



1

© STUDIO DRM PRODUCTION ALEXANDRE NOTTIN

# TUNNEL DE LA NERTHE À MARSEILLE

AUTEURS : THOMAS KAYSER, INGÉNIEUR TRAVAUX, SOLETANCHE BACHY FRANCE - PIERRE POGGI, INGÉNIEUR ÉTUDES TUNNELS, SNCF RÉSEAU - FRANCESCO CHILLE, RESPONSABLE DIVISION TUNNELS GÉOTECHNIQUE, SNCF RÉSEAU

**L'OPÉRATION DE RÉGÉNÉRATION DU TUNNEL FERROVIAIRE DE LA NERTHE, RÉALISÉE EN 2020 PAR LE GROUPEMENT SOLETANCHE BACHY FRANCE/FREYSSINET/ETF, S'INSCRIT DANS UN PROGRAMME GLOBAL DE TRAVAUX VISANT À RENFORCER LES ZONES LES PLUS SENSIBLES OU LES PLUS DÉGRADÉES DU TUNNEL. CES TRAVAUX REPRÉSENTENT UN LINÉAIRE DE 384 m.**

## DESCRIPTION

Le tunnel de la Nerthe est situé sur la ligne Paris à Marseille (figure 2), entre la gare de Pas-des-Lanciers et celle de l'Estaque. Il traverse les communes des Pennes-Mirabeau et de Marseille. Il s'agit d'un ouvrage exploité en double voie électrifiée. Les principales caractéristiques du tunnel sont :

- Longueur : 4638 m.
- Géométrie : La section est constituée par une voûte elliptique à grand axe vertical reposant sur des piédroits courbes.

→ Revêtement : À la construction, l'ouvrage n'était pas revêtu sur 869 m répartis en 10 tronçons. Ailleurs, le revêtement était constitué de maçonnerie de briques en voûte, et de maçonnerie de moellons assisés ou de maçonnerie de briques en piédroit (figure 3).

→ Radier : Un radier supposé maçonné existe dans les parties où la voûte et les piédroits sont revêtus depuis la construction.

→ Drainage : L'évacuation des eaux se fait par un aqueduc central.

**1- Réalisation d'un forage pour ancrage.**

**1- Execution of anchorage drilling.**

→ Géologie : Le tunnel traverse des marnes à niveaux gypseux et le calcaire du Crétacé des PM 0 à 1930, puis des terrains marno-calcaires dolomitiques du Jurassique, des PM 1930 à 4638.

## ÉTAT DU TUNNEL ET PROGRAMMATION TRAVAUX

Les avaries principales relevées sur le revêtement du tunnel de La Nerthe concernent les maçonneries de briques, ainsi que les zones non revêtues.

Les maçonneries de briques présentent des sons creux, des écaillages parfois profonds associés à des fissures biaises, des irrégularités géométriques, et de l'exfoliation. Ces désordres, principalement liés au vieillissement des matériaux, sont accélérés par la pré-



© SNCF  
2

sence d'eau et évoluent de manière assez lente, mais régulière. L'écaillage peut aussi être accentué par la présence d'argiles gonflantes dans le proche encaissant. D'autres part, les zones non revêtues présentent, elles aussi, leur lot d'avaries, avec notamment des diaclases, de la desquamation, des déconsolidations progressives au niveau des failles biaises, ainsi que l'existence de cavités d'origine karstique au droit desquelles des dièdres rocheux sont susceptibles de se détacher.

**2- Positionnement du tunnel.**  
**3- Coupes théorique d'origine des revêtements en maçonnerie du tunnel.**

**2- Tunnel location.**  
**3- Original theoretical cross sections of tunnel masonry linings.**

Les expertises réalisées et la caractérisation des pathologies affectant le tunnel ont permis à SNCF Réseau de définir la nature des travaux de confortement à prévoir. Dès lors, un programme de régénération en plusieurs phases a été établi pour traiter les zones de maçonnerie de brique, ainsi que les zones non revêtues impactées :

- "La Nerthe A" : travaux réalisés en 2011 sur un linéaire de 239 m ;
- "La Nerthe B" : travaux réalisés en 2016 et 2017 sur un linéaire de 727 m ;

- "La Nerthe C" tranche 1 : travaux réalisés en 2020 sur un linéaire de 384 m ;
- "La Nerthe C" tranche 2 : travaux réalisés en 2021, 2022 et 2023 (en cours) sur un linéaire de 703 m.

