



SOMMAIRE

Présentation	2
Géologie	3
Projet	4
Portails et tranchées couvertes	6
Gestion des matériaux d'excavation	7
Le tunnel de Moutier en bref	8



8 mai 2008 : la sortie du tunnelier, en présence de la Directrice des travaux publics, des transports et de l'énergie du canton de Berne Madame Barbara Egger-Jenzer.

PRÉSENTATION

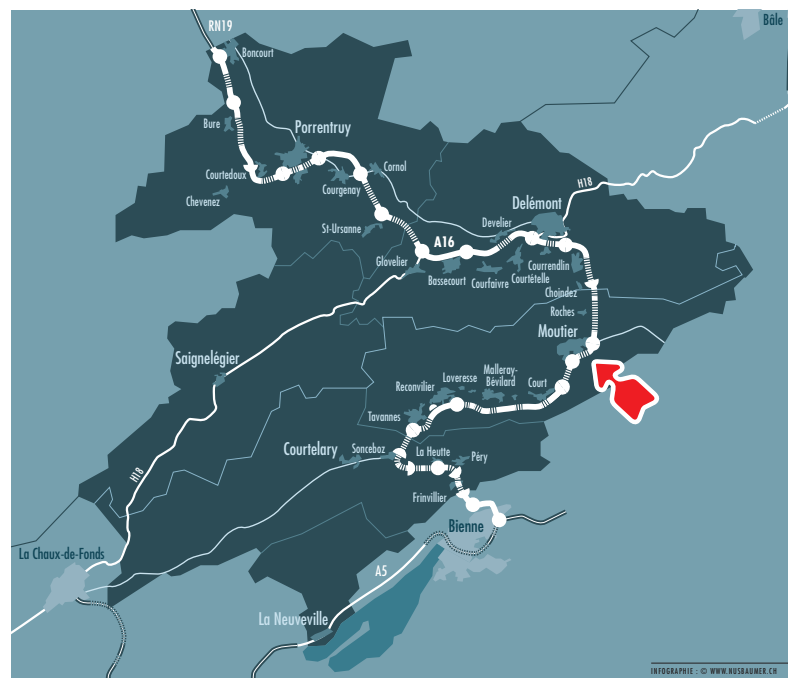
Situé entre Delémont et Tavannes, le tunnel A16 de Moutier comprend deux tubes. Reliant les jonctions nord et sud de Moutier, il permet à la Transjurane de contourner la cité prévôtoise.

Le tube amont (voie Bienne-Delémont) a une longueur de 1'208 mètres, dont 1'150 mètres construits en souterrain. Le tube aval (voie Delémont-Bienne) mesure 1'181 mètres, dont 1'129 mètres ont été réalisés en souterrain.

Les deux tubes circulaires disposent d'une galerie technique réalisée sous la chaussée d'une largeur de 7.50 mètres et bordée de deux trottoirs. Quatre galeries transversales, dont l'une est carrossable, servent de chemin de fuite en cas de danger, par exemple lors d'un incendie dans le tunnel. L'aération des deux tubes du tunnel est assurée par 11 ventilateurs axiaux (8 dans l'amont et 3 dans l'aval).

A chaque portail du tunnel, une centrale technique abrite tous les équipements d'exploitation et de sécurité. Le bâtiment de la centrale nord a deux faces visibles, tandis que la centrale sud est enterrée.

Les travaux du tunnel ont débuté en juillet 2001 et ont pris fin à l'ouverture au trafic le 25 novembre 2011. Les conditions géologiques difficiles ont nécessité la mise en œuvre de plusieurs méthodes de construction très particulières et expliquent la durée du chantier.





Déformation de la molasse: la tectonisation et la discontinuité des couches géologiques ont singulièrement compliqué les travaux d'excavation du tunnel.

GÉOLOGIE

Le tunnel de Moutier traverse à faible profondeur la Molasse d'eau douce inférieure (USM), formation datant de l'ère Tertiaire et vieille de plus de 20 millions d'années. Cette molasse est recouverte de terrains meubles, d'origine plus récente, présents sous forme de colluvions et d'éboulis et qui ont été rencontrés dans les zones des portails.

L'USM est composée de sables micacés et de grès (Molasse alsacienne) surmontés de marnes (Marnes delémontiennes), avec quelques rares bancs de calcaires d'eau douce. Les grès sont le plus souvent mi-durs et friables et forment des bancs décimétriques discontinus (lentilles). Les marnes, parfois gréseuses, peuvent contenir du gypse sous forme de grandes veines blanches.

