

AUTOROUTE A16 LA TRANSJURANE

LA TRAVERSÉE DE LA COMBE CHOPIN

Sur le tracé de la future A16, entre le portail Sud du tunnel de la Roche-St-Jean et le portail Nord du tunnel du Raimeux, se niche la Combe Chopin. Le site est enserré entre les arêtes de la Roche-St-Jean et celles du Raimeux, quasi seul endroit verdoyant de cette partie des gorges de la Birse, constitué en majorité d'un environnement minéral et forestier. La région présente des zones d'instabilité géologique. Un glissement qui s'est produit le 22 septembre 2000 a mis en évidence la nécessité de préparer la stabilisation de la zone en vue des constructions planifiées.



Les travaux (terrassements, pistes d'accès) débutent fin août 2000 et le 22 septembre, un glissement de terrain est déclenché par les travaux de terrassement. La zone déstabilisée concerne une surface de 600 m² environ et profonde jusqu'à 6 mètres. Des travaux de remblayage sont immédiatement conduits pour réduire les déplacements de la masse en glissement mais des mouvements restent liés aux conditions météorologiques. Suite au glissement, une campagne de reconnaissance importante est entreprise et trouve son aboutissement avec l'implantation d'une paroi ancrée, nécessitant préalablement des essais d'ancrages, de forages et de tranchées drainantes.

QUELQUES DONNÉES GÉOTECHNIQUES

Le Jura est une formation géologique complexe et il serait fastidieux ici d'en présenter les nombreuses spécificités. C'est pourquoi

l'on ne mentionne ci-après que quelques points de la géologie régionale. La Combe Chopin s'inscrit dans un contexte structural tourmenté, caractérisé par le plissement de couches calcaires alternant avec des couches marneuses. Dans l'axe nord-sud, le déroulement des anticlinaux¹ et des synclinaux² est également perturbé par des chevauchements, des failles et des plis secondaires. Du point de vue lithologique³, on relève la succession simplifiée des couches géologiques suivantes, des plus récentes aux plus anciennes : Quaternaire (– 0,01 à – 1,65 mio. années), Tertiaire (– 1,65 à – 65 mio), «Malm» (– 135 à – 154 mio), Oxfordien (– 146 à – 154 mio), «Dogger» (– 154 à – 180 mio) et Aalénien (– 176 à – 180 mio). Dans cette zone, entre les

¹ Plissement dont la convexité est tournée vers le haut.

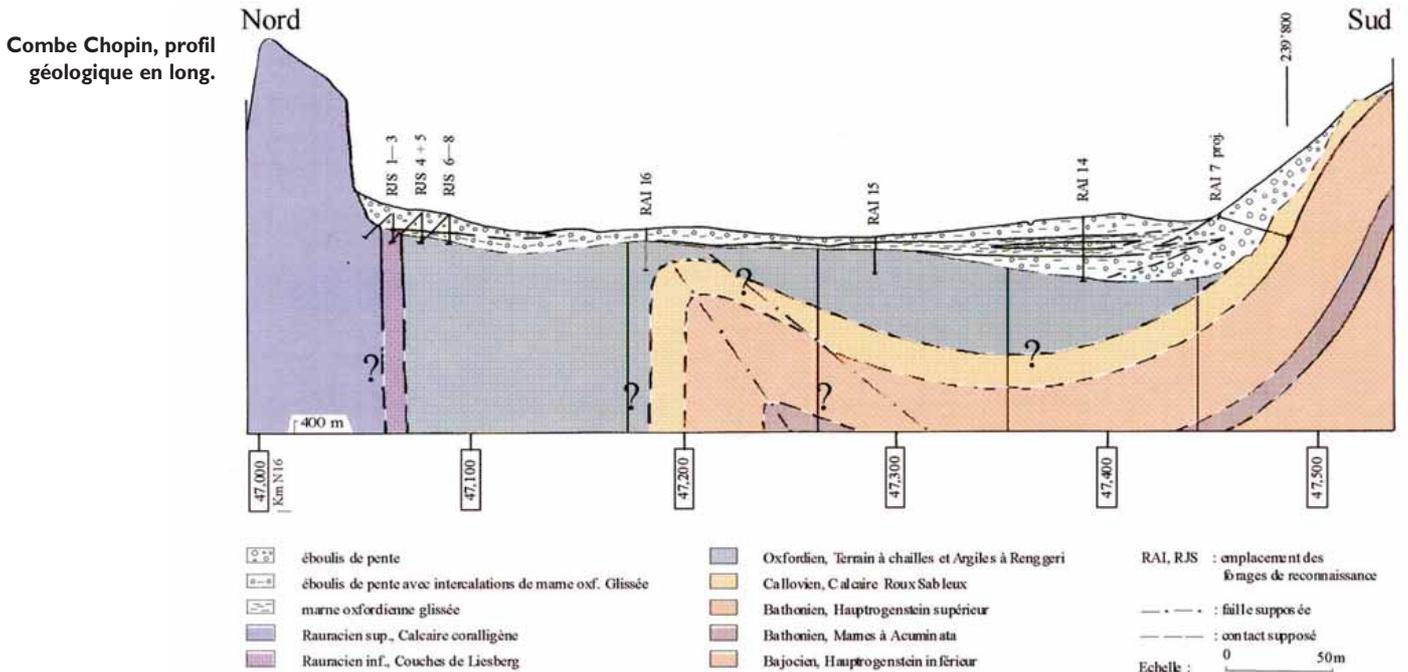
² Partie concave d'un plissement.