Au-delà de cette planification, la fin des opérations de confortement est prévue sur une troisième décennie (2027 à 2036).

**CONCEPTION DES TRAVAUX**

Dans le détail, 4 typologies de travaux ont donc été définies en fonction des configurations rencontrées. Ces 4 typologies sont décrites ci-dessous :

**TRAVAUX TYPE A**

Le traitement type A (figure 4) concerne le chemisage en surépaisseur des zones dont le revêtement est constitué entièrement de briques. Ces zones seront confortées sur tout le développé par une coque en béton projeté RIG (Résistance Initiale Garantie) armée d'un treillis soudé de 10 cm d'épaisseur. Les enduits d'étanchéité existants en voûte seront préalablement abattus ou fraisés afin d'assurer une accroche pour la future coque.

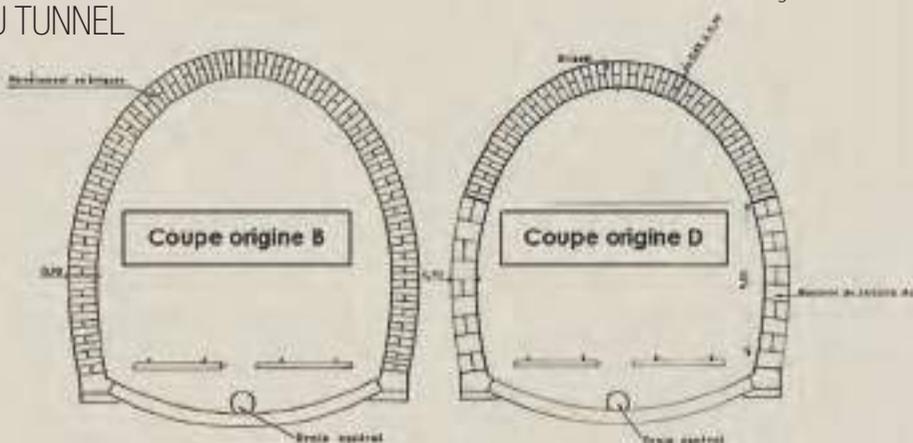
**TRAVAUX TYPE B**

Le deuxième type de traitement (figure 5) concerne les zones de briques sur tout le développé où la coque nécessite d'être engravée faute de marges suffisantes. Le chemisage sera associé à des ancrages de soutènement et des ancrages d'armatures, ainsi qu'à un confinement préalable en béton projeté RIG de la clé de voûte. Le rescindement se fera par plots alternés de 1,50 m de large, à raison d'1 plot sur 4. En principe, la profondeur de rescindement sera de 14 cm maximum pour les plots de type B. La couche finale sera réalisée de la même manière que pour le traitement en surépaisseur, c'est-à-dire sur l'ensemble du développé.

**TRAVAUX TYPE C**

Le troisième type de traitement (figure 6) concerne l'ensemble des zones de maçonneries de briques situées en voûte, avec des piédroits en moellons. Il consiste en un chemisage en béton projeté RIG armé d'un treillis soudé, en surépaisseur en voûte (ép. maximale = 20 cm en génératrice 0) et engravé au niveau de son assise sur la maçonnerie de moellons constituant les piédroits.

**COUPES THÉORIQUE D'ORIGINE DES REVÊTEMENTS EN MAÇONNERIE DU TUNNEL**



© SNCF  
3

**4- Coupe de coque type A.**  
**5- Coupe de coque type B.**

**4- Shell cross section, type A.**  
**5- Shell cross section, type B.**

Les enduits d'étanchéité existants en voûte seront préalablement abattus ou fraisés afin d'assurer une accroche pour la future coque.

Le chemisage sera associé à des ancrages de soutènement et des ancrages d'armatures, ainsi qu'à un confinement préalable en BP RIG de la clé de voûte.

Les rescindements des reins de l'ouvrage seront réalisés par plots de 1,50 m de largeur, alternés à raison de 1 plot sur 4.

**TRAVAUX TYPE D**

Le quatrième type de traitement (figure 7) concerne les zones non revêtues. Elles seront chemisées sur tout le développé par une coque en béton projeté RIG fibré de 8 cm sur pointe (10 cm d'épaisseur moyenne).