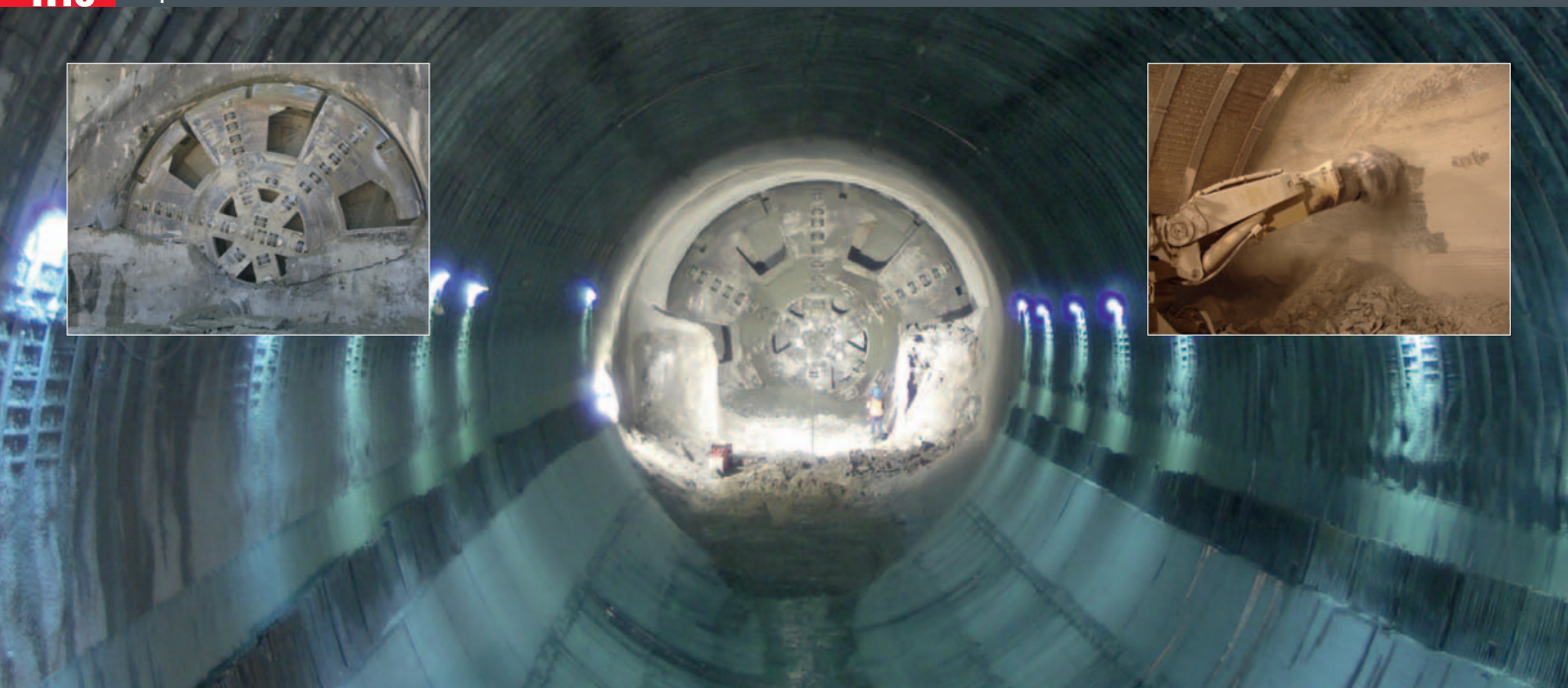
Une série de forages de reconnaissances géologiques a été réalisée dans le secteur avant le lancement des travaux, pour évaluer la qualité géotechnique de la roche à traverser par le tunnel. Le plissement de la chaîne jurassienne a provoqué une importante déformation de cette molasse. Ainsi, la tectonisation et la discontinuité des bancs marqueurs

(lentilles gréseuses et barres calcaires) ont compliqué la corrélation des unités géologiques entre les différents forages.

A fin 2002, une fois la tranchée d'accès au front sud du tunnel terminée, un tunnelier débuta l'excavation du tube aval. Après moins de 200 mètres d'avancement, le tunnelier dut s'arrêter au niveau d'un accident géologique (couloir subvertical de déformation) qui n'avait pas été repéré lors des forages préliminaires. Ce terrain tectonisé présentait des couches verticalisées dont les caractéristiques géomécaniques étaient médiocres, en particulier à cause des circulations d'eau favorisées par les fractures. Cette mauvaise qualité du massif perturba l'avancement du chantier.