³ Qui prend en considération la nature des roches d'une région ou d'une autre.

TEXTE: MICHEL PRIVET
SOURCES, CLICHÉS,
INFOGRAPHIES:
OFFICE DES PONTS ET
CHAUSSEES, BERNE
GVH TRAMELAN SA
MFR SA BIENNE

INTRODUCTION

Les premières reconnaissances géologiques effectuées en 1990 avaient démontré les premiers signes d'instabilité du terrain et les difficultés de constructions inhérentes. Le projet général de 1992 avait déterminé un tracé mixte (tranchée et remblai) pour le franchissement de la combe. Entre 1992 et 1994, des campagnes complémentaires montraient toujours des marques d'instabilité. Le franchissement de la combe en ouvrage souterrain est envisagé et non retenu. En phase d'avant-projet (1997), le passage de la Combe Chopin est prévu à l'aide d'un pont d'une longueur de 230 mètres. Suite à une campagne géologique complémentaire réalisée en 1998, le dossier Ofrou réduit la longueur du pont à 196 mètres.



parois calcaires formant les limites nord et sud, les terrains sont formés par la superposition, de la surface en profondeur, des couches suivantes :

- Eboulis de pente, graveleux, parfois limoneux, généralement assez perméable (A1).
- Différents types de mélanges entre éboulis et limons, légèrement perméables par endroits,

résultant d'anciennes phases de glissement (A2).

- Niveau inférieur des éboulis composé d'un mélange d'éboulis graveleux et de limons (B1).
- Marnes du soubassement, d'abord peu altérées sur 2 à 4 mètres maximum au droit du tracé, un peu plus en certains endroits, en amont, puis intactes. Elles sont considérées

comme peu à très peu perméables. (C).

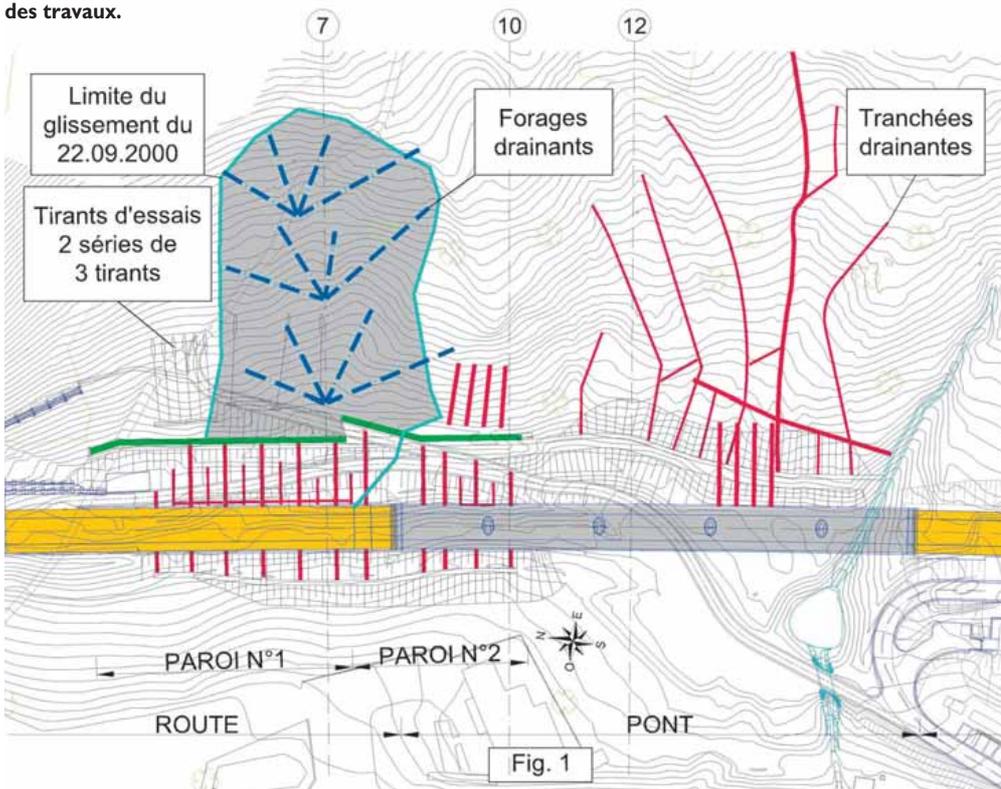
La combe est orientée d'est en ouest en direction de la Birse avec une pente de 25 à 30°. Le substratum⁴ est constitué de marnes oxfordiennes. Sur le tracé de l'A16, la largeur de la combe (nord-sud) atteint 325 mètres entre le portail de la galerie couverte de la Roche-St-Jean (nord) et le portail du tunnel du Raimeux (sud).