**CONTRAINTES D'EXÉCUTION**  
**HORAIRES DE TRAVAIL**

La SNCF a décidé de ne pas fermer le tunnel durant les travaux. De ce fait, les travaux sont réalisés de nuit, sous interception des circulations et coupure caténaire de 0h15 à 4h30 (5 nuits par semaine). Il est à noter que les travaux étant répartis sur l'ensemble des 4,6 km du tunnel, le train-travaux doit se découper en plusieurs ateliers.

Les missions de préparation des trains-travaux au niveau de la base-arrière sont réalisées de jour.

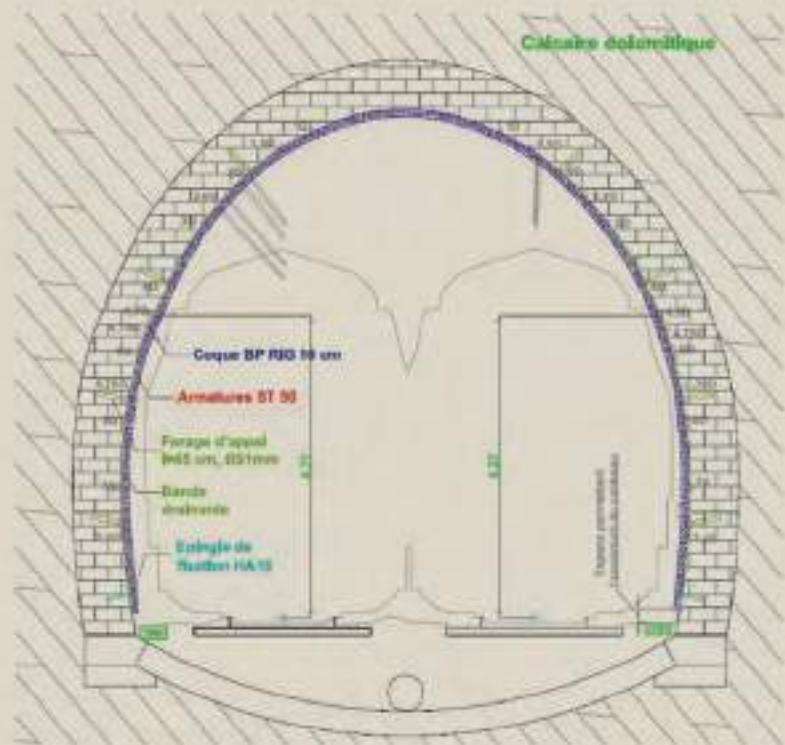
**TRAVAUX EN MILIEU CONFINÉ**

L'activité d'un chantier génère des polluants. Pour la santé des personnes travaillant sur le chantier, il faut donc s'assurer de conserver une bonne qualité de l'air dans le tunnel.

**GAZ TOXIQUE**

Afin de limiter au maximum la pollution, l'entreprise a privilégié l'utilisation d'engins et matériels électriques ou équipés de système "Start&stop". Chaque poste de travail est équipé d'une balise de détection de gaz afin de vérifier que la concentration en gaz reste conforme aux exigences réglementaires.

