement du cheminement piétons et des écoulements hydrauliques dans l'arête inférieure des galeries souterraines • Plan de localisation des instrumentations en surface et en tunnel • Plan d'Assurance Qualité des travaux de génie civil
<p>Dégradations du bâti, des réseaux d'alimentation en eau potable et d'assainissement, des structures sensibles (métro ligne C, église Saint-Bernard...), durant l'excavation du nouveau tube, liés à :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Des tassements en surface dus à la décompression ou à l'instabilité des terrains lors de l'excavation du nouveau tube • Des tassements/gonflements dus à une modification de l'équilibre hydrologique ou à une modification du drainage des eaux souterraines • Des tassements/gonflements dus à une modification du drainage des eaux souterraines réalisé via un réseau de galeries enchevêtrées • Des mouvements de terrains aux têtes, liés à une déstabilisation des murs de soutènement existants ou à une modification de l'équilibre hydrologique, les risques d'instabilités naturelles ou provoquées par des terrassements réalisés sans précautions suffisantes dans les zones de balmes¹ 	<ul style="list-style-type: none"> • Expertise amont des bâtis sensibles • Campagne de reconnaissances géologique, hydrogéologique, géotechnique et géophysique, avec établissement d'un modèle 3D • Recherches bibliographiques (réseaux existants, puits divers existants sur le plateau de la Croix-Rousse, métro ligne C, église Saint-Bernard) • Etudes et levés topographiques du réseau de galeries 	

7

¹ « balmes » : dénomination locale dans la région lyonnaise des bordures de plateaux et collines.

5- Calendrier des travaux.

6- Type de montage d'une opération.

7- Risques liés aux tassements pris en compte dans le programme de l'opération.

5- Work schedule.

6- Type of project organisation.

7- Subsidence-related risks allowed for in the project schedule.



Le tableau (figure 7) synthétise les risques liés aux tassements, les études qui ont été menées en phase amont par le MOA et l'AMOT, les études qui ont été demandées au Titulaire, ainsi que les points d'arrêts permettant au MOA de garder le contrôle sur les points sensibles de l'opération.

RESPECT DU PROGRAMME DE L'OPÉRATION DANS LES ÉTUDES DU TITULAIRE

L'étape n°3 a consisté à suivre la bonne prise en compte des prescriptions du programme de l'opération lors de la réalisation des études du Titulaire. Cela s'est traduit par la réalisation d'un contrôle extérieur spécifique (effectué par l'AMOT et le CT) sur les études de conception détaillée et d'exécution. Des nombreux échanges se sont alors tenus avec les interlocuteurs dédiés du Titulaire, au cours de réunions techniques de cadrage prévues contractuellement et dont l'AMOT était responsable.

RESPECT DU PROGRAMME DE L'OPÉRATION DANS LES TRAVAUX DU TITULAIRE

L'étape n°4 a consisté à suivre les travaux réalisés par le Titulaire, et à apprécier et valider les résultats obtenus. L'AMOT a alors effectué un contrôle des travaux et a notamment analysé les différentes notes de suivi des auscultations produites par le Titulaire.

8- Vue 3D et coupe de la tête Rhône.

8- 3D view and cross section of the Rhône portal.

CAS PARTICULIER DE LA PROBLÉMATIQUE DES TASSEMENTS EN TÊTE RHÔNE LORS DES TRAVAUX D'ENTRÉE EN TERRE

CONTEXTE DE LA TÊTE RHÔNE

La vue 3D de la tête Rhône (figure 8) fait ressortir son caractère « urbain ». L'entrée en terre est effectuée à une distance d'environ 10 m du tube routier existant.

La couverture est très faible, les habitations étant situées à environ 20 m au-dessus de la voûte du nouveau tube. Les premières dizaines de mètres sont excavées dans des matériaux meubles (figure 8).

Outre la proximité du bâti fondé sur des matériaux meubles, la présence d'un réseau de galeries (figure 8) a davantage complexifié les travaux de confortement et d'excavation.

Le risque de dégradation du bâti a conduit à la réalisation de reconnaissances poussées de la part du MOA et de son AMOT (étape n°1), puis a fait l'objet de prescriptions particulières

concernant le déroulement des études et travaux (étape n°2).

Ces reconnaissances comprenaient notamment une importante campagne de terrain : 6 sondages carottés horizontaux, 3 sondages carottés verticaux, 2 sondages destructifs, 3 sondages pénétrométriques, et un suivi piézométrique, pour un total d'environ 1 800 m de sondage.

SUIVI ET CONTRÔLE DES ÉTUDES DE CONCEPTION DÉTAILLÉE ET D'EXÉCUTION

Suite au recueil des intrants, une analyse des risques amont a abouti à la mise en place de mesures préconfortatives, soit directement intégrées aux prescriptions du marché, soit issues de l'analyse de risques prévue dans le cadre de la consultation.

Ainsi, sous l'impulsion du MOA et de l'AMOT, et en bonne collaboration du Titulaire, des options ont été prises en phase de conception détaillée pour la mise en place de solutions conséquentes de confortement/présoutènement et adaptées au niveau de risque particulièrement élevé (précisé par les études du Titulaire).

Par exemple :

→ La paroi clouée de confortement initialement prévue par le Titulaire a fait l'objet d'adaptations afin de limiter les déplacements, il a ainsi été décidé de renforcer le mur des Fantasques par clouage (ce

mur soutenant la route séparant le bâti de la pente des Balmes) et de mettre en place 2 lits de tirants actifs ;

→ Afin de limiter au maximum les tassements au niveau de l'église Saint-Bernard (faisant déjà l'objet d'un suivi régulier lié à des désordres structurels consécutifs à des problèmes de fondations) il a été décidé de prolonger la voûte parapluie ;

→ Aussi, la réalisation d'un radier « à l'avancement » a été prévue en zone cintrée afin de « bloquer » les cintres.

Finalement, l'entrée en terre de la tête Rhône a fait l'objet de dispositions particulières en termes de travaux de confortement préalable (paroi clouée, tirants...), de pré-soutènement (voûtes parapluies, clous en fibre de verre...) et de soutènement (profils cintrés, longueurs de passes d'excavation limitées...). Ces dispositions ont permis de maîtriser les tassements induits par l'excavation réalisée en méthode traditionnelle.

L'ensemble de ces dispositions constructives particulières (figure 9) a fait l'objet d'études de dimensionnement, réalisées ou validées par le Maître d'Ouvrage Intégré au Titulaire, puis soumises à validation du MOA et de l'AMOT au travers des points d'arrêts.

Le MOA et l'AMOT ont porté une attention particulière à la procédure d'auscultation, pilier de la démarche de la maîtrise des risques.

Deux sujets ont notamment fait l'objet de nombreux échanges entre ingénieurs et experts : la fixation des seuils de tassements et la procédure de suivi de l'instrumentation.

Pour chaque ouvrage, 3 seuils ont été fixés par le Titulaire : un seuil de Vigilance (S1), un seuil d'Anomalie (S2), puis un seuil d'Alerte (S3).

Ces seuils définissent 4 domaines de déformations :

→ **Domaine D1** : seuil S1 non atteint ;
 → **Domaine D2** : déformation comprise entre S1 et S2 - déclenche l'intensification de la surveillance et le réexamen des calculs par le Titulaire, un projet de dispositions constructives étant prévu en cas d'atteinte du domaine D3 ;

→ **Domaine D3** : déformation comprise entre S2 et S3 - déclenche la mise en place des dispositions constructives prévues dans le domaine précédent, ainsi que l'intensification de la surveillance au ▷



© PHOTO THÉOUE EGIS TUNNELS 9

cas par cas, les dispositions devant permettre de ne jamais entrer dans le domaine de déformation D4 ;

→ **Domaine D4** : dépassement de S3 - domaine ne devant jamais être atteint car pouvant entraîner l'apparition de dommages structurels.

Outre l'observation des valeurs absolues de déplacement, l'attention a été attirée sur l'importance de la prise en compte de la cinématique des déplacements.

En effet, l'analyse de la tendance des déplacements devait permettre d'anticiper le passage d'un domaine à l'autre et donc d'anticiper les éventuelles dispositions constructives à prendre.

Par exemple, la projection d'une tendance amenant à passer de D1 à D2 en moins d'une semaine conduit à l'anticipation des dispositions prévues en D2.