Pour l'aspect hydrogéologique, il faut mentionner que les eaux souterraines de la Combe Chopin proviennent :

- Des eaux pluviales tombées directement sur le bassin hydrographique, entre la Birse et le col situé au sommet de la combe (la surface estimée est d'environ 15 hectares).
- Des écoulements souterrains latéraux, provenant soit des massifs calcaires (Roche-St-Jean, Raimeux), soit des infiltrations d'eau du ruisseau qui s'écoule au sud de la combe.

⁴ Couche inférieure ou antérieure existant sous une couche plus récente.

Présentation schématique des travaux.



LES TRAVAUX

Mesures de stabilisation

Le glissement de terrain a mis clairement en évidence la nécessité de mettre en application des

mesures de stabilisation pour la construction de l'A16. Sur la base des données à disposition, de l'expérience tirée d'événements comparables et des analyses de stabilité, deux types de mesures ont été retenues.

Des **mesures d'assainissement** ont été réalisées au moyen d'un réseau de forages drainants effec-

tués à partir de trois fouilles. Les drains disposés en épi sont essentiellement implantés dans la masse d'éboulis et de marnes altérées (au-dessus du plan de glissement). Les drains ont un diamètre de 100 millimètres, et une longueur cumulée de 360 mètres environ. Ils sont raccordés à une tranchée drainante, elle-

même reliée à un collecteur d'évacuation.

Suite au glissement de terrain et compte tenu de l'impossibilité de modifier le tracé de l'A16, des **mesures de soutènement** ont été prévues et l'option a été prise de procéder à la mise en place d'une paroi de pieux ancrés.

PAROI DE PIEUX ANCRÉS

L'exécution de cette paroi a imposé au stade du projet des contraintes telles que :

- Offrir une capacité portante suffisante pour éviter la rupture prématurée en cas de poussée « supérieur » au-dessus des longrines.
- Capacité de résistance à long terme (durée de vie de l'ouvrage fixée à cent ans).
- La résistance ultime des tirants d'ancrage (scelllements) est variable et doit être évaluée avec prudence.
- Tenir compte des conditions topographiques, géologiques, hydrogéologiques et géotechniques du site.
- La pente prononcée du versant et les accès difficiles restreignent les méthodes de réalisation plausibles.