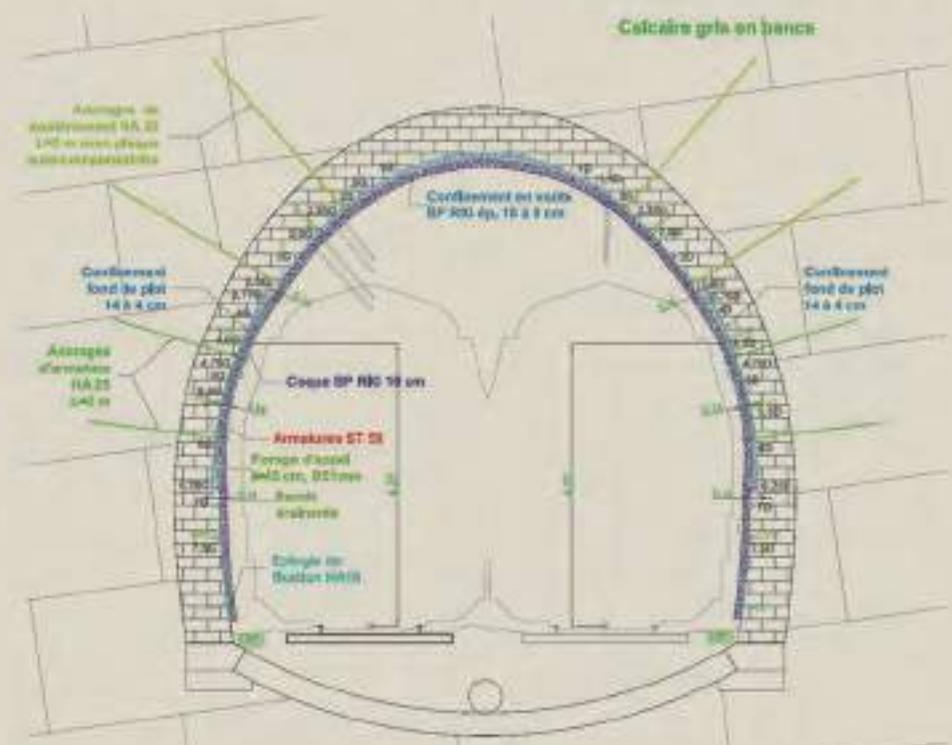
COUPE DE COQUE **TYPE A**



4

© SNCF

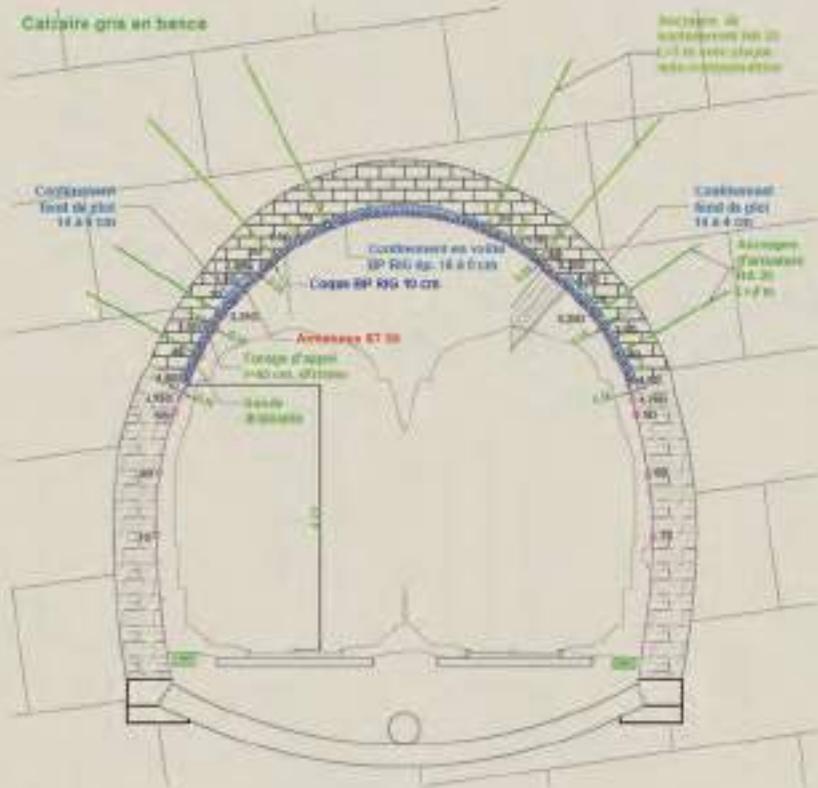
COUPE DE COQUE **TYPE B**



5

© SNCF

## COUPE DE COQUE TYPE C



6- Coupe de coque type C.  
7- Coupe de coque type D.

6- Shell cross section, type C.  
7- Shell cross section, type D.

### VENTILATION

Une étude de ventilation a été réalisée, afin de dimensionner le dispositif à mettre en place. Dans le cadre du projet, celui-ci est composé de 3 accélérateurs. Ces accélérateurs, installés sur le train travaux, sont répartis au niveau des différents ateliers.

### POUSSIÈRES

Dans le cadre de nos travaux, on a choisi les méthodes générant le minimum de poussière : forages et découpes à l'eau notamment. Les travaux de béton projeté par voie sèche génèrent, du fait de la méthode d'exécution, beaucoup de poussière. Afin de limiter et contenir les poussières, le béton a été projeté à l'intérieur de containers de confinement constitués d'un système de murs gonflables.

