



Photo 1 - Vue de la tête Aval du tunnel de Thoraise rénové

# Rénovation du tunnel fluvial de Thoraise

Nataliya DIAS, Jacques TRICLOT, EGIS Tunnels  
Bernard BIZON, BEC Frères  
Fabrice COL, Paul VAN DER ZWAAG, Gascogne Génie Civil

## Résumé :

Cet article présente les travaux de renforcement et de réhabilitation du tunnel fluvial de Thoraise. L'ouvrage datant du milieu du XIX<sup>e</sup> siècle dans un contexte géotechnique délicats (fontis historiques importants, faible couverture aux têtes, présence de galerie de toit non remblayée) a nécessité une consolidation systématique. Les travaux ont été menés dans le respect des contraintes de coûts, de délais et d'environnement en vidant le bief, ce qui a permis de réaliser les travaux confortatifs pendant la courte période de chômage hivernale.

## Abstract:

This article presents the reinforcement and rehabilitation work on the Thoraise river tunnel. The project which dates back to the middle of the nineteenth century, within a delicate geotechnics context (major historical cave-ins, slight head coverings, presence of roof gallery which was not backfilled) has required a systematic consolidation. The work has been carried out in compliance with the cost constraints, deadlines and the environment by emptying a section of the canal, which has enabled the corroborative work to be carried out during the short period of inactivity during the winter.

## PREFACE

Le tunnel de Thoraise, situé sur la commune de Thoraise dans le département du Doubs, est un ouvrage fluvial existant depuis plus d'un siècle de longueur modeste mais du point de vue de la rénovation assez délicat. En effet, plusieurs contraintes sont présentes : le fait qu'il soit un tunnel fluvial, les délais serrés de réalisation pendant la période de chômage du bief, et la présence de deux fontis en surface et des karsts.

Les études et la maîtrise d'œuvre partielle de cet ouvrage ont été confiées à Egis Tunnels par Voies Navigables de France (VNF).

Après appel d'offres restreint, l'entreprise BEC Frères a été retenue pour les travaux de rénovation du tunnel de Thoraise.

La réussite de cette opération menée dans le respect des coûts, des délais et de la sécurité des personnels, est à mettre à l'actif de la haute technicité de l'entreprise BEC Frères, du maître d'Ouvrage VNF et EGIS Tunnel avec l'assistance de la société Gascogne Génie Civil.

L'article qui suit en présente les principaux enseignements.

## 1 - CONTEXTE GÉNÉRAL DU PROJET

Le tunnel fluvial de Thoraise a été construit au début du 19<sup>ème</sup> siècle. Il se situe sur la commune de Thoraise dans le département du Doubs (Figure 1). Il relie les deux bras du Doubs par un canal, permettant le passage à la fois des bateaux de gabarit

Freyssinet (péniches de longueur de 38,5 m et de largeur 5,05 m) et des piétons.

Dans le contexte de développement durable et d'aménagement touristique de l'environnement du Doubs, VNF a décidé de rénover le tunnel fluvial de Thoraise dans le but à la fois de sécuriser le tunnel et de le rendre plus attractif du point de vue architectural.



Figure 1 - Plan de situation



### 2 - CARACTÉRISTIQUES DE L'OUVRAGE

La longueur totale de l'ouvrage est de 185 m. La couverture varie entre 2 m et 20 m. Prévu initialement non revêtu, après un effondrement lors de la construction, le tunnel a été finalement revêtu sur le reste de sa longueur.

La partie non revêtue d'une longueur de 29 m est très fracturée et caractérisée par la présence de karsts importants en clé de voûte et en piedroit.

La partie revêtue, de longueur 155 m, est constituée de moellons calcaires. L'épaisseur moyenne est environ de 0,5 m. Plusieurs zones sont altérées avec des signes d'exfoliation.

Les caractéristiques géométriques du profil en traves dans la partie revêtue du souterrain sont (photo 1) :

- rayon unique : 3,50 m sur piédroits ;
- largeur entre piédroit : ~7 m ;
- passe navigable : 6 m ;
- largeur du chemin de halage : ~0,90 m ;

### 3 - CONTEXTE GÉOLOGIQUE

Le tunnel a été creusé dans les calcaires du Bajocien supérieur, composé de bancs subhorizontaux présentant un pendage vers le Nord. Dans la partie non revêtue le calcaire est caractérisé par la présence de karsts très développés situés en voûte dans l'axe du tunnel. Les données de l'archive départementale nous renseignent sur les difficultés survenues lors du creusement. Côté aval, après le creusement d'une trentaine de mètres (dans la partie maçonnée), un effondrement s'est produit jusqu'à la surface créant un fontis sur une longueur de 10 m environ.