Lors de forages complémentaires réalisés après l'arrêt du tunnelier, une seconde zone géologique perturbée, avec des marnes tectonisées, a été décelée sur le tracé des deux tubes du tunnel.

Le franchissement de ces zones critiques a nécessité des méthodes d'avancement spécifiques, décrites dans la partie « Projet » en pages 4 et 5.



Le tunnelier à l'avant de la section divisée. En haut à droite : une haveuse en action.

PROJET

Le contrat de réalisation du tunnel de Moutier a été attribué sur la base d'une variante d'entreprise proposant l'excavation au moyen d'un tunnelier de 11.7 mètres de diamètre.

Après moins de 200 mètres d'avancement dans le tube aval, le tunnelier rencontra un accident géologique au front duquel il dut être immobilisé : la roche était trop tendre et un fontis s'était manifesté jusqu'en surface.

Suite à l'arrêt du tunnelier et sur la base des sondages géologiques complémentaires, le projet a été complètement revu. La nouvelle solution proposée par les ingénieurs associe judicieusement différentes méthodes d'avancement.

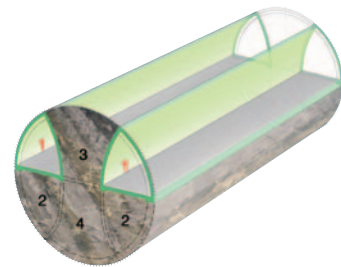
TUBE AMONT

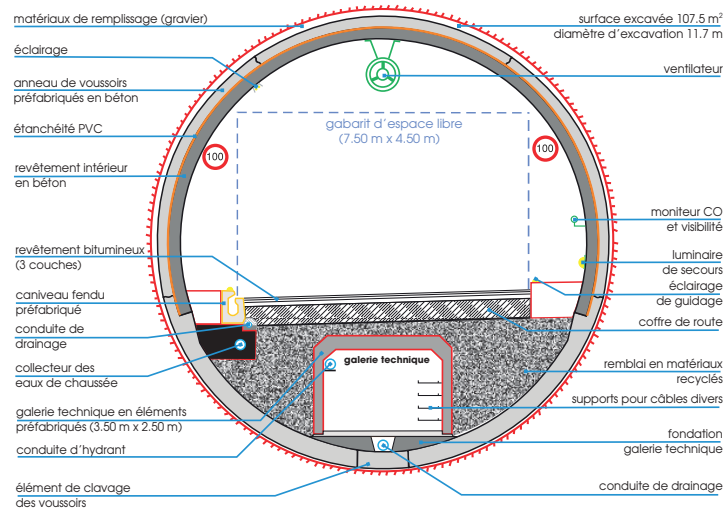
L'excavation du tube amont a été réalisée par des machines à attaque ponctuelle : haveuse et marteau brise-roche. La demi-section supérieure, ou calotte, a été excavée mètre par mètre depuis les deux portails. Un pré-soutènement, formé de voûtes parapluies de tubes métalliques, a été mis en place sur une grande partie de la longueur du tube, au préalable à l'excavation. Le soutènement a été assuré par des cintres métalliques, joints par des coques en béton coffré. La partie inférieure du tube a été abattue depuis le portail nord. Les cintres de la calotte ont été complétés en radier pour fermer la section du tunnel, puis enrobés de béton projeté.

TUBE AVAL

Le tube aval a été excavé par le tunnelier depuis le portail sud sur 180 mètres environ. La tête du tunnelier arrêté a ensuite été atteinte depuis l'avant en provenance du tube amont, via une des quatre galeries transversales reliant les deux tubes du tunnel.

Le tunnelier s'appuyait pour avancer sur un anneau de voussoirs en béton préfabriqué, d'un diamètre inférieur à la tête de la machine, rendant ainsi impossible toute marche arrière. La solution proposée, permettant la poursuite de l'excavation en direction du portail nord, consistait à creuser au préalable la moitié supérieure du tunnel (calotte) depuis ce portail. Cette excavation préliminaire, sur toute la longueur du tube, a permis de relever les conditions géologiques. Au besoin, le terrain aurait pu être renforcé pour permettre le passage de la machine. Les conditions ont été suffisamment favorables pour ne pas y avoir recours.





Profil normal du tunnel avec la galerie technique sous la chaussée.



Les zones à marnes tectonisées ont été excavées en six parties (section divisée).