### GABARIT FERROVIAIRE

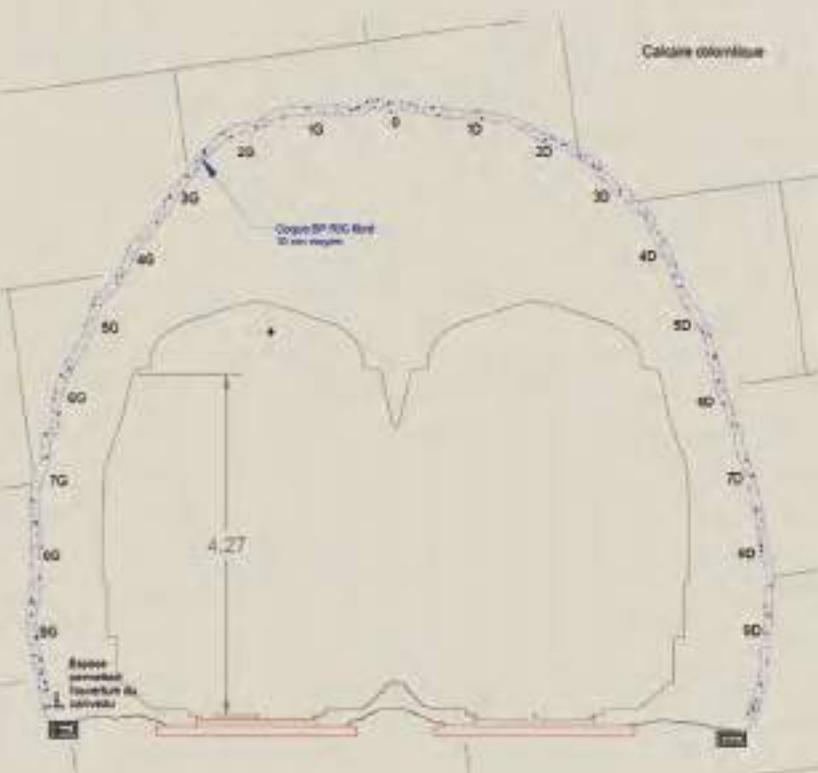
Le tunnel étant réouvert à la circulation ferroviaire chaque matin, le contrôle de dégagement des gabarits est indispensable. Le contrôle durant le chantier est réalisé en fin de poste via le passage d'un mannequin disposé sur un lorry manuel (figure 8).

### SÉCURITÉ

Compte tenu de la nature des travaux et de la longueur du tunnel, différentes procédures ont été mises en place afin d'assurer la sécurité des différents intervenants :

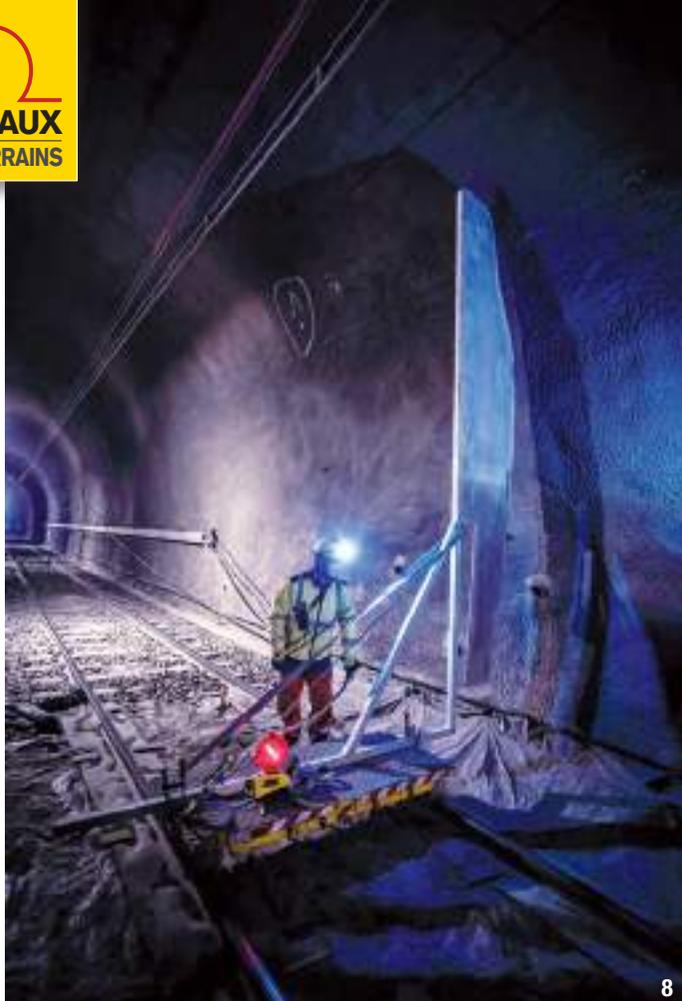
- Afin de connaître à chaque moment le nombre de personne se trouvant dans le tunnel, un système de comptage automatique a été mis en place. Chaque personne est équipée d'un casque personnel dans lequel est installée une puce ;
- Pour que l'ensemble des interlocuteurs du chantier puissent communiquer, un système radio avec relais a été mis en place ;
- Au démarrage des travaux, a été réalisé un test d'évacuation du tunnel grandeur nature afin de familiariser les équipes aux procédures d'urgence et de fiabiliser le matériel de comptage notamment.