Cet effondrement correspond à la doline observée en surface à proximité de la route départementale.

Entre le PM 110 et le PM 125 (Photo 1), la coupe longitudinale montre des zones karstiques composées de plusieurs conduits débouchant en surface, cependant, grâce à une couverture importante en clé, l'ouvrage n'est pas impacté.

#### 3.1 - Tête Aval

La tête Aval n'est pas revêtue, elle est caractérisée par une très faible couverture (entre 1 et 2 m) et par la route départementale RN 107 passant à quelques mètres au-dessus de la clé de voûte.

La partie rocheuse côté droit est protégée par un grillage sur toute sa hauteur.



Photo 2 - Tête Aval

#### 3.2 - Tête Amont

La tête Amont est réalisée en revêtement en maçonnerie d'origine. Le revêtement est partiellement dégradé par le cycle de gel/dégel. Au-dessus de la clé de voûte du tunnel, il existe une galerie d'une trentaine de mètres de longueur et de 1,5 mètre de hauteur, elle a probablement été creusée en même temps que le tunnel.

Le massif autour de la tête Amont est très fracturé et nécessite une sécurisation. La hauteur de couverture est comprise entre 15 et 20 m.



Photo 3 - Tête Amont

### 4 - DIAGNOSTICS ET TRAVAUX RÉALISÉS DANS LE PASSÉ

Plusieurs diagnostics et inspections détaillées ont été réalisés :

- en 1987 et 1997 par le CETU ;
- en 2000 par groupement ISL (Eurodif-ISL-Coyne et Bellier) ;

A l'issue de ces études, deux solutions de rénovation ont été proposées :

- réparations localisées consistant en une rénovation partielle des zones dégradées ;
- réparation globale consistant en la mise en œuvre d'un revêtement en béton coffré ou en béton projeté et des boulons d'ancrage sur toute la longueur du tunnel.

### 5 - CONTRAINTES DE RÉALISATION

Intégré dans le réseau de transport fluvial régional, les travaux devaient se réaliser pendant la période de chômage du bief.

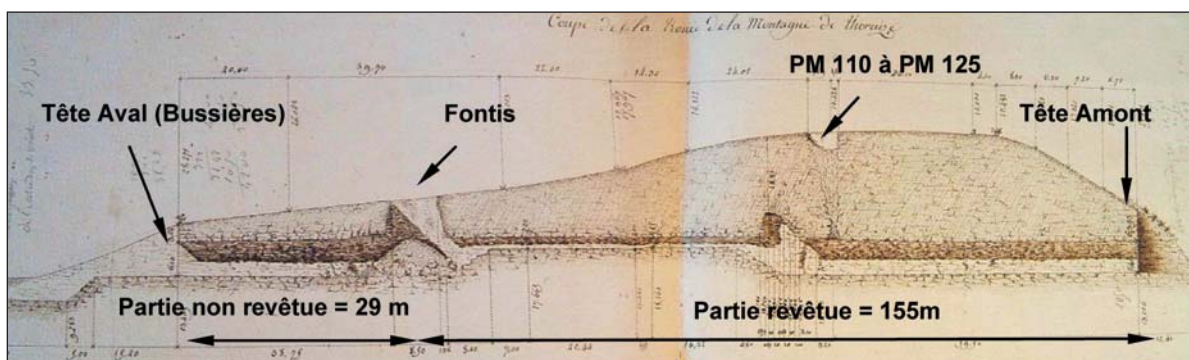


Photo 1 - Coupe longitudinale (archive départementale, 1855)

Il en est résulté deux contraintes fortes :

- une durée d'intervention de 3 mois y compris vidange, travaux préparatoires et remise en état.
- une période de chômage de l'ouvrage allant de janvier 2007 à début avril imposant des conditions de réalisation hivernales.

### 5.1 - Organisation de l'intervention

Les travaux de rénovation pouvaient être effectués selon deux organisations possibles :

- soit à partir des barges ;  
Les travaux sont limités strictement à la période de chômage, ce qui permet de s'affranchir de la navigation fluviale et vider complètement le bief, cependant la période de chômage est très limitée avec des contraintes de réalisation très fortes.
- soit sur le fond du canal (avec vidange du bief) ;  
La période d'intervention peut être décalée ou prolongée hors période de chômage en période climatique plus favorable. Cependant, dans ces créneaux, les travaux seront réalisés sous la circulation fluviale, par conséquent l'organisation de la logistique des périodes d'interventions doit être assurée par VNF.