Le MOA et l'AMOT ont exigé que le Titulaire présente dans les procédures d'exécution des dispositions constructives permettant de ralentir voire de stopper rapidement les déplacements engagés.

Ces dispositions devaient pouvoir être mises en place très rapidement, ce qui sous-entendait une disponibilité immédiate (sur chantier) des moyens et matériels nécessaires.

SUIVI ET CONTRÔLE DES TRAVAUX

L'établissement du plan d'auscultation, soumis à point d'arrêt, a abouti à la mise en place d'un important dispositif d'instrumentation.

Outre la mise en place de dizaines de cibles et de points topographiques, les équipements suivants ont été installés :

9- Travaux de confortement et présoutènement en tête Rhône.

9- Consolidation and preliminary supporting structure works at the Rhône portal.

- 3 inclinomètres pour déceler un éventuel plan de glissement ;
- 12 tiltmètres, positionnés sur le bâti, pour mesurer d'infimes changements de l'horizontalité ;
- 2 piézomètres pour suivre les éventuelles fluctuations du niveau de la nappe ;
- 9 extensomètres radiaux de 10 m de longueur, mis en place depuis le tube routier, pour mesurer toute déformation à proximité de l'ouvrage existant (en exploitation).

Tous ces équipements étaient l'objet de mesures en temps réel, les données étant accessibles via un site Internet dédié.

En cas d'atteinte de seuils, le dispositif permettait de transmettre des alertes par e-mails et SMS.

Le suivi régulier et précis des déformations de terrain a permis de réaliser les adaptations de soutènement nécessaires avec une grande réactivité (anticipation des changements de domaine de déformation).

Ainsi, les tassements absolus mesurés au niveau du bâti ont été inférieurs à 1 cm. La figure ci-après montre la cuvette de tassements constatée (figure 10).

Cette représentation des iso-tassements fait apparaître 3 zones avec

QUELQUES CHIFFRES CLÉS

RÉFÉRÉS PRÉVENTIFS ET EXPERTISE BÂTI :
environ 2 000 logements concernés

NOMBRE TOTAL DE TIRS À L'EXPLOSIF : plus de 500 tirs

LINÉAIRE CREUSÉ ET VOLUME DE TERRAIN EXCAVÉ :
1 090 m côté Saône et 640 m côté Rhône, pour environ 160 000 m³
(dont une grande partie évacuée par voie fluviale)

CADENCE MAXIMUM D'ÉVACUATION : 120 m³/h

VOLUME MOYEN EXTRAIT PAR JOUR DE CHAQUE CÔTÉ : 500 m³

PERCEMENT : le 15 septembre 2011 (12 mois de creusement)

LINÉAIRE EXCAVÉS SOUS VOÛTE PARAPLUIE : environ 180 m
(soit 8 000 m de forage de renfort)

QUANTITÉ DE DÉCHETS AMIANTÉS ÉVACUÉS DE L'ANCIEN TUBE ROUTIER : 15 000 t

NOMBRE MAXIMUM DE PERSONNES SUR LE CHANTIER : 400

COÛT GLOBAL DE L'OPÉRATION : 282,8 M€ TTC
(y compris révision des prix)

des tassements compris entre 6 mm et 7,5 mm.

Il est à noter que ces zones sont situées au droit des rues. Cette représentation s'explique par la position des points de mesures, concentrés au niveau des rues. En réalité, la cuvette de tassement a un profil plus homogène selon l'axe est-ouest.

À noter également que la cuvette de tassements a été observée avec un léger décalage vers le sud par rapport à l'axe du nouveau tube.

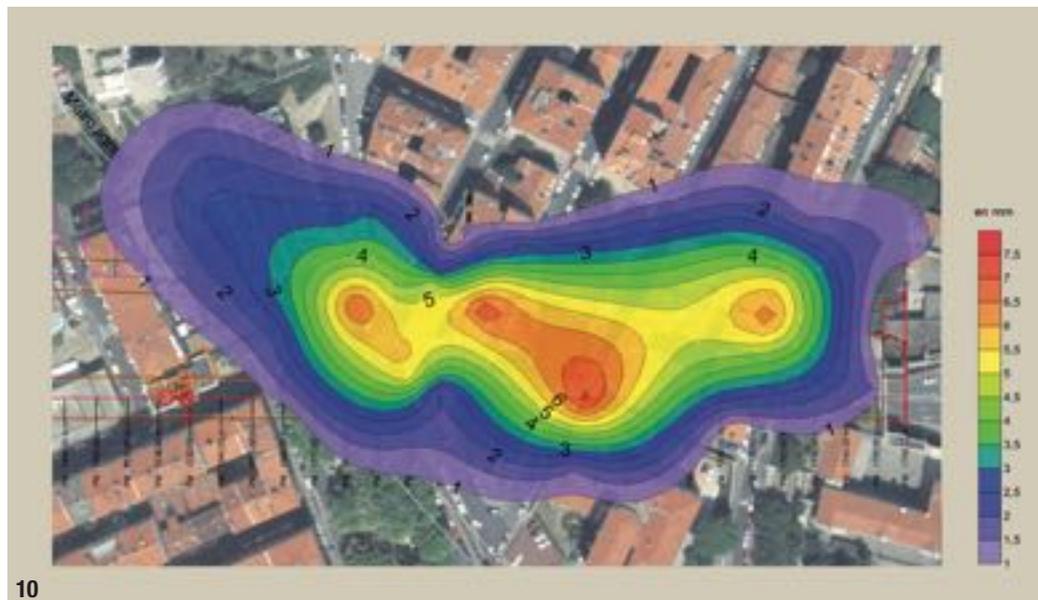
CONCLUSION

Dans un contexte très fortement urbanisé, les enjeux environnementaux sont déterminants, tant dans la définition du programme de l'opération que dans les méthodes et techniques de travaux à mettre en œuvre.

Les résultats très positifs obtenus sur la limitation des tassements de surface permettent de juger d'une bonne adéquation entre les études amont, les études détaillées, les travaux, et la réalité de l'environnement urbain.

Cela met en exergue l'importance pour le MOA de se donner les moyens d'établir un programme à la fois fonctionnel et technique, suffisamment détaillé, précis et le plus complet possible. Le MOA doit donc mener une partie significative de la conception amont (bien plus qu'un niveau faisabilité) : la conception-réalisation ne sous-entend en aucun cas la délégation complète de la conception.

Il ressort également que, dans cette procédure, il est primordial de recourir à des interlocuteurs dédiés et adaptés, ce qui nécessite de bien les identifier en amont de la consultation.



10

© TITULAIRE DU MARCHÉ DE CONCEPTION-RÉALISATION - © GOOGLE MAP

10- Mesure des tassements en surface (tête Rhône).

10- Measuring surface subsidence (Rhône portal).

En particulier, l'AMOT doit notamment intégrer toutes les compétences suffisantes et être correctement dimensionnée pour la réussite d'une telle opération.

Enfin, la notion de maîtrise amont des risques et des intrants nécessaires et suffisants est un prérequis indispensable. □

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE (MOA) : Service Tunnels de la Direction de la Voirie de la Communauté Urbaine de Lyon (Le Grand Lyon)

ASSISTANT À MAÎTRISE D'OUVRAGE TRAVAUX (AMOT) : Egis Tunnels

COORDONNATEUR SÉCURITÉ ET PROTECTION DE LA SANTÉ (CSPS) : Beccs

CONTRÔLEUR TECHNIQUE (CT) : Apave

ASSISTANT À MAÎTRISE D'OUVRAGE « CLAUSES SOCIALES » : Plie

LES PRINCIPAUX ACTEURS DU TITULAIRE DU MARCHÉ DE CONCEPTION-RÉALISATION SONT :

- > Lot n°1 - Génie civil : Dodin Campenon Bernard (mandataire du groupement) / Chantiers Modernes Rhône Alpes / Spie Batignolles TPCI
- > Lot n°2 - Équipements : Cegelec Centre Est / Gtie Transport (Enfrasys)
- > Lot n°3 - Conception : Setec ALS / Setec ITS / Setec TPI
- > Lot n°4 - Architecture : Strates / Clément Vergely Architecte