CONCEPTION ET DISPOSITIONS CONSTRUCTIVES

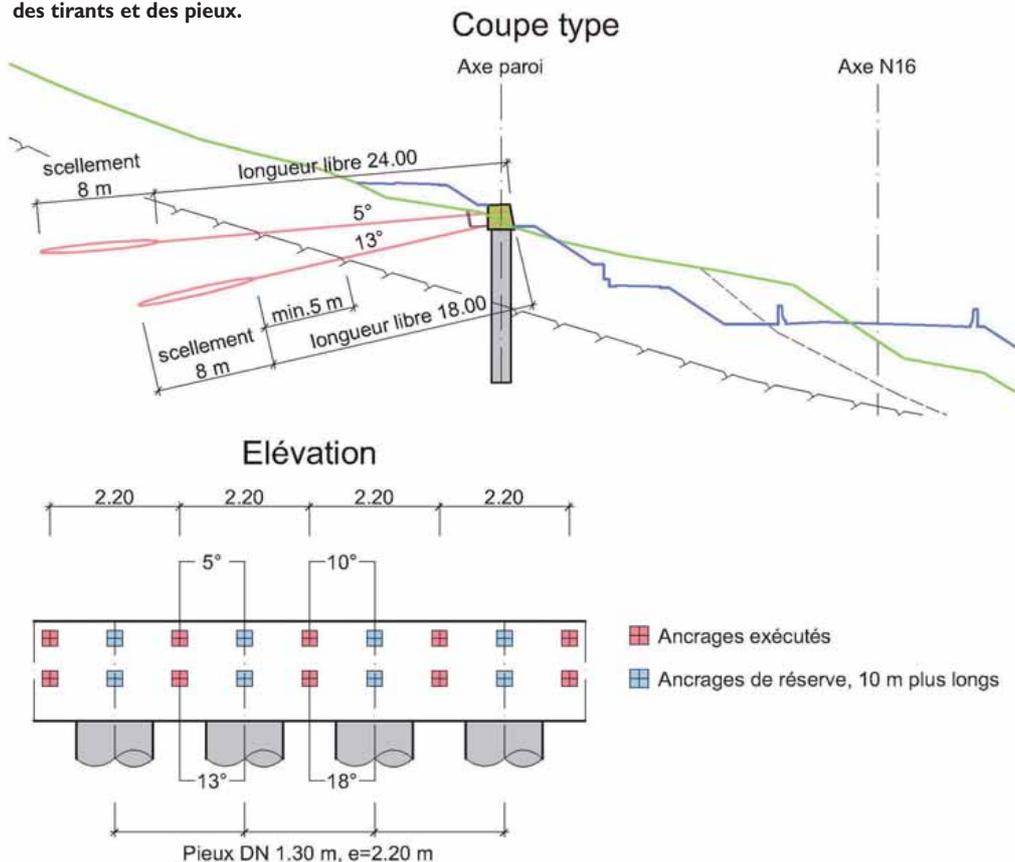
Les travaux réalisés comprennent deux parois de 74 et 52,6 mètres de longueur, parois constituées des éléments constructifs suivants :

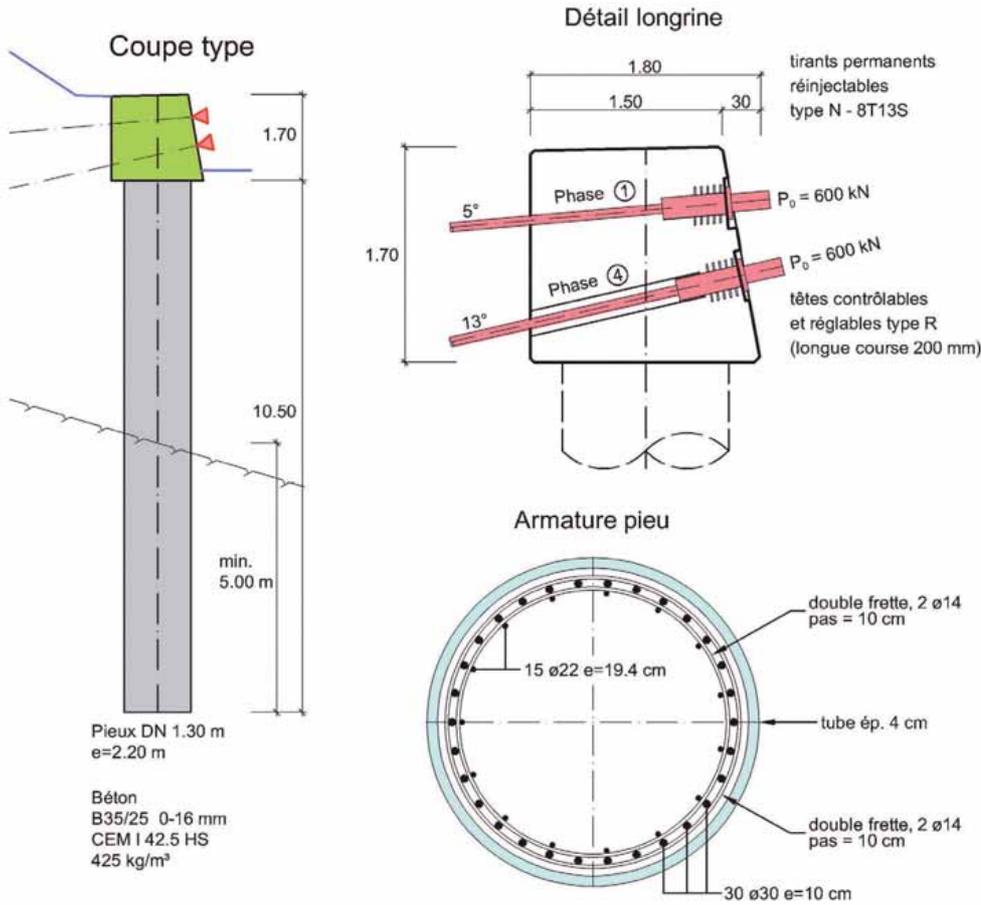
- Pieux forés
 - DN : 130 centimètres.
 - Entre-axe : 2,2 mètres.
 - Longueur : 8,5 à 10,5 mètres.
 - Armature verticale extérieure : 30 Ø 30 e = 10 centimètres.
 - Frette extérieure : 2 Ø 14 e = 10 centimètres.
 - Armature verticale intérieure : 15 Ø 22 e = 19,4 centimètres.
 - Frette intérieure : 2 Ø 14 e = 10 centimètres.
 - Taux total d'armature verticale : = 2,38 %.
- Tirants d'ancrage
 - 2 tirants de capacité $P_0 = 480$ à 600 kN, écartement 2,2 m, réalisés entre les pieux.
 - 2 tirants de mêmes capacité et