A la demande du maître d'œuvre, une vidange du bief préalable a permis d'apprécier la qualité du fond de canal permettant ainsi de confirmer la faisabilité de la seconde solution.

En parallèle, l'analyse multicritère a permis de comparer les deux organisations possibles des travaux.

A l'issue de cette démarche, la solution avec vidange du bief de Thoraise a alors été retenue puisque présentant les avantages suivants :

- possibilité de mobilisation de moyens spécifiques permettant un meilleur rendement.
- logistique plus souple.
- optimisation de la qualité de réalisation du traitement en piédroit en particulier.
- respect de l'environnement par une gestion des pertes et des impacts de chantier.

### 5.2. Choix de la méthode de réalisation

Après avoir envisagé les méthodes possibles de réalisation (coques minces, revêtements en béton coffré...) la mise en œuvre

d'une coque continue en béton projeté a été retenue. Le choix a été essentiellement lié à la contrainte de gabarit de Freyssinet à respecter dans l'ouvrage.

Cependant, cette solution ne permet pas totalement d'étancher le tunnel. Des drains et barbacanes ont été prévus pour aider partiellement à recueillir les écoulements gravitaires et les conduire à la base des piédroits vers le canal.

L'entreprise, après analyse des contraintes et en particulier des délais, a choisi la mise en œuvre de béton projeté par voie mouillée ce qui a permis le respect des délais et des conditions de travail.

## 6 - MÉTHODE DE RÉNOVATION RETENUE

D'après la comparaison des différents critères, la solution en béton projeté avec la vidange complète du bief a été retenue par le Maître d'Ouvrage en tant que solution optimale en terme de délais et de coût.

## 7 - DÉTERMINATION DES TYPES DE SOUTÈNEMENT

### 7.1. Partie revêtue

Dans la partie revêtue les 3 types de soutènement ont été retenus, ils sont adaptés aux trois zones de dégradation identifiées. Les premiers deux profils sont composés

de boulons d'ancrage (HA Ø25, 3m de long), de treillis soudés (ST 40C) et de béton projeté ; l'épaisseur de béton et la densité des boulons varient selon le profil.

Le troisième profil a été spécialement adapté aux deux zones de fontis, les points sensibles du point de vue de la stabilité de l'ouvrage. A partir des investigations topographiques et géotechniques réalisées, les hypothèses suivantes ont été prises en compte (concernant le fontis côté Aval) :

- le fontis s'est produit lors de la construction jusqu'à la surface (d'après les archives départementales) ;
- la couverture en clé du tunnel est composée essentiellement de matériaux de remplissage et de sédiments. La couverture minimale est de 1,7 m.
- la voûte en maçonnerie repose sur l'assise en calcaire ou sur des matériaux compacts.

Le calcul aux éléments finis à l'aide du logiciel Robobat a été réalisé pour vérifier la stabilité actuelle de la voûte et dimensionner le soutènement nécessaire.

Pour le troisième profil, nous avons choisi de créer une coque rigide en voûte par la mise en place de l'acier permettant de renforcer la maçonnerie existante et d'augmenter la rigidité de l'ensemble en s'appuyant sur le calcaire des piédroits. La voûte en maçonnerie a été renforcée par les barres d'acier de longueur de 50-70 cm à raison de 4 HA12 /m<sup>2</sup>. Les piédroits sont boulonnés et l'ensemble est recouvert par le treillis soudé et le béton projeté.