ABSTRACT

MAJOR RENOVATION OF CROIX-ROUSSE TUNNEL - TREATMENT OF SUBSIDENCE ISSUES

EGIS TUNNELS : JAMES DUPONT - THOMAS ROUX - ADRIEN SAITTA

Given the obsolescence of the Croix-Rousse road tunnel and changing regulations, Communauté Urbaine de Lyon was forced to carry out a major project to improve safety. Solution adopted: complete renovation of the existing tube (including its five shafts and ventilation plants), excavation and development of a new tube for use as a safety gallery, reserved for pedestrians, cyclists and public transport, and development of a square. The work of excavation by explosives was carried out very carefully due to the urban environment and the need to control subsidence. Well before the start of the project, special equipment was deployed to ensure consistency between environmental objectives, the definition of construction processes, and methods and inspections. Precise definition of the responsibilities of those involved in the work and their perfect coordination ensured that the project was a success. □

IMPORTANTE RENOVACIÓN DEL TÚNEL DE LA CROIX-ROUSSE - TRATAMIENTO DE LA PROBLEMÁTICA DE LOS ASENTAMIENTOS

EGIS TUNNELS : JAMES DUPONT - THOMAS ROUX - ADRIEN SAITTA

La vetustez del túnel de carretera de la Croix-Rousse y la evolución de la normativa impusieron a la Comunidad Urbana de Lyon la realización de una importante operación de puesta en seguridad. La solución que se ha adoptado es la rehabilitación completa del tubo existente (incluyendo sus 5 pozos y centrales de ventilación), la excavación y el acondicionamiento de un nuevo tubo para uso de galería de seguridad y reservada a los peatones y ciclistas, así como a los transportes públicos, y el acondicionamiento de un apartadero. Las obras de excavación con explosivos se realizaron con gran precaución debido al contexto urbano y al necesario control de los asentamientos. Mucho antes del comienzo de la obra, se desplegaron medios específicos para garantizar la coherencia entre los objetivos medioambientales, la definición de los procedimientos constructivos, los métodos y los controles. El éxito de la operación no hubiera sido posible sin una definición precisa de las competencias de los participantes y su perfecta coordinación. □

CSM BESSAC CONSTRUIT LE RÉSEAU D'ASSAINISSEMENT DE LA VILLE DE BATA EN GUINÉE ÉQUATORIALE

AUTEUR : JEAN-NOËL LASFARGUE, DIRECTEUR COMMERCIAL DE CSM BESSAC

AVEC UN IMPORTANT CHANTIER D'ASSAINISSEMENT EN GUINÉE ÉQUATORIALE, CSM BESSAC, QUI RÉALISE PLUS DE 50 % DE SON CHIFFRE D'AFFAIRES À L'EXPORT, FAIT UNE PREMIÈRE INCURSION EN AFRIQUE SUBSAHARIENNE : 5 800 M DE COLLECTEURS RÉALISÉS AU MICROTUNNELIER, AVEC DES RENDEMENTS QUI FRÔLENT LES 50 M PAR JOUR.



La Guinée Équatoriale est un état d'Afrique centrale de 28 051 km² constitué d'une partie continentale située entre le Cameroun et le Gabon, ainsi que d'une partie insulaire.

La plus grande de ces îles s'appelle Bioko : là se trouve Malabo, la capitale politique. Troisième producteur de pétrole et de gaz du continent, la Guinée Équatoriale est l'un des pays les plus riches d'Afrique centrale.

1- Micro-tunnelier AVN 1500.

1- AVN 1500 microtunnel boring machine.

L'État a lancé, ces dernières années, de gros investissements pour la construction d'infrastructures : aéroports, routes, hôpitaux, écoles, logements. Ces dépenses publiques représentent, pour la seule Guinée Équatoriale, près

2- Tracé du projet d'assainissement.

3- Une emprise de chantier dans la ville de Bata.

4- Sortie de la roue de coupe dans les grès.

5- Descente du microtunnelier en puits.

6- Descente du microtunnelier dans un puits de départ.

2- Sewerage project layout.

3- Land occupied by the project in the town of Bata.

4- Cutting wheel exit in sandstones.

5- Lowering the MBTM into the shaft.

6- Lowering the MBTM into a starting shaft.



UNE ACTIVITÉ QUI S'EXPORTE

CSM Bessac réalise plus de 50% de son chiffre d'affaires à l'export (présence dans près de 20 pays).

En 2013, des chantiers ont été réalisés à Hong-Kong (prolongement d'une ligne de métro), au Mexique, et en Colombie (Bogota).

Actuellement, l'entreprise réalise un émissaire en mer à Casablanca (1 100 m Ø 2,10 m), une conduite de transfert à Mejillones au Chili, un émissaire à Alger, des réseaux d'assainissement à Bogota (3 chantiers), et enfin le projet de Bata.

Quatre chantiers vont démarrer dans les mois qui viennent : USA (Miami), Chili (Antofagasta), Costa Rica (San José), Géorgie / Azerbaïdjan.

de 40% des investissements publics de la Communauté Économique et Monétaire de l'Afrique Centrale (CEMAC) comprenant le Cameroun, la République Centrafricaine, la République du Congo, le Gabon, la Guinée équatoriale et le Tchad. Bata est la plus grande ville de la partie continentale du pays, située à proximité du golfe de Guinée, dans la région du Rio Muni.

CSM Bessac a acquis, fin 2012, un chantier pour l'assainissement de cette ville portuaire.

5 800 MÈTRES DE COLLECTEURS RÉALISÉS AU MICROTUNNELIER

Le projet se développe dans le centre de la ville de Bata (figure 3).

Les contraintes de profondeur et de géologie ont conduit les concepteurs de ce projet à choisir de réaliser l'ouvrage en souterrain. La ville portuaire présente un relief collinaire constitué de sables argileux et d'argiles marneuses qui surmontent un substratum constitué de grès (figure 4).

Le réseau d'assainissement, à écoulement gravitaire, est inscrit dans ce substratum, à une profondeur qui varie entre 9 et 30 mètres selon le relief. ▷





7- Une emprise de chantier au pied d'un immeuble.

8- Arrivée d'un microtunnelier dans un puits.

9- Principe de réalisation d'un chantier de microtunnelage.

7- Land occupied by the project at the foot of a building.

8- Arrival of a microtunnel boring machine in a shaft.

9- Execution technique for a microtunnelling project.

La solution retenue consiste à réaliser l'ouvrage par fonçage au microtunnelier en 1 500 mm de diamètre intérieur. Le choix de ce diamètre, légèrement supérieur aux besoins hydrauliques, permet de trouver le compromis opti-

mal entre le nombre de puits et la longueur des tronçons de fonçage. Ainsi, l'ouvrage, d'une longueur totale de 5 800 mètres (figure 2), est-il découpé en 15 tronçons dont les longueurs varient entre 150 m et 580 m.