## COUPE DE COQUE TYPE D



© SNCF  
6

© SNCF  
7



8

© STUDIO DRM PRODUCTION ALEXANDRE NOTTIN



9

© STUDIO DRM PRODUCTION ALEXANDRE NOTTIN

À noter que des masques auto-sauveurs, permettant d'évacuer, sont mis à disposition de l'ensemble des intervenants.

## ORGANISATION DES TRAVAUX LE TRAIN TRAVAUX

Les travaux sont réalisés à partir d'un train travaux sur lequel tout le matériel de chantier est embarqué (engins de décapage, de forage, machines à projeter, échafaudages, containers, groupes électrogènes, ...).

L'élaboration du planning a montré que, par moment, il était nécessaire d'avoir 5 ateliers sur train-travaux travaillant simultanément dans le tunnel.

Pour certains travaux, des engins rail-route, type pelle ou nacelle, ont été utilisés. Ces engins sont bien plus mobiles et permettent donc de passer de zone en zone plus facilement.

## LOGISTIQUE BASE ARRIÈRE

Le train travaux est engagé à partir de la gare de Pas-des-Lanciers où se situe la base de travaux. Elle est située à 1,5 km de la tête Nord du tunnel.

La base travaux permet l'approvisionnement des matériaux et l'évacuation des produits de démolition et des pertes de béton projeté.

## DESRIPTIF DES PRINCIPALES TÂCHES RÉALISÉES TRAVAUX PRÉPARATOIRES

Avant le démarrage du chantier, une protection de plate-forme a été instal-

lée, afin de maintenir la propreté du ballast, sous forme d'un feutre géotextile sur toute la largeur de la plate-forme, y compris les carneaux de câbles latéraux.

Les chemins de câbles de sécurisation, des câbles de fibre optique, des luminaires, des plaques signalétiques, des boîtes de dérivation, des coffrets de prises électriques et des générateurs dédiés aux pompiers, ont aussi été protégés quand ils ne gênaient pas la réalisation des travaux.

Dans les autres zones travaux, où le chemisage en béton était amené à recouvrir également les piédroits, il était nécessaire de déposer préalablement tous les équipements présents sur le parement et de les reposer provisoirement.

Les caténaires ont également fait l'objet de protections particulières durant les travaux. Celles-ci étaient de deux types : permanentes et provisoires (mises en place et déposées à chaque intervention).

## DÉCAPAGE

Un décapage du parement a été réalisé sur toutes les surfaces à recouvrir directement en béton projeté, afin de permettre l'adhérence du béton au parement.

Le décapage (figure 9) a été réalisé par projection de masse fondue de verre de silicate d'aluminium.

Les retombées ont ensuite été ramassées manuellement, afin d'être évacuées du tunnel.

## 8- Contrôle de gabarit. 9- Décapage.

## 8- Clearance check. 9- Descaling.

## ANCRAGES

Dans certaines zones, le chemisage par coque a été associé à des ancrages des soutènements et des armatures.