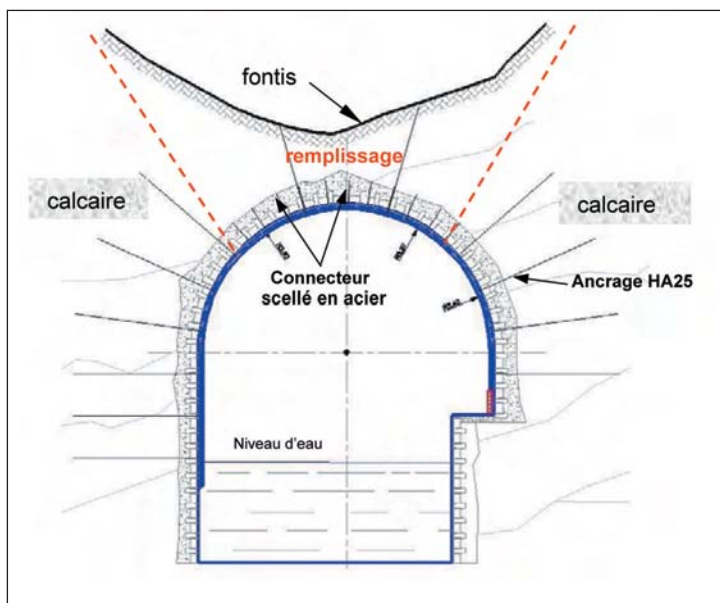


Figure 2  
Coupe type N°3



### 7.2 - Partie non revêtue

Avant de réaliser le revêtement total de la partie non revêtue les zones de karsts devaient être traitées. Au droit des karsts le maillage d'ancrage a été adapté à la géométrie des cavités rencontrées de façon à assurer une fixation correcte du support de béton projeté. Après la mise en œuvre des clouages au niveau des karsts, des nappes de grillage ont été fixées sur les têtes d'ancrage, suivie d'une couche de 10 cm minimum de béton projeté. Cela servait de coffrage au comblement des karsts par l'injection à l'aide d'un coulis de ciment en basse pression par paliers.

La partie non revêtue de l'ouvrage est traitée par un soutènement lourd composé de boulons systématiques, de treillis soudés et de 2 couches de béton projeté (environ 14 cm). L'épaisseur de béton projeté varie en fonction des dégradations, car le treillis soudé ne peut pas avoir la même forme que les discontinuités identifiées.

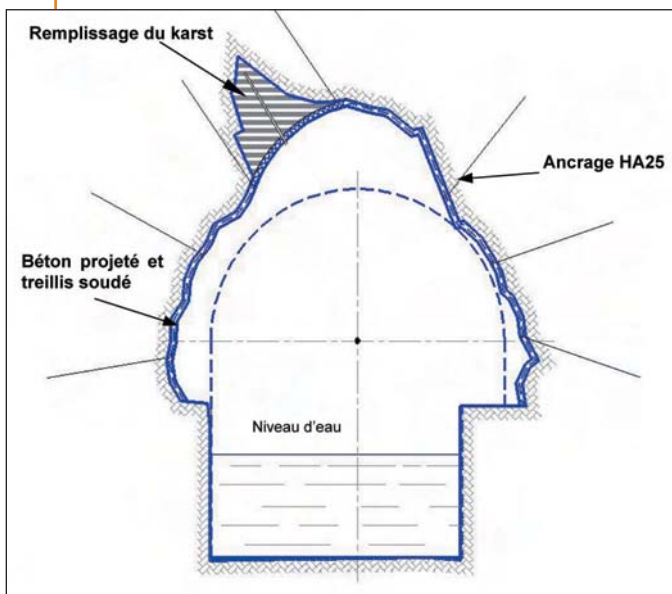


Figure 3 - Coupe type N°4

## 8 - TECHNIQUE DE RELEVÉ PROFILOMÉTRIQUE AU SCANNER LASER EN 3D

Vu la complexité et l'irrégularité de l'ouvrage, un état des lieux préalable devait être réalisé dans lequel quasiment toutes les techniques de la topographie disponibles à l'heure actuelle devaient être mises en œuvre : la méthode GPS, la tachéométrie classique, la lasergrammétrie et la profilométrie classique.

Cette mission a été confiée à la société Gascogne Génie Civil.

### 8.1 - Mise en place d'une polygonale entre les deux têtes

Un fond de plan topographique de la zone du tunnel datant d'une quarantaine d'années a été fourni par VNF. Malheureusement, comme bien souvent avec les anciens ouvrages, les points de calage utilisés à l'époque avaient disparu, suite aux travaux réguliers d'entretien effectués sur le canal et ses abords.

La mise en place d'une nouvelle polygonale de base s'avérait donc nécessaire.

Méthode retenue : GPS pour l'extérieur de l'ouvrage et tachéométrie classique pour le tunnel même.

#### Rattachement planimétrique par mesures GPS :

Dans un premier temps, plusieurs emplacements favorables ont été définis des deux côtés de l'ouvrage et des points pérennes ont été matérialisés.

Ces points ont été rattachés aux points du RBF (Réseau de Base Français) de Rouffange et Villers-sous-Montrond.

Les observations (avec deux antennes GPS Leica SR530) en statique ont permis un calcul en post-traitement sur le logiciel Leica Geo Office.

#### Rattachement altimétrique par nivellement indirect :

Le rattachement altimétrique a été réalisé sur la base d'un repère IGN par

nivellement direct à l'extérieur de l'ouvrage et nivellement indirect à l'intérieur de celui-ci.