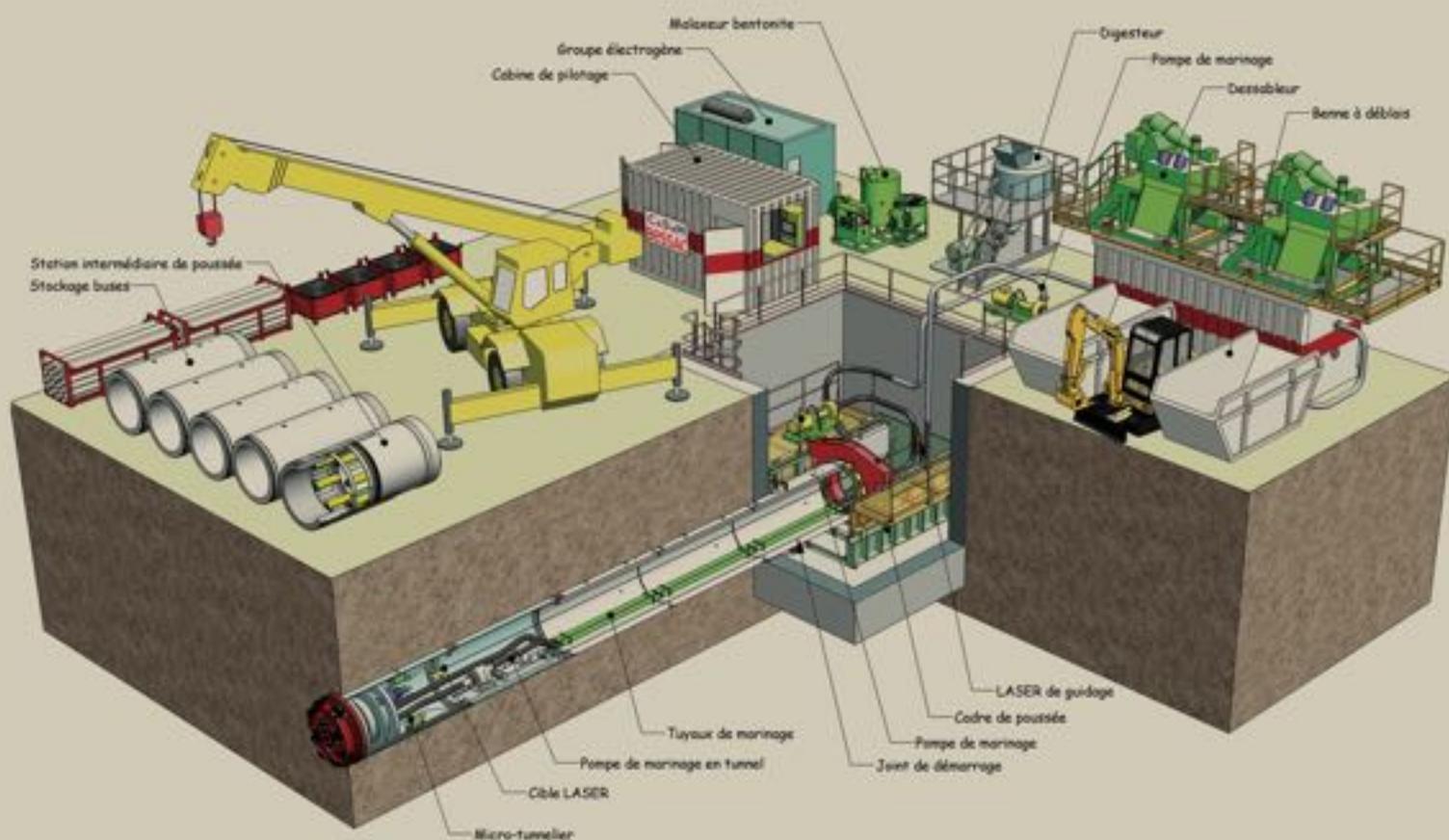
Certains tronçons présentent des courbes en plan de 500 mètres de rayon. L'ouvrage est creusé avec un microtunnelier AVN 1500 (figures 5 et 6). Les tuyaux mis en œuvre par fonçage sont en béton armé. Ils sont réalisés à

proximité du chantier dans une usine construite spécifiquement pour ce projet. La préfabrication est réalisée avec l'assistance technique de CSM Bessac. Le terrain dans lequel est creusé l'ouvrage, est constitué majoritairement de

© CSM BESSAC

9

PRINCIPE DE RÉALISATION D'UN CHANTIER DE MICROTUNNELAGE



LE FONÇAGE AU MICROTUNNELIER, RAPPEL TECHNIQUE (figure 9)

Le principe consiste à pousser des éléments de tuyau à partir d'un puits (figure 10) : c'est le fonçage horizontal. Le creusement à l'avant de la conduite poussée est assuré par le microtunnelier.

Celui-ci est constitué de trois éléments, engagés un à un dans le terrain. Le premier élément porte la roue de coupe équipée d'outils ; elle est entraînée par des moteurs hydrauliques. Les outils et la conception de la roue dépendent de la nature du terrain à creuser. Ici, nous avons mis en place une roue équipée de molettes pour attaquer la roche. Les autres modules contiennent les organes de production de l'énergie hydraulique, et une unité de poussée.

Le microtunnelier est piloté depuis un container de commande placé en surface près du puits. L'accès des hommes dans la conduite est occasionnel, pour l'entretien et la maintenance de la machine ou le contrôle et le remplacement des outils. En présence d'eau dans le terrain, l'accès est fait sous pression d'air par l'intermédiaire d'un sas. Le personnel est formé pour le travail dans des conditions hyperbares.

L'extraction des déblais est assurée par une circulation de boue (figure 11). La boue fabriquée en surface est amenée, sous pression, dans la roue de coupe. Elle est mélangée aux déblais de creusement et elle repart en surface où elle est séparée des déblais par une installation de criblage composée d'un dessableur primaire et d'une série d'hydrocyclones. Outre sa fonction de marinage, la boue sous pression participe au confinement. Elle évite la décompression des terrains meubles et contient la pression de la nappe.

La conduite est poussée par des vérins mis en place dans le puits de départ. On comprend aisément que la force nécessaire à la progression va augmenter avec la longueur de la conduite à cause des frottements du terrain sur celle-ci. Pour réduire ces frottements, on va injecter des produits lubrifiants autour de la conduite. Lorsque la poussée atteint la valeur limite prévue, on place entre deux tuyaux une station intermédiaire de poussée. Chaque station intermédiaire pousse un tronçon de la conduite. Ce dispositif permet de réaliser des fonçages de grande longueur (>1 000 m)

Il est possible de réaliser des fonçages à trajectoires courbes.

Le système de guidage est constitué d'un gyroscope associé à un niveau électronique.

UNE GAMME COMPLÈTE

La technique du microtunnelier peut être mise en œuvre pour une large gamme de diamètres.

Cette technique requiert des investissements lourds pour équiper chaque chantier des matériels les plus performants. Outre le microtunnelier qui assure l'abattage du terrain, c'est toute une chaîne de matériel complexe qui doit être mise en œuvre : stations de poussée principale et intermédiaires, sas de transfert, module de puissance, pompes de transfert de déblais, systèmes de séparation des boues (dessableurs, hydrocyclones, filtres presses, centrifugeuses), système de guidage, plusieurs automates assurant le pilotage, le contrôle des stations de poussées, l'asservissement des vannes d'injections de lubrification...

CSM Bessac possède ainsi, sur son parc, les équipements qui permettent de couvrir toute la gamme de diamètres entre 500 mm et 3 m.

Aujourd'hui, la maîtrise de la technique du fonçage horizontal sur de fortes longueurs (avec des tracés pouvant présenter des courbes) associée aux performances croissantes des microtunneliers, permettent aux entreprises spécialisées de proposer aux concepteurs des solutions de pose de réseaux sans tranchée, maîtrisées, économiques et qui limitent fortement le coût social des travaux ainsi que leur impact environnemental.



10



11

© CSM BESSAC

10- Mise en place du microtunnelier dans un puits de départ.

11- L'entrée du tunnel et les conduites de circulation de la boue.

10- Setting up the microtunnel boring machine in a starting shaft.

11- The tunnel entrance and sludge circulation pipes.

grès sous une nappe phréatique qui présente une charge pouvant atteindre 25 m. La roue d'abattage est très sollicitée par la forte dureté et la forte abrasivité du terrain. Pour prolonger la vie des outils et diminuer les interventions sur la roue pour leur remplacement, des molettes spécifiques renforcées au carbure de tungstène sont utilisées.

DE FORTS RENDEMENTS ET ZÉRO ACCIDENT

L'équipe du chantier est très cosmopolite ; outre le noyau de spécialistes expatriés, l'équipe est composée de personnel de nationalité colombienne, marocaine, guinéenne, camerounaise et malienne.

DÉVELOPPEMENT D'UN SAS SPÉCIFIQUE

Le creusement étant effectué sous la nappe phréatique, il était nécessaire que le tunnelier soit équipé d'un module sas pour les interventions hyperbares dans la chambre d'abattage du microtunnelier (visites de contrôle des outils, remplacement de molettes...). Les services de sécurité locaux ne disposent pas de sas médical en cas d'accident de décompression.

L'entreprise a donc fait appel à son service technique pour développer un sas spécifique pour le chantier de Bata (figure 12). Ce matériel a une double fonction. Il est conçu pour être placé en tête de galerie pour les interventions hyperbares et il est équipé pour être utilisé comme caisson médical en cas d'accident de décompression.



12

© CSM BESSAC

Cette mixité ne nuit nullement à la cohésion, au professionnalisme, et donc aux bonnes performances.

En effet, les rendements réalisés atteignent près de 50 m en 24 heures ! L'autre performance à souligner concerne la sécurité : depuis le démar-

rage du chantier, début janvier 2013, aucun accident avec arrêt n'est à déplorer.