Vue de la paroi ancrée.



Disposition générale des tirants et des pieux.





Dispositions constructives.



Vue sur le sommet des pieux et de la longrine.

écartement, en réserve au droit des pieux.

- Tirants de type Freyssinet, 8T 13S, $f_{uk} = 1820 \text{ N/mm}^2$, $f_y = 1640 \text{ kN}$, $R_j = 1456 \text{ kN}$, $R_a = 800 \text{ à } 1000 \text{ kN}$, $P_0 = 0,6 R_a$.

• Longrine

- Armature longitudinale périphérique: Ø 22 e = 15 cm.
- Etriers: Ø 16 e = 15 cm.
- Structure monolithique sans joint de dilatation.

Compte tenu des taux d'armatures importants et plus particulièrement de la présence d'une double frette, une recette de béton spécifique a été utilisée. B 35/25, granulats 0-16 mm CEM I 42,5 HS 425 kg/m³ E/C = 0,45 ± 0,03.

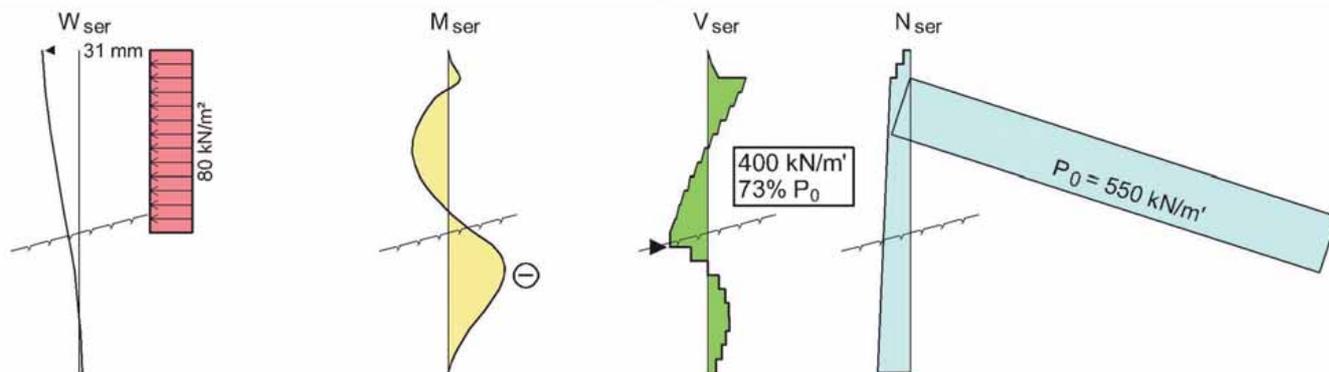
FORCES D'ANCRAGES

Des essais ont été réalisés afin d'apprécier correctement la résistance ultime externe des ouvrages. L'avancement des études et travaux a contraint les concepteurs à mener de front le dimensionnement de la paroi et l'organisation des essais de tirants d'ancrages. En conséquence, une hypothèse sur la résistance ultime des scellements s'est avérée nécessaire pour les calculs de dimensionnement.