### 8.2 - Réalisation de l'état des lieux : tachéométrie, profilométrie classique et lasergrammétrie

#### Levé topographique par méthode classique de l'environnement immédiat :

Les relevés des parties supérieures des têtes Amont et Aval (en particulier de la route départementale et de la zone du fontis) ainsi que la bathymétrie (levé du fond du canal) ont été réalisés par tachéométrie classique.

#### Levé par profilométrie classique et lasergrammétrie (scanner 3D) :

Afin de procéder à l'état des lieux de l'intérieur du tunnel, deux techniques complémentaires ont été utilisées :

##### 8.2.1 - Profilométrie classique

Sur la base de la polygonale mise en place, des profils ont été relevés tous les 10 m. Ces relevés ont été réalisés à l'aide du TCRA1101 équipé du logiciel Proscan dédié aux relevés de profils en tunnel.

Les calculs divers ont été menés sur TMS office (Leica/Amberg) :

- saisie axe en plan théorique ;
- saisie profil en long théorique ;
- saisie profil type ;
- calcul de surface et volume.

Exportés en DXF, les profils ont été intégrés au plan 3D sous Autocad permettant entre autres d'apprécier parfaitement les difficultés liées au passage de la zone du fontis (Figure 4 et Figure 5).

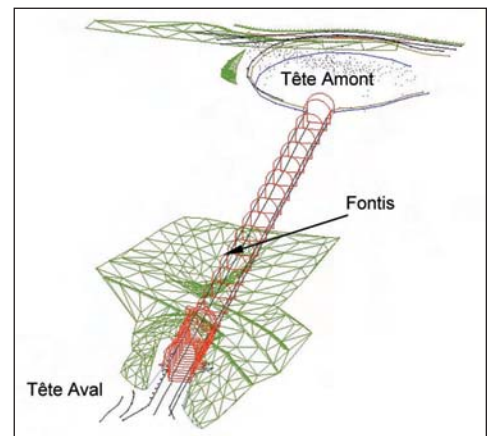


Figure 4 - Vue d'ensemble (fontis)

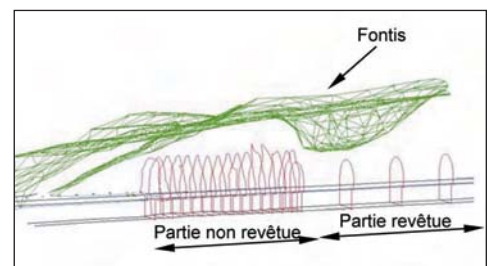


Figure 5 - Profil en long du fontis

##### 8.2.2 - Lasergrammétrie par scanner 3D

Cette nouvelle technologie permet l'acquisition, sous forme d'un nuage de points, de toute structure physique. Dans le cas d'un tunnel, on ne relève plus seulement

quelques profils constitués de 30, 40 ou 50 points mais l'intégralité de la géométrie surfacique sous forme d'un nuage de points constitué de millions de points (densité paramétrable : maillage jusqu'à 5 mm x 5 mm).

Si des équipements sont présents (éclairage, ventilation, signalisation verticale et même signalisation horizontale) ils seront relevés également par le scan puis sur la modélisation.

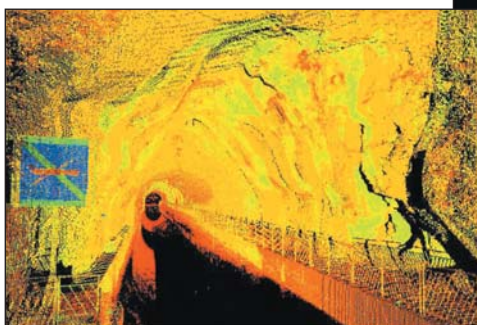
On aurait pu aller encore plus loin en juxtaposant sur le modèle numérique tridimensionnel (MNT) des photos numériques haute résolution de manière à obtenir au final un orthophotoplan alliant la précision géométrique à la précision photographique (base de données intéressantes dans le cadre du suivi des ouvrages en exploitation).

L'acquisition des données s'est déroulée suivant les étapes ci-dessous :

- mise en place de cibles connues en XYZ (pour le géoréférencement) ;
- acquisition du nuage en plusieurs scans incluant les différentes cibles mises en place ;
- géoréférencement et assemblage: il s'est agi de calculer chaque "vue" en XYZ sur la base des cibles relevées (elles mêmes connues en XYZ ) puis d'assembler ces différentes vues pour ne constituer qu'un seul nuage de points alors géoréférencé ;
- prise de vue éventuelle par photographie numérique haute résolution.