Et cela, malgré les grosses contraintes urbaines qui conduisent à des emprises de travail exiguës (figures 7 et 8) et en dépit d'une culture locale qui n'est

12- Le sas à double fonction.

12- The dual-function air lock.

pas encore très fortement axée sur la sécurité.

Au moment où sont écrites ces lignes, les deux tiers de l'ouvrage sont déjà réalisés ; soit près de 3 800 m de collecteurs qui auront été creusés en un peu plus d'une année. □

ABSTRACT

CSM BESSAC CONSTRUCTS THE SEWERAGE SYSTEM FOR THE TOWN OF BATA IN EQUATORIAL GUINEA

JEAN-NOËL LASFARGUE, CSM BESSAC

With a major sewerage project in Equatorial Guinea, CSM Bessac, which earns more than 50% of its revenues from exports, makes initial inroads into sub-Saharan Africa. The main drain, 5800 metres long, is executed with an AVN 1500 microtunnel boring machine. It is divided up into 15 sections, of lengths ranging between 150 m and 580 m. Some sections have plane curves of radius 500 m. Around 50 metres are executed each day. □

CSM BESSAC CONSTRUYE LA RED DE SANEAMIENTO DE LA CIUDAD DE BATA EN GUINEA ECUATORIAL

JEAN-NOËL LASFARGUE, CSM BESSAC

Con una importante obra de saneamiento en Guinea Ecuatorial, CSM Bessac, que realiza más del 50% de su volumen de negocios en la exportación, hace su primera incursión en el África subsahariana. El colector, de 5.800 m de longitud, se realiza con una microtuneladora AVN 1500. Se divide en 15 tramos con longitudes que oscilan entre 150 m y 580 m. Algunos tramos presentan curvas en planta de 500 m de radio. Los rendimientos son cercanos a 50 metros al día. □

CONSULTEZ **TRAVAUX** SUR INTERNET
revue-travaux.com

Vous pourrez :

Vous abonner en ligne • Télécharger gratuitement des articles • Accéder à la présentation de la revue • Consulter 12 ans d'archives de la revue • Compléter votre collection



NOTRE TALENT
DÉFIE LE TEMPS

STRRES

Le STRRES est le syndicat national des entrepreneurs spécialistes de travaux de réparation et de renforcement des structures.

Il rassemble 60 entreprises qui exercent, à titre principal ou secondaire, une activité d'entretien, de réparation et de réhabilitation des structures de Génie civil.

Le STRRES est adhérent de la FNTF.

Retrouvez sur www.strres.org :

Les guides



Pour mieux connaître et appliquer les règles de l'art en matière de réparation et de renforcement d'ouvrages, **consultez ou téléchargez gratuitement 12 guides techniques du STRRES.**

Les entreprises



Trouver une entreprise **par domaine d'activité, par région et/ou par identification professionnelle.**

SYNDICAT NATIONAL DES ENTREPRENEURS SPÉCIALISTES DE TRAVAUX
DE RÉPARATION ET RENFORCEMENT DE STRUCTURES
3 rue de Berri 75008 Paris • Tél. : 01 44 13 31 82 • Fax : 01 44 13 32 44 •
strres@strres.org • www.strres.org

ABS • ADS ouvrages d'art • AFGC • AGTP • ARREBA • ATS • AXIMUM • BASF CC France • BAUDIN-CHATEAUNEUF • BEC • BEKAERT France • BERTHOLD SA • BTPS • CHANTIERS MODERNES SUD • COFEX Ile-de-France • COFEX LITTORAL • COFEX RÉGIONS • COLAS RAIL • CTICM • CROBAM • DEMATHIEU ET BARD • ECM • EGM TNC • EIFFAGE TP/ Département GCN • EIFFEL CONSTRUCTION MÉTALLIQUE • ENTREPRISE BONNET • ETANDEX • ETPO • EUROVIA BÉTON • FAURE SILVA • FAYAT • HOLCIM • FREYSSINET France • FREYSSINET International & Cie • GAUTHIER • GTS/Département ELITE • LAFARGE • LETESSIER • MAPEI • MCCF • NOUVETRA • OUEST ACRO SA • PAGEL SAS • PAREXLENKO • PERRIER SAS • POA • RAZEL • RCA • RENOFORS • RESINA • RESIREP • SNC • RICHERT • SAINT GOBAIN WEBER France • SARL ROMOEUF • SEFI-INTRAFOR • SIKA • SIRCO TRAVAUX SPÉCIAUX • SNCTP • SOFRARES • SOLETANCHE BACHY • SOTEM • SORREBA TECHNOLOGIE • SOTRAIB EAU • SPIE BATIGNOLLES TECHNOLOGIES • STPL • TEMSOL • TSV • VIA PONTIS • VINCI CONSTRUCTION France • VSL France

STRRES



NOTRE TALENT
DÉFIE LE TEMPS

RÉPERTOIRE DES FOURNISSEURS

MATERIEL DE TERRASSEMENT



AMMANN France - 21, rue des Moulins, France
21000 Dijon - France
Tél. 01 46 12 02 88 - Fax 01 46 12 02 92
E-mail : info@ammann-group.com
www.ammann-group.com



BOBCAT/BPV - B.P.3 - 27320 NONANCOURT
Numéro Indigo
0 825 08 43 81



FRANCE
PLUS DE 350 MACHINES ET
700 ÉQUIPEMENTS EN TP, PL,
LEVAGE ET MANUTENTION
T : 00 33 (0)3 23 04 00 68
F : 00 33 (0)3 23 68 33 80
Mail : sodineg@wanadoo.fr
DEPOTS 02 ET 74

■ CHARGEUSE SUR PNEUMATIQUES

BOBCAT EUROPE
J. Huysmanslaan 59 B
1651 Lot - Belgique
Tél. 00 32 2 371 68 11
Fax 00 32 2 371 69 00

VOLVO CONSTRUCTION EQUIPMENT - EUROPE SAS
37, avenue Georges Politzer - BP 117
78192 Trappes Cedex
Tél. 01 30 69 28 28
Fax 01 30 69 83 39
www.volvoce.com

■ MINI-PELLE

VOLVO CONSTRUCTION EQUIPMENT - EUROPE SAS
37, avenue Georges Politzer - BP 117
78192 Trappes Cedex
Tél. 01 30 69 28 28
Fax 01 30 69 83 39
www.volvoce.com

■ NIVELEUSE AUTOMOTRICE

VOLVO CONSTRUCTION EQUIPMENT - EUROPE SAS
37, avenue Georges Politzer - BP 117
78192 Trappes Cedex
Tél. 01 30 69 28 28
Fax 01 30 69 83 39
www.volvoce.com

■ PELLE HYDRAULIQUE SUR CHENILLES

VOLVO CONSTRUCTION EQUIPMENT - EUROPE SAS
37, avenue Georges Politzer - BP 117
78192 Trappes Cedex
Tél. 01 30 69 28 28
Fax 01 30 69 83 39
www.volvoce.com

■ ÉQUIPEMENTS POUR ENGIN DE TERRASSEMENT

ONE - TP.COM
1 Place du 8 Mai 1945
60119 Neuville Bosc
Tél. 01 30 37 06 26
Fax 01 34 40 01 44

MATERIEL POUR LA PRODUCTION D'AIR COMPRIME ET TRAVAUX D'ABATTAGE

■ MARTEAU BRISE-ROCHE HYDRAULIQUE

ATLAS COPCO FORAGE ET DÉMOLITION SA
ZI du Vert Galant - 2, av. de l'Eguillette
BP 7181 - Saint-Ouen-l'Aumône
95056 Cergy-Pontoise Cedex
Tél. 01 39 09 32 22
Fax 01 39 09 32 49

■ PELLE HYDRAULIQUE SUR PNEUMATIQUES

VOLVO CONSTRUCTION EQUIPMENT - EUROPE SAS
37, avenue Georges Politzer - BP 117
78192 Trappes Cedex
Tél. 01 30 69 28 28
Fax 01 30 69 83 39
www.volvoce.com

■ TOMBREAU AUTOMOTEUR ARTICULÉ

VOLVO CONSTRUCTION EQUIPMENT - EUROPE SAS
37, avenue Georges Politzer - BP 117
78192 Trappes Cedex
Tél. 01 30 69 28 28
Fax 01 30 69 83 39
www.volvoce.com