Sur la base d'expériences acquises en milieux comparables, les valeurs de 667 kN (borne inférieure) et 1067 kN (borne supérieure) ont été retenues. Ces forces correspondent à des forces de blocage de 400 respectivement 640 kN. L'analyse des résultats livrés par la mise en place des tirants d'essais a montré par la suite que les valeurs de résistance des scellements étaient plus élevées et se situaient aux alentours de 1350 kN. C'est sur cette base que des tirants Freyssinet 8T 13S ont été choisis (résistance ultime comparable: 1456 kN).

Finalement, les épreuves de mise en tension des tirants ont révélé des pertes de tension à moyen terme par fluage. Ces constatations ont conduit à la décision de réduire les forces de blocage à 600 kN pour la majorité des ancrages.

aptitude au service, glissement actif

**COMPORTEMENT DE LA PAROI**

Lors de la mise en tension des tirants d'ancrage contre le versant initialement admis stable, les pieux subissent des effets de fissuration maîtrisée qui engendrent une traction maximale de l'ordre de 150 N/mm^2 dans l'armature de la zone supérieure des pieux (moment positif). Cette valeur est sensiblement inférieure aux contraintes maximales admises pour des structures conventionnelles (SIA 162/193), soit environ 200 N/mm^2 .

En augmentant progressivement la pression exercée par la zone en glissement au dos des pieux, on peut déplacer la longrine d'environ 30 mm contre l'aval par rapport à sa position initiale et développer un cisaillement d'environ 400 kN/m^2 sur le plan de glissement pour atteindre une traction similaire dans l'armature de la zone inférieure des pieux (moment négatif).

CONSTRUCTION

En connaissance des conditions d'instabilité précaires du versant, la paroi de pieux a été réalisée selon les phases de construction suivantes :

• Phase 1

Fouille provisoire effectuée en deux étapes longitudinales au niveau $+ 0,3 \text{ m}$, paroi de soutènement en béton projeté, réalisation des tirants d'ancrages supérieurs, scellement des gaines et protection des torons dans

l'emprise de la fouille au moyen de tubes d'acier.

• Phase 2

Remblayage provisoire au niveau $+ 2 \text{ m}$, exécution des pieux par groupes de 5 à 11 avec une cadence d'environ deux pieux réalisés par jour.

• Phase 3

Excavation finale au niveau $\pm 0 \text{ m}$, recépage des pieux, exécution du béton de propreté et exécution de la longrine par étapes de 11 mètres .

• Phase 4

Béton de remplissage derrière la longrine, mise en tension des tirants d'ancrage supérieurs, exécution et mise en tension des tirants d'ancrage inférieurs.

Cette méthode de réalisation pour la confortation du secteur a permis de réduire au maximum le délai entre le bétonnage des pieux et la mise en tension des tirants d'ancrage, afin d'éviter une sollicitation excessive des pieux en porte-à-faux.

Les mesures de contrôle des déplacements effectuées dans la combe pendant et après la réalisation de la paroi de pieux ancrés indiquent que le concept de stabilisation voulu peut être atteint. Malgré le développement de nouveaux mouvements dans la zone supérieure du versant, aucun déplacement significatif de la longrine contre l'aval n'a été mesuré et les déformations spécifiques mesurées dans l'armature des pieux sont très faibles. ■

Principaux intervenants**Maître de l'Ouvrage**

Direction des travaux publics
du canton de Beme
Office des ponts et chaussées
Reiterstrasse 11 – 3011 Beme

Mandataires

Consortium d'étude du tunnel
du Raimeux GVH – BG composé de :

GVH Tramelan SA
Ingénieurs civils EPF/SIA
Rue de la Paix 30 – 2720 Tramelan

Bonnard & Gardel Beme SA
Ingénieurs Conseils
Rue de la Gare 16 – 2502 Bienne

Géologie

MFR Géologie – Géotechnique SA
Rue Franche 24 – 2502 Bienne

Enterprises

GTR Groupement Tunnel du Raimeux
Entreprise pilote
Martí AG
Freiburgstrasse 133 – 3008 Beme

Entreprise de construction
Parietti et Gindrat SA
Rue St-Sébastien 26 – 2800 Délémont

Pro Routes SA
Routes, génie civil, béton armé et
maçonnerie
Ch. du repos 15 – 2710 Tavannes

Chételat Georges SA
Génie civil – Terrassements
Rue de l'Industrie 3 – 2822 Courroux