Dans le tunnel de Thoraise, seul un traitement primaire des données a été réalisé. Ce traitement s'est déroulé comme suit :

- filtrage du nuage de points : un « nettoyage » du nuage de points a été réalisé consistant à le débarrasser de tous les points parasites susceptibles de fausser la modélisation 3D. Comme exemple, on peut citer les passages de bateau/piétons interceptés par le faisceau laser, la végétation sur les têtes ;
- modélisation : à partir du nuage de points filtré, on a réalisé un maillage triangulaire que l'on qualifie de MNT. (Figure 6)



Le grand avantage du traitement des scanners 3D est qu'il est possible d'aller bien plus loin dans leur exploitation.

Ainsi, deux traitements supplémentaires peuvent être envisagés :

**Phase 1 :**

- plaquage des photographies numériques sur le MNT puis réalisation d'une orthophotographie ;
- à partir du MNT, extraction de profils en travers, profils en long, élévation aux emplacements que souhaite le bureau d'études. Le modèle étant intégral, on peut à tout moment extraire là où l'on veut l'information dont on a besoin ;
- calcul de cubature avec une précision extrême ;
- contrôle de gabarit: de physique, le gabarit devient virtuel avec tous les gains qui en découlent dans la chaîne de production (personnel, encombrement tunnel, co-activité, etc.) ;
- contrôle de la régularité surfacique du béton projeté (crucial pour l'efficacité de l'étanchéité mise en place).

**Phase 2 :**

- mise en place d'un document (papier et/ou sous forme informatisée) comprenant toutes les caractéristiques physiques visibles de l'ouvrage ;
- mise en place d'un SIG construit autour du MNT de l'ouvrage.

Ces deux dernières possibilités n'ont pas été exploitées pour ces travaux de rénovation du Tunnel fluvial de Thoraise mais restent envisageables dans le cadre d'éventuels futurs travaux à partir du lever déjà réalisé.

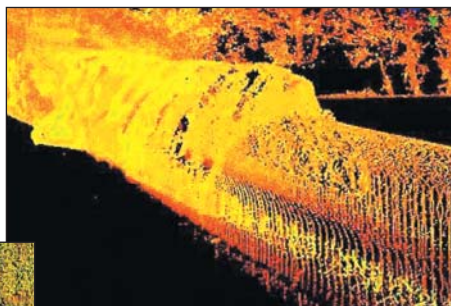


Figure 7 - Nuage de l'ensemble de l'ouvrage passage de la partie revêtue à la partie non revêtue

Figure 6 - Nuage de points de la tête Aval par laser 3D

**8.3 - Prospective en matière de lasergrammétrie appliquée aux tunnels**

Comme les premiers profilomètres Amberg (2000 à 4000) ont révolutionné, dans les années 80, le domaine de la topographie en tunnel, la lasergrammétrie va (et est en train) d'opérer une deuxième révolution dont l'étendue devient palpable :

- possibilité de relever l'ensemble de la géométrie des tubes à l'avancement par phase, avec à la clef une meilleure maîtrise de la géométrie et des métrés.
- possibilité de relever le front et d'optimiser les plans de tirs en fonction de la géométrie réelle (des logiciels existent déjà pour ces optimisations en carrière et demandent à être développés pour le souterrain).
- possibilité du contrôle du gabarit par passage d'un gabarit virtuel avec à la clef : la réduction de la co-activité liée au passage d'un gabarit physique, gain de productivité global, coût inférieur.
- possibilité d'associer la photo numérique à un SIG construit autour du MNT de l'ouvrage, constituant une base de données pour la gestion de l'ouvrage tout au long de sa vie.

**9 - PHASE TRAVAUX**

**9.1 - Modalités du marché travaux**

Le type de procédure appliqué au marché était l'appel d'offres restreint. Après analyse des 12 dossiers de candidature, 7 entreprises ou groupements d'entreprises ont été agréés par le Maître d'Ouvrage ; c'est l'offre de BEC Frères qui a été retenue par le Maître d'Ouvrage.

BEC Frères a été la seule entreprise à proposer le bétonnage par voie humide, ce qui a permis d'augmenter considérablement les cadences (6 m³/h), par conséquent, de diminuer les moyens en personnel et bien évidemment le prix du marché. Les sous-traitants de BEC : l'entreprise Satelec pour les équipements électriques et l'entreprise Dromard pour les terrassements des rampes d'accès.