■ CHARGEUSE PELLEUSE (BACKHOE LOADER)

VOLVO CONSTRUCTION EQUIPMENT - EUROPE SAS
37, avenue Georges Politzer - BP 117
78192 Trappes Cedex
Tél. 01 30 69 28 28
Fax 01 30 69 83 39
www.volvoce.com

MATERIEL DE LEVAGE ET DE MANUTENTION



Coffrages et Etaisements
PERI S.A.S.
Z.I. Nord - 34/36, rue des Frères Lumière
77109 Meaux cedex
Tél. : 01 64 35 24 40 - Fax : 01 64 35 24 50
peri.sas@peri.fr
www.peri.fr

MATERIEL POUR LA CONSTRUCTION ET L'ENTRETIEN DES ROUTES



AMMANN France - 21, rue des Moulins, France
21000 Dijon - France
Tél. 01 46 12 02 88 - Fax 01 46 12 02 92
E-mail : info@ammann-group.com
www.ammann-group.com



2, avenue du Général de Gaulle
91170 VIRY CHATILLON
Tél. : 01 69 57 86 00 - Fax : 01 69 96 26 60
www.bomag.com



WIRTGEN FRANCE
WIRTGEN
Fraiseuses sur roues et sur chenilles
Recycleurs à froid / Stabilisatrices de sol
Machines à coffrage glissant / Mineurs de surface
Outils au carbure. Betek/Sitek
VÖGELE
Finisseurs sur pneus et sur chenilles / Alimentateurs
HAMM
Rouleaux tandem vibrants
Compacteurs à pneus
Compacteurs monocylindre vibrants
KLEEMANN
Installations de concassage mobiles et fixes / cribles
Distributeur exclusif pour la France des épandeurs
de liants pulvérulents
STREUMASTER série SW
WIRTGEN FRANCE
BP 31633 - 7, rue Marc Seguin
95696 Goussainville Cedex
Tél. : 01 30 18 95 95 - Fax : 01 30 18 15 49
E-mail : contact@wirtgen.fr
www.wirtgen.fr

METALLIANCE

ZI de la Saule - BP 111
71304 Montceau Cedex
Tél. 03 85 57 01 34
Fax 03 85 57 88 73

■ MACHINE POUR LA STABILISATION ET LE RECYCLAGE DE CHAUSSÉES

RABAUD

Bellevue - 85110 Sainte-Cécile
Tél. : 02 51 48 51 58
Fax 02 51 40 22 97
www.rabaud.com
info@rabaud.com

MATERIEL TOPOGRAPHIQUE - LASER - GUIDAGE D'ENGIN

■ TRAVAUX SOUTERRAINS



AUSCULTATIONS Automatiques
Tél. 01 41 42 06 30
Fax 01 41 42 06 31
www.miretopo.com

■ LEVÉE BATHYMÉTRIQUE



Bureau d'Etude
Bathymétrie - Topographie
Suivi de travaux & Suivi d'Ouvrages
Tél : 06 67 79 05 16 - 06 99 48 45 27
www.bathys.fr - contact@bathys.fr

CE GUIDE RENSEIGNE SUR LES PRODUCTIONS DES FOURNISSEURS DE MATÉRIEL, ÉQUIPEMENT OU SERVICES. SI VOUS DÉSIREZ ÊTRE RÉPERTORIÉS DANS CES RUBRIQUES, ADRESSEZ-VOUS À : EMMANUELLE HAMMAOUI - 9, RUE DE BERRI - 75008 PARIS - TÉL. : +33 (0)1 44 13 31 41 - EMAIL : ehammaoui@fnfp.fr - TARIF : 100 € HT PAR LIGNE ET PAR RUBRIQUE OU 230 € HT LE CM COLONNE POUR UNE ANNÉE DE PARUTION.

MATERIEL DE CONCASSAGE - BROYAGE - CRIBLAGE



metso
Concassage, broyage, criblage, maintenance
Metso Minerals (France)
11, rue de la République - 71006 Mâcon Cedex
Tél. : 03 85 07 30 00 - Fax : 03 85 07 30 01
www.metso.com

POSTE D'ÉGOUTTAGE DES SABLES AVEC TRAITEMENT DES EAUX DE LAVAGE

SOTRES
Parc Européen des entreprises
BP 80072 - Rue Richard Wagner
63200 RIOM
Tél. 04 73 15 36 00
Fax 04 73 15 36 20

INSTALLATIONS MOBILES DE CONCASSAGE-CRIBLAGE

GRAVEL
1 Chemin de Villers à Combault
94420 Le Plessis Trevisé
Tél. 01 45 94 59 53
Fax 01 45 94 59 83

MATERIEL FLOTTANT ET MATERIEL DE PLONGEE POUR TRAVAUX FLUVIAUX ET MARITIMES

PONTON MÉTALLIQUE DÉMONTABLE

LEDUC T.P
1, rue de Folenrue
27202 VERNON cedex
Tél. 02 32 51 74 97
Fax 02 32 51 57 18

MATERIEL DE SONDRAGE, FORAGE, FONDATIONS SPECIALES ET INJECTION



G-OCTOPUS
www.g-octopus.com
Tél. : +33 01 47 32 48 30

DÉSABLEUR DE BOUES

SOTRES
Parc Européen des entreprises
BP 80072 - Rue Richard Wagner
63200 RIOM
Tél. 04 73 15 36 00
Fax 04 73 15 36 20

SONDEUSE DE RECONNAISSANCE ET FOREUSE EN ROTATION

ATLAS COPCO FORAGE ET DÉMOLITION SA
ZI du Vert Galant
2, av. de l'Eguillette - BP 7181
Saint-Ouen-l'Aumône
95056 Cergy-Pontoise Cedex
Tél. 01 39 09 32 22
Fax 01 39 09 32 49

POMPES À BOUES

ATLAS COPCO FORAGE ET DÉMOLITION SA
ZI du Vert Galant
2, av. de l'Eguillette - BP 7181
Saint-Ouen-l'Aumône
95056 Cergy-Pontoise Cedex
Tél. 01 39 09 32 22
Fax 01 39 09 32 49

PRESSE D'INJECTION

ATLAS COPCO FORAGE ET DÉMOLITION SA
ZI du Vert Galant
2, av. de l'Eguillette - BP 7181
Saint-Ouen-l'Aumône
95056 Cergy-Pontoise Cedex
Tél. 01 39 09 32 22
Fax 01 39 09 32 49

MATERIEL SPECIAL POUR LA POSE DE CANALISATIONS



MARAIIS SERVICES
Marais Contracting Services
1, rue Pierre et Marie Curie
49430 DURTAL
Tél : 02 41 96 16 99 - Fax : 02 41 96 16 99
Email : info@marais.com - Web : www.marais.com

TRANCHEUSE

MARAIIS CONTRACTING SERVICES
1, rue Pierre et Marie Curie
ZA "Les portes d'Anjou" - BP 20
49430 DURTAL
Tél. 02 41 96 16 90
Fax 02 41 96 16 99

MATERIEL POUR TRAVAUX SOUTERRAINS



ATLAS COPCO FORAGE ET DÉMOLITION S.A.S.
ZI du Vert Galant - 2, avenue de l'Eguillette
S.P. 7181 - Saint-Ouen-l'Aumône
95056 Cergy-Pontoise cedex
Atlas Copco
Tél. : 33 (0) 1 39 09 32 22
Fax : 33 (0) 1 39 09 32 49
www.atlascopco.fr



Ducrocq Ingénierie Process
ZA Ecoles 63200 MONTREUILMÉR
Tél : 03 21 99 02 60 - Fax : 03 21 99 02 60
E-mail : ducrocq.ingenierie@wanadoo.fr
Site Internet : www.ducrocq.ingenierie-process.com

METALLIANCE
ZI de la Saule
BP 111
71304 Montceau Cedex
Tél. 03 85 57 01 34
Fax 03 85 57 88 73

BERLINE
PATRY SA
24, rue du 8 mai 1945
95340 Persan
Tél. 01 39 37 45 45
Fax 01 39 37 45 44
www.patry.fr

TECHNICRIBLE
Zone industrielle
81150 LAGRAVE
Tél. 05 63 81 41 57
Fax 05 63 81 41 56