Ces ancrages n'ont été réalisés que dans les zones où des rescindements sont nécessaires, afin de conforter les parements en briques avant réalisation des rescindements.

Les ancrages de soutènement sont constitués de barres filetées, diamètre 25 mm, scellées sur toute leur longueur (3 m). Chaque barre est boulonnée à son extrémité libre à une plaque auto compensatrice.

Les ancrages d'armature sont constitués de barres HA25 de longueur 2 m scellées sur toute leur longueur. Les barres seront effacées dans les trous de forage de la valeur des rescindements à réaliser.

Les forages de diamètre 51 mm ont été réalisés avec des robots de galerie embarqués sur le train travaux (figure 1) ou une pelle rail-route.

## RESCINDEMENT PAR PLOT

Dans les zones où la coque ne pouvait s'inscrire en surépaisseur vis-à-vis

du gabarit de circulation des trains, ou lorsque la coque était positionnée au-dessus des piédroits en moellons, la maçonnerie a été rescindée en rein sur 14 cm de profondeur.

Afin de maîtriser les risques d'effondrement du parement du tunnel, les travaux de rescindement ont été réalisés par plot, après les ancrages de soutènement et la mise en œuvre d'une couche de BP RIG de 5 cm au niveau de la calotte de voûte.

Pour des raisons de sécurité, les opérations de rescindement ou de sciage ne pouvaient être entreprises simultanément sur les 2 voies en face à face.

Les travaux de rescindement ont été réalisés par plots alternés de 1,5 m, à raison d'1 plot sur 4.

L'abattage des maçonneries (figure 10) a été réalisé grâce à un robot de démolition télécommandé disposé sur le train travaux.

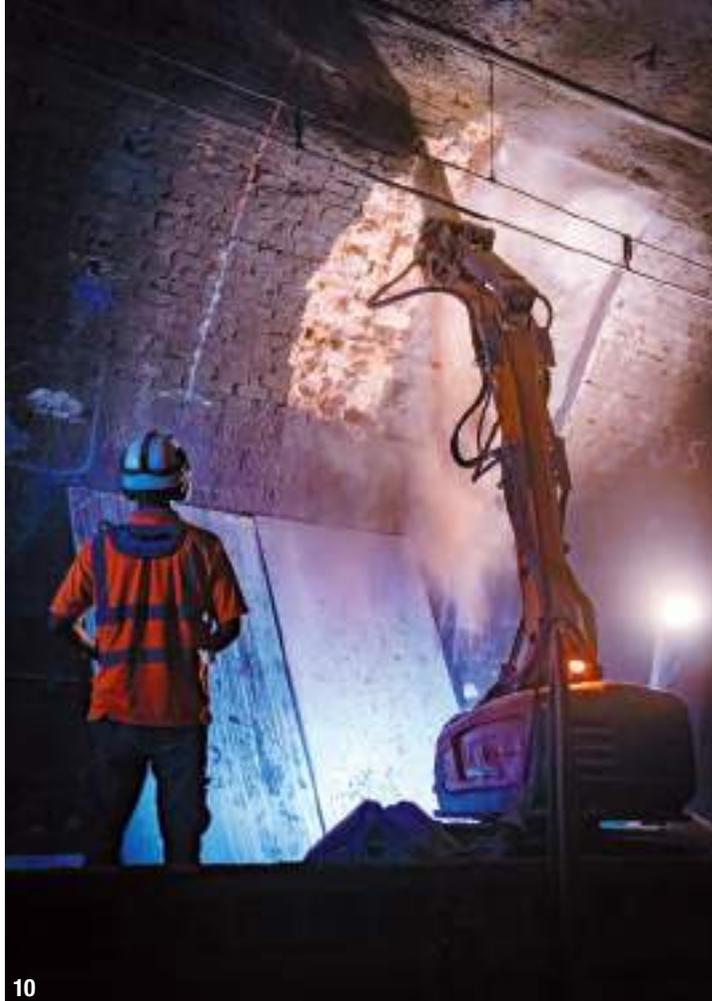
Après démolition, un confinement en béton projeté a été réalisé, afin de stabiliser le fond de fouille et de combler les hors-profilés.

Tout plot de rescindement débuté lors d'un poste de travail devait impérativement être terminé avant la fin dudit poste.