La maîtrise d'œuvre travaux a été assurée par les services VNF de Besançon.

La durée globale de l'opération était de 5,5 mois y compris la période de prépara-



tion, dont 3,5 mois pour l'exécution des travaux prévus entre le 20/12/2006 et 15/03/2007.

Montant de l'opération: 800 000 € TTC.

### 9.2 - Installation de chantier

L'installation principale de chantier était implantée à proximité de la tête Amont.

La vidange du bief a été effectuée par VNF en 8 heures environ.

Une mini-digue équipée d'un tuyau Ø400 mm chargé de drainer les arrivées d'eau résiduelles du bief amont a été mise en œuvre au plus tôt, afin de ne pas pénaliser le déroulement du chantier. Ce tuyau, prolongé sur toute la longueur du tunnel, était suffisant pour assurer ce drainage sans aucun dispositif de pompe complémentaire.

Un cordon batardeau a également été mis en place afin de maintenir un niveau d'eau satisfaisant dans ce bief en amont du chantier, pour assurer la protection des espèces aquatiques.

Une piste de chantier d'environ 12% de pente, pour accéder au fond du canal, ainsi qu'une plate-forme provisoire en remblais tout au long du tunnel ont été mises en œuvre afin de permettre l'accès des engins au chantier.



Photo 4 - Installation du chantier à la tête Amont



Photo 5 - Tête Aval

Le fond du canal a été protégé par un géotextile.

### 9.3 - Phase exécution

Les travaux ont débuté par un nettoyage général de la voûte maçonnée avec un nettoyeur haute pression.

Le boulonnage a été réalisé avec un jumbo de foration et une nacelle élévatrice pour la mise en place et l'injection des boulons. Une seconde nacelle avec un panier large était utilisée pour la mise en œuvre des panneaux de treillis soudé. Enfin un robot de projection était utilisé pour le béton projeté. Le béton venait de la centrale de Trépillot de Besançon. Le béton proposé pour ces travaux avait la même formule que celui précédemment utilisé pour la construction du tunnel du Bois de Peu.



Photo 6 - Phase bétonnage - tête Aval

La centrale à béton était équipée d'une chaudière à production de vapeur basse pression pour le réchauffage de l'eau de gâchage et des granulats, condition nécessaire pour le bétonnage par temps froid, qui cependant était formellement interdit lorsque la température était inférieure à -5°C à 8h du matin.

Pendant la phase de bétonnage l'entreprise a été obligée de fermer la tête Amont quasiment dès le début du chantier pour minimiser le refroidissement du support. La température du support a été mesurée chaque jour et le résultat relevé consigné au journal du chantier.

Dans la partie revêtue, lors des forages, des vides partiels derrière les maçonneries ont été découverts ; le plan de boulonnage a alors été adapté et les boulons mis en œuvre dans la partie saine. L'absence locale d'ancrage ou une sous-densité locale restaient acceptables dans la mesure où un minimum de 4 boulons par auréole était assuré.

La zone des deux fontis a été traitée par le soutènement prévu, sans rencontrer de difficultés particulières.

La cadence moyenne du chantier a été estimée à 20 ml/semaine. Vers la mi-février, une seconde équipe a été affectée en poste de nuit, les équipes travaillant en 2 postes jusqu'à mi mars.

Dans la zone non revêtue, la présence de 2 karsts a nécessité la mise en œuvre de dispositions particulières : mise en place de cintres servant de support à un métal déployé pour réaliser une coque à la forme du tunnel, puis remplissage des karsts au-dessus de cette coque par bétonnage par des tuyaux laissés en attente.

Sur l'ensemble du linéaire, les travaux ont été complétés par des forages de drainage destinés à éviter la mise en charge d'éventuelles venues d'eau derrière la coque en béton projeté.

### 9.4 - Finitions

Enfin, les travaux ont été complétés par les équipements nécessités par les règles de sécurité (branchement électrique, signalisation, mise en peinture des garde-corps avec création de portillons de sécurité, éclairage de sécurité, ligne de vie et échelles de secours) mais également par les mesures conservatoires décidées en cours de chantier et destinées à faciliter la mise en œuvre d'un projet artistique sur le tunnel (en cours de définition au moment des travaux et de réalisation aujourd'hui).

Ainsi, de nombreux fourreaux et armoires de branchement ont été mis en œuvre dans la coque en béton projeté et également sur le trottoir de circulation, en vue d'alimenter un éclairage spécifique et les automatismes associés au projet, et des niches de dimensions importantes ont été déroctées et revêtues à la tête Aval zone non revêtue initialement.