LOCOTRACTEUR DE MANŒUVRE
PATRY SA
24, rue du 8 mai 1945
95340 Persan
Tél. 01 39 37 45 45
Fax 01 39 37 45 44
www.patry.fr

MACHINE D'ATTAQUE PONCTUELLE À FRAISE (RADIALE-TANGENTIELLE)

METALLIANCE
ZI de la Saule
BP 111
71304 Montceau Cedex
Tél. 03 85 57 01 34
Fax 03 85 57 88 73

ENGIN DE BOULONNAGE

ATLAS COPCO FORAGE ET DÉMOLITION SA
ZI du Vert Galant
2, av. de l'Eguillette
BP 7181 Saint-Ouen-l'Aumône
95056 Cergy-Pontoise Cedex
Tél. 01 39 09 32 22
Fax 01 39 09 32 49

ENGIN DE FORATION

ATLAS COPCO FORAGE ET DÉMOLITION SA
ZI du Vert Galant
2, av. de l'Eguillette
BP 7181 Saint-Ouen-l'Aumône
95056 Cergy-Pontoise Cedex
Tél. 01 39 09 32 22
Fax 01 39 09 32 49

MATERIEL POUR TRAITEMENT DE LA TERRE



Lhoist France
Une société du Groupe Lhoist
100, Rue de France - 97000 Pointe à Pitre
Tél. : +33 (0)1 93 45 50 00 - Fax : +33 (0)1 93 45 50 14
www.lhoist.com

BUREAU ETUDES



20 agences en France
Rincenat BTP
8 agences à l'international
www.rincenatbtp.fr
Tél. +33 (1) 60 87 21 25
direction.technique@rincenatbtp.fr



CATHIE ASSOCIATES
www.cathie-associates.com
Tél. : +33 1 47 32 48 30

MATERIEL DE PRODUCTION, DE TRANSFORMATION ET DE DISTRIBUTION DE L'ENERGIE

SDMO INDUSTRIE
12 Bis, rue de la Villeneuve BP 241
29272 Brest cedex
Tél. 02 98 41 41 41
Fax 02 98 41 13 10

MATÉRIEL POUR LES TRAVAUX PUBLICS

CHOISISSEZ VOS RUBRIQUES ET SOYEZ PRÉSENT PENDANT 1 AN DANS TOUTS LES NUMÉROS DE TRAVAUX. POUR TOUT CONTACT, APPELEZ :
EMMANUELLE HAMMAOUI - 9, RUE DE BERRI - 75008 PARIS - TÉL. : +33 (0)1 44 13 31 41 - EMAIL : ehammaoui@fnfp.fr

MATÉRIEL D'ALIMENTATION EN EAU ET D'ÉPUISEMENT

- POMPE À DIAPHRAGME
- POMPE BASSE PRESSION POUR EAUX CHARGÉES
- POMPE HAUTE PRESSION, LAVAGE, LANÇAGE
- ALIMENTATION GRANDE HAUTEUR
- POMPE POUR RABATTEMENT DE NAPPE
- POMPE SUBMERSIBLE

MATÉRIEL DE BATTAGE ET D'ARRACHAGE

- MARTEAU
- MOUTON
- VIBRATEUR DE FONÇAGE ET D'ARRACHAGE

MATÉRIEL POUR LA PRODUCTION D'AIR COMPRIMÉ ET TRAVAUX D'ABATTAGE

- CHARIOT DE FORAGE (WAGON DRILL)
- COMPRESSEUR À VIS SUR ROUES - INSONORISÉ
- ELECTRO-COMPRESSEUR, SEMI-FIXE - INSONORISÉ
- MARTEAU BRISE-ROCHE HYDRAULIQUE
- PINCE ET CISAILLE DE DÉMOLITION

MATÉRIEL DE TERRASSEMENT

- CHARGEUSE SUR CHENILLES
- CHARGEUSE SUR PNEUMATIQUES
- CHARGEUSE PELLEUSE (BACKHOE LEADER)
- DÉCAPEUSE AUTOMOTRICE AVEC OU SANS AUTOCHARGEUR (MOTORSCRAPER)
- MINI-PELLE
- MOTO-BASCULEUR
- NIVELEUSE AUTOMOTRICE
- PELLE À CÂBLES SUR CHENILLES
- PELLE HYDRAULIQUE SUR PNEUMATIQUES
- PELLE SPÉCIALE AVANCEMENT AU PAS
- TOMBREAU AUTOMOTEUR À CHÂSSIS RIGIDE
- TOMBREAU AUTOMOTEUR ARTICULÉ
- TRACTEUR INDUSTRIEL ET FORESTIER 4 X 4
- TRACTEUR SUR CHENILLES (BOUTEUR, BULLDOZER)
- TRACTEUR SUR PNEUMATIQUES

MATÉRIEL DE TRANSPORT ROUTIER

- CAMIONNETTE TOUTS CHEMINS 4 X 4 < 3,5 T
- CAMION TOUTS CHEMINS 4 X 4 > 3,5 T
- CAMION TOUTS CHEMINS 6 X 4 - 6 X 6 - 8 X 6
- REMORQUE POUR TRANSPORT D'ENGINS
- SEMI-REMORQUE À BENNE
- SEMI-REMORQUE POUR TRANSPORT D'ENGINS
- VÉHICULE TRACTEUR DE SEMI-REMORQUE 4 X 4
- VÉHICULE TRACTEUR DE SEMI-REMORQUE 6 X 4 - 6 X 6

MATÉRIEL DE LEVAGE ET DE MANUTENTION

- ASCENSEUR MIXTE (MATÉRIAUX ET PERSONNEL)
- CHARIOT ÉLÉVATEUR DE CHANTIER À PORTÉE FIXE
- CHARIOT ÉLÉVATEUR DE CHANTIER À PORTÉE VARIABLE

- ÉLÉVATEUR HYDRAULIQUE À NACELLE
- GRUE AUTOMOTRICE SUR PNEUMATIQUES
- GRUE AUXILIAIRE DE VÉHICULE
- GRUE ROUTIÈRE
- GRUE SUR CHENILLES
- GRUE À TOUR (MONTAGE PAR ÉLÉMENTS)
- GRUE À TOUR (DÉPLIAGE AUTOMONTABLE)
- PLATE-FORME ÉLÉVATRICE

MATÉRIEL POUR LA CONSTRUCTION ET L'ENTRETIEN DES ROUTES

- ALIMENTATEUR DE FINISSEUR
- BALAYEUSE PORTÉE OU SEMI-PORTÉE
- BALAYEUSE RAMASSEUSE AUTOMOTRICE
- BALAYEUSE TRACTÉE
- CITERNE MOBILE DE STOCKAGE ET DE CHAUFFAGE DES LIANTS
- COMPACTEUR AUTOMOTEUR À PIEDS DAMEURS
- COMPACTEUR AUTOMOTEUR À PNEUS
- COMPACTEUR AUTOMOTEUR MIXTE
- COMPACTEUR STATIQUE AUTOMOTEUR TANDEM
- COMPACTEUR VIBRANT AUTOMOBILE, MONOCYLINDRE VIBRANT - LISSE ET PIEDS DAMEURS - LIGNE MOTRICE À 2 PNEUS
- COMPACTEUR VIBRANT AUTOMOTEUR TANDEM - 1 ET 2 CYLINDRES VIBRANTS
- COMPACTEUR VIBRANT, GUIDAGE À MAIN ET DUPLEX
- COMPACTEUR VIBRANT TRACTÉ, MONOCYLINDRE, LISSE OU PIEDS DAMEURS
- DÉPOUSSIÉREUR À TISSU FILTRANT
- DÉPOUSSIÉREUR À VOIE HUMIDE
- DOSEUR À PULVÉRULENTS
- ÉPANDEUR LATÉRAL (ÉLARGISSEUR DE ROUTE)
- FINISSEUR
- FRAISEUSE AUTOMOTRICE ET RETRAITEMENT DE CHAUSSÉES
- GRAVILLONNEUR AUTOMOTEUR
- GRAVILLONNEUR PORTÉ
- MACHINE À COULIS BITUMINEUX À FROID
- MACHINE POUR FABRICATION DE BORDURES ET CANIVEAUX
- MALAXEUR CONTINU À FROID
- MALAXEUR DISCONTINU D'ENROBAGE
- MATÉRIEL DE RÉPANDAGE ET GRAVILLONNAGE INTÉGRÉ
- PILONNEUSE
- PLAQUE VIBRANTE
- PULVÉRISATEUR MÉLANGEUR (RETRAIEMENT DE CHAUSSÉE)
- RÉPANDEUR DOSEUR DE PULVÉRULENTS
- RÉPANDEUSE DE LIANTS (ÉQUIPEMENT)
- SABLEUSE-SALEUSE
- SÉCHEUR
- TAMBOUR SÉCHEUR AVEC TAMBOUR ENROBEUR SÉPARÉ
- TAMBOUR SÉCHEUR ENROBEUR À CONTRE COURANT
- TAMBOUR SÉCHEUR ENROBEUR À FLUX PARALLÈLES
- TAMBOUR SÉCHEUR ENROBEUR À ENROBAGE SÉPARÉ DOUBLE TAMBOUR CONCENTRIQUE
- TRÉMIE DE STOCKAGE D'ENROBÉS
- TRÉMIE DE STOCKAGE DE PRODUITS STABILISÉS
- TRÉMIE PRÉDOSEUSE À GRANULATS
- VIBREUSE SURFACEUSE DE BÉTON À COFFRAGE GLISSANT (SLIP FORM PAVER)