## BÉTON PROJETÉ RIG

### (Résistance Initiale Garantie)

Il s'agissait de réaliser, en continu, un revêtement en béton projeté de 10 cm d'épaisseur armé de treillis soudé ou fibré dans les zones type D sur tout le développé du parement, jusqu'au-des-



10

© STUDIO DRM PRODUCTION ALEXANDRE NOTTIN

sus des caniveaux à câbles latéraux en dégageant une hauteur suffisante pour permettre leur ouverture. La SNCF impose l'utilisation d'un béton projeté voie sèche figurant sur la liste d'aptitude des bétons RIG SNCF Réseau prêts à l'emploi pour la maintenance des tunnels ferroviaires en exploitation. Il s'agit d'un béton à résistance initiale garantie de

**10- Démolition d'un plot.**

**11- Béton projeté en piédroit.**

**10- Demolition of a section.**

**11- Shotcrete on side wall.**

## PRINCIPALES QUANTITÉS

**PROTECTION DE PLATEFORME : 4 900 m<sup>2</sup>**

**DÉCAPAGE : 6 170 m<sup>2</sup>**

**FORAGE D'ANCRAGES : 2 133 m (800 ancrages)**

**SCIAGE POUR PLOT DE RESCINDEMENT : 450 m**

**RESCINDEMENT + CONFINEMENT : 560 m<sup>2</sup>**

**POSE DE TREILLIS SOUDÉ : 4 420 m<sup>2</sup>**

**BÉTON PROJETÉ RIG : 6 170 m<sup>2</sup>**



11

© STUDIO DRM PRODUCTION ALEXANDRE NOTTIN

classe C 30/37 XA1 selon la norme NF EN 206-CN.

Ce béton permet de garantir que le béton atteint un minimum de résistance lors des premières circula-

tions commerciales dans le tunnel. Les travaux de projection ont été réalisés depuis les voies pour les piédroits (figure 11) et depuis le train travaux pour les reins et voûte. □

## PRINCIPAUX INTERVENANTS

### GROUPEMENT D'ENTREPRISES :

- **Entreprise Mandataire : Soletanche Bachy France**
- **Co-traitant : Freyssinet**
- **Co-traitant : Etf**

### MAÎTRE D'OUVRAGE :

**SNCF Réseau - DGII - DZI SE - Agence PACA MOAOP**

### MAÎTRE D'ŒUVRE GÉNÉRAL :

**SNCF Réseau - DGII - DZI SE - Agence PACA MOAOP**

### MAÎTRE D'ŒUVRE ÉTUDES :

**SNCF Réseau - DZI SE - PRI MR OA et DGII OA TuG1**

### MAÎTRE D'ŒUVRE TRAVAUX : INFRAPOLE PACA URT

**CSPS : Présents SA - Agence Paca Languedoc**

## ABSTRACT

### LA NERTHE TUNNEL IN MARSEILLE

THOMAS KAYSER, SOLETANCHE BACHY FRANCE - PIERRE POGGI, SNCF RÉSEAU - FRANCESCO CHILLE, SNCF RÉSEAU

**The renovation project for the La Nerthe rail tunnel, carried out in 2020 by a consortium formed by Soletanche Bachy France, Freyssinet and Etf, forms part of an overall works programme designed to strengthen the most sensitive or damaged areas of the tunnel. The works were performed over a length of 384 metres. Numerous techniques were employed: descaling, anchoring, sawing for demolition, demolition work, "RIG" shotcrete (initial strength guaranteed). The works are performed from a work train on which all the site equipment is loaded. □**

### TÚNEL DE LA NERTHE EN MARSELLA

THOMAS KAYSER, SOLETANCHE BACHY FRANCE - PIERRE POGGI, SNCF RÉSEAU - FRANCESCO CHILLE, SNCF RÉSEAU

**La operación de regeneración del túnel ferroviario de La Nerthe, realizada en 2020 por el consorcio Soletanche Bachy France / Freyssinet / Etf, se inscribe en un programa global de obras que pretende reforzar las zonas más sensibles o más deterioradas del túnel a lo largo de 384 m. Se han utilizado numerosas técnicas: decapado, anclajes, aserrado para rectificaciones, rectificaciones, hormigón proyectado RIG (Resistencia Inicial Garantizada). Las obras se llevan a cabo desde un tren de trabajo que transporta todo el material de obra. □**