En raison des délais nécessaires à la construction de ces réservations liées au marché artistique, une prolongation du chômage de la navigation dans le bief de Thoraise a été programmée entre le 15 mars et le 04 avril 2007.

Après évacuation de la plate-forme et de la piste d'accès, la remise en eau a débuté dans la nuit du 03 au 04 avril, la voie d'eau devant impérativement être opérationnelle le 06 avril 2007. Le délai minimum de remplissage du bief était de 60 heures environ.

En conséquence, l'entreprise a adapté ses cadences, le nombre d'équipes impliquées

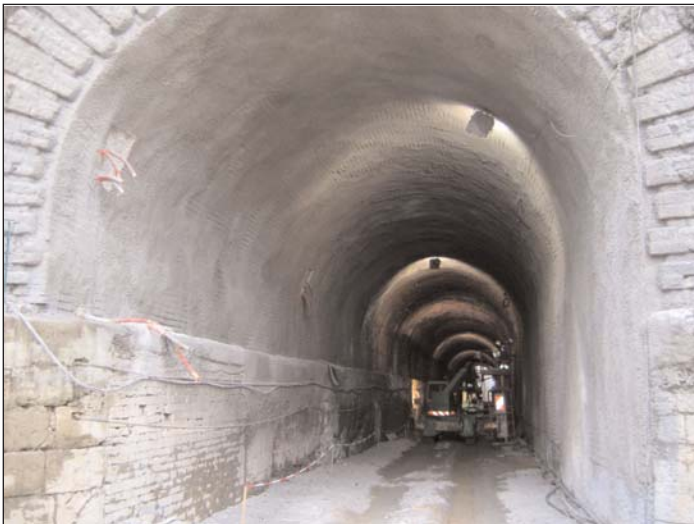


Figure 8  
Tunnel en phase  
bétonnage

**10 - CONCLUSIONS**

Le choix du Maître d’Ouvrage de réaliser les travaux de rénovation du tunnel de Thoraïse à sec après vidange du bief, sur une plate-forme régulière, a permis d’avoir la liberté dans le choix de la méthode de réalisation et matériels d’usage courant en travaux souterrains tout en respectant les contraintes des délais et en minimisant l’impact sur l’environnement.

L’utilisation de techniques novatrices dans le domaine de la topographie et en particulier la lasergrammétrie 3D appliquée aux travaux de rénovation a permis de mieux apprécier les risques existants et les volumes de travaux à réaliser.

et ses horaires de travail, pour respecter ces délais très stricts, dans un contexte nouveau créé par le projet artistique.

**9.5 - Environnement**

Le maître d’ouvrage VNF, certifié ISO 14000, attachait une importance particulière au respect de l’environnement sur ce

chantier dans un milieu sensible. Ainsi, outre les mesures liées à la sauvegarde des espèces piscicoles, les installations intégraient une aire de lavage des engins avec récupération et traitement des eaux avant rejet au milieu naturel. Un audit du chantier, passé avec succès, a eu lieu dans le cadre du suivi de la certification de VNF.

**REMERCIEMENTS**

Les auteurs remercient Voies Navigables de France, Maître d’Ouvrage (Eric Guichon, Directeur de l’opération), pour les avoir autorisés à faire état des informations relatives au tunnel de Thoraïse présentées dans cet article.



L'ingénierie de la durabilité depuis 1984

... EDF Nucléaire & Hydraulique ; GDF ; ANDRA ; COGEMA ; AREA ; SANEF ; ESKOM ; AREVA ; SNCF ; EIFFAGE ; GTM ; BOUYGUES ; CNR ; DCN

INSTRUMENTATIONS et TECHNIQUES SPÉCIFIQUES  
pour le CONTRÔLE et le SUIVI des TUNNELS et du GÉNIE CIVIL

INSTRUMENTATION - INSPECTION - TOPOMÉTRIE - VIBRATION - SISMIQUE - DIAGNOSTIC - MONITORING

HYDROQUEBEC ; IBERDROLA ; ENEL ; CGNPC ; TOTAL ; EXXON ; VILLE DE PARIS ; ALSTHOM ; SIAAP ; SIR ; ASF ; ESCOTA ; RATP ; ADP ; VIADUC DE MILLAU ; TAISEI CORP...

[www.sites.fr](http://www.sites.fr)
SITES - 2 bis avenue du Centre - 92500 Rueil-Malmaison Tel : 01 41 39 02 00 / Fax : 01 41 39 02 01