MATÉRIEL DE CONCASSAGE - BROYAGE - CRIBLAGE

- ALIMENTATEUR À MOUVEMENT ALTERNATIF
- ALIMENTATEUR À TABLIER MÉTALLIQUE
- ALIMENTATEUR VIBRANT
- BROYEUR À BARRES
- BROYEUR À PERCUSSION À AXE VERTICAL
- BROYEUR À PERCUSSION À MARTEAUX
- CONCASSEUR À MÂCHOIRES
- CONCASSEUR À PERCUSSION À BATTOIRS
- CONCASSEUR À TAMBOUR DE FRAPPE
- CONCASSEUR GIRATOIRE (PRIMAIRE, SECONDAIRE)
- CONCASSEUR GIRATOIRE (SECONDAIRE, TERTIAIRE)
- CONCASSEUR MOBILE SUR CHENILLES
- CRIBLE VIBRANT
- DÉCANTEUR ÉGOUTTEUR À AUBES
- DÉTECTEUR DE MÉTAUX
- LAVEUR DÉBOURBEUR
- MALAXEUR À TAMBOUR
- POSTE D'ÉGOUTTAGE DES SABLES AVEC TRAITEMENT DES EAUX DE LAVAGE
- SÉPARATEUR EXTRACTEUR MAGNÉTIQUE
- TRANSPORTEUR, CRIBLEUR MOBILE À COURROIE (SAUTERELLE-CRIBLEUSE)
- TRANSPORTEUR MOBILE À COURROIE (SAUTERELLE)

MATÉRIEL POUR LA FABRICATION, LE TRANSPORT ET LA MISE EN PLACE DES BÉTONS, MORTIERS ET ENDUITS

- AUTOBÉTONNIÈRE
- BÉTONNIÈRE
- BÉTONNIÈRE PORTÉE (TRUCK MIXER)
- CENTRALE MOBILE ET SEMI-MOBILE
- COFFRAGE (BANCHE)
- DESSACHEUSE AUTOMATIQUE
- DRAGLINE
- ECHAFAUDAGE AUTO-ÉLÉVATEUR
- MACHINE À PROJETER LE BÉTON
- MALAXEUR À AXES HORIZONTAUX
- MALAXEUR À AXE VERTICAL
- POMPE À BÉTON DE CHANTIER
- POMPE À BÉTON SUR PORTEUR
- SIDE-BOOM : VOIR TRACTEUR SUR CHENILLES, POSEUR DE CANALISATIONS
- TAPIS DISTRIBUTEUR DE BÉTON
- TRANSPORTEUR À AIR COMPRIMÉ
- TRÉMIE AGITATRICE À BÉTON SIMPLE
- TRÉMIE AGITATRICE À BÉTON RELEVABLE

MATÉRIEL DE PRODUCTION, DE TRANSFORMATION ET DE DISTRIBUTION DE L'ÉNERGIE

- GROUPE ÉLECTROGÈNE À MOTEUR DIESEL
- POSTE MOBILE DE LIVRAISON TYPE EXTÉRIEUR
- POSTE MOBILE DE TRANSFORMATION TYPE EXTÉRIEUR
- TRANSFORMATEUR TRIPHASÉ POUR CABINE

BARAQUEMENTS

- BARAQUEMENT MÉTALLIQUE DÉMONTABLE
- BARAQUEMENT MOBILE DE CHANTIER

MATÉRIEL FLOTTANT ET MATÉRIEL DE PLONGÉE POUR TRAVAUX FLUVIAUX ET MARITIMES

- CHALAND MÉTALLIQUE AUTOMOTEUR
- DRAGUE À CUILLÈRE (DIPPER-DREDGE)
- DRAGUE À GODETS, STATIONNAIRE
- DRAGUE SUCEUSE PORTEUSE
- DRAGUE SUCEUSE REFOULEUSE STATIONNAIRE AVEC DÉSAGRÉGATEUR
- MOTO-PROPULSEUR AMOVIBLE
- PONTON MÉTALLIQUE DÉMONTABLE
- PONTON DE SERVITUDE
- REMORQUEUR

MATÉRIEL DE SONDAGE, FORAGE, FONDATIONS SPÉCIALES ET INJECTION

- BENNE POUR PAROIS MOULÉES
- DÉSABLEUR POUR BOUES
- FOREUSE TARIÈRE SUR PORTEUR
- FOREUSE TARIÈRE (MONTAGE SUR GRUE)
- FOREUSE TARIÈRE POUR POSE DE POTEAUX
- POMPE À BOUES
- POMPE POUR JET-GROUTING
- PRESSE D'INJECTION
- SONDEUSE DE RECONNAISSANCE ET FOREUSE EN ROTATION

MATÉRIEL SPÉCIAL POUR LA POSE DE CANALISATION

- CINTREUSE HYDRAULIQUE
- CLAMP INTÉRIEUR AVEC AVANCE AUTOMATIQUE
- FONCEUR À PERCUSSION, FUSÉE
- FONDOIR À BRAI
- FORAGE DIRIGÉ (INSTALLATION)
- FOREUSE HORIZONTALE À TARIÈRE
- GROUPE AUTONOME DE SOUDAGE
- MANDRIN DE CINTRAGE
- REMORQUE PORTE-TOURET
- TRACTEUR SUR CHENILLES POSEUR DE CANALISATIONS (PIPETAYER - SIDE-BOOM)
- TRANCHEUSE
- TREUIL À CABESTAN

MATÉRIEL POUR TRAVAUX SOUTERRAINS

- BERLINE
- CHARGEUSE À ACTION CONTINUE, À BRAS DE RAMASSAGE OU GODET
- CHARGEUSE SUR PNEUMATIQUES CHARGE ET ROULE, ARTICULÉE MOTEUR DIESEL
- ENGIN DE BOULONNAGE
- ENGIN DE FORATION
- ERECTEUR DE CINTRE
- FOREUSE ALÉSEUSE
- LOCOTRACTEUR DIESEL
- LOCOTRACTEUR ÉLECTRIQUE
- MACHINE D'ATTAQUE PONCTUELLE À FRAISE (RADIALE-TANGENTIELLE)
- MICROTUNNELIER
- ROBOT DE BÉTONNAGE
- TOMBREAU AUTOMOTEUR POUR TRAVAUX SOUTERRAINS
- TRANSPORTEUR MALAXEUR
- TRÉMIE DE STOCKAGE DE DÉBLAIS
- TUNNELIER
- WAGON AUTOREMPLISSEUR ENCASTRABLE

De loin, le loueur le plus proche



LOXAM - SAS au capital de 258 222 030 € - RCS Lorient 450 776 968 - Siège social : 256 rue Nicolas Costantini - 56850 CAUDAN

Loueurs de France, Locarest et Laho Equipement s'unissent sous la marque Loxam pour créer un réseau encore plus performant.
500 agences en France, c'est plus de proximité, plus de choix et plus de services.



www.loxam.fr

LOXAM

N°1 de la location de matériel



BUILD ON US

www.soletanche-bachy.com

→ 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.



Réhabilitation Emissaire Sud 2^e Branche (SIAAP) | FRANCE |



SOLETANCHE BACHY