ZONES À MARNES TECTONISÉES

(75 m POUR LE TUBE AMONT ET 93 m POUR LE TUBE AVAL)

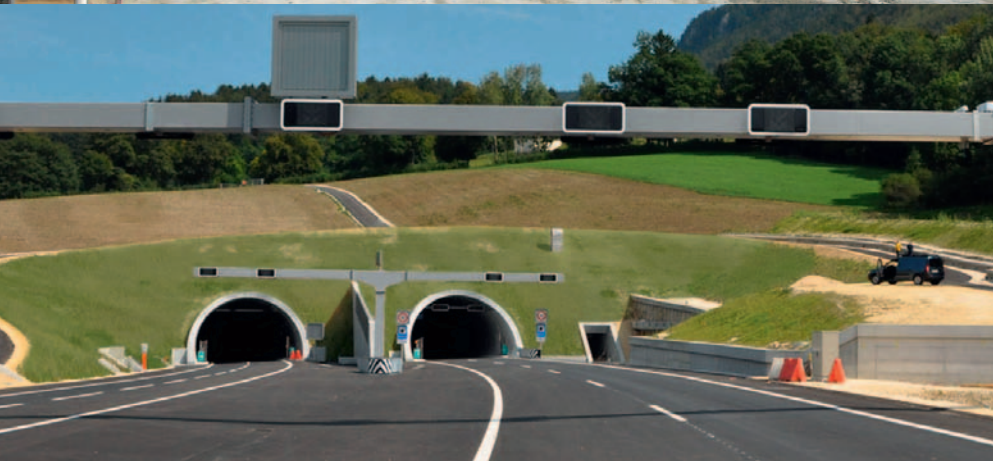
Des méthodes d'excavation spécifiques ont été étudiées pour le passage des deux tubes dans la seconde zone tectonisée (voir Géologie en page 3). La réduction des surfaces permet de minimiser les risques à l'avancement (éboulement du front, chutes de blocs ou tassements trop importants). Dans le projet retenu, la section circulaire a été divisée en 6 parties, excavées dans l'ordre suivant :

- 1) les deux galeries latérales supérieures
- 2) les deux galeries latérales inférieures
- 3) la calotte entre les galeries latérales supérieures (en deux parties)
- 4) le radier assurant la fermeture de la section circulaire.

Le bien-fondé du choix de cette méthode a été démontré par les mesures de déformations. Des tassements prévisibles et maîtrisés, de l'ordre de 13 cm, ont notamment été mesurés in situ. En outre, la sécurité des travailleurs a été garantie. Aucun accident n'a été déploré.

AMÉNAGEMENTS INTÉRIEURS

Chaque tube comprend sous la chaussée une galerie technique en béton préfabriqué dans laquelle passent les câbles d'exploitation du tunnel et la conduite d'eau incendie. La chaussée de 7.50 mètres de large est bordée de 2 trottoirs. La partie visible du tunnel est constituée d'un anneau en béton d'au minimum 30 cm d'épaisseur, derrière lequel a été posée une étanchéité de 2 mm en PVC. Les eaux du massif sont récoltées dans une canalisation visitable posée au point bas, au centre de la galerie technique.



La paroi de pieux forés (en haut) stabilisant la zone du portail sud, les tranchées couvertes et la centrale technique ont été remblayées, permettant la végétalisation de l'ensemble du site.

PORTAILS ET TRANCHÉES COUVERTES

Les portails des deux tubes du tunnel de Moutier ont été construits à ciel ouvert, dans les fouilles préalablement excavées pour accéder aux fronts d'attaque des parties exécutées en souterrain. Ces fouilles ont été réalisées dans des terrains instables. Elles ont nécessité la mise en place de pieux forés renforcés par des ancrages précontraints.

Au portail sud, les tranchées couvertes ont une longueur de 45 mètres pour le tube amont et de 42 mètres pour le tube aval. Les tubes en béton ressortent tronqués à 45° et s'insèrent idéalement dans le terrain réaménagé sans perturber le paysage.

La centrale technique sud a également été réalisée à ciel ouvert, puis remblayée. Seuls deux éléments sont visibles à l'état final : la cheminée d'aération et, bien entendu, l'entrée du bâtiment.



Portail nord : exécution d'une tranchée couverte (en haut) ; pose de la couche bitumineuse de roulement (en bas).

Au portail nord, la couverture rocheuse étant plus importante, le front d'attaque du tunnel est plus proche du portail final. Seuls 13 et 10 mètres ont été réalisés en tranchée couverte. La forme du portail nord est identique à celle du portail sud.

La partie remblayée étant moins importante, le local technique du portail nord n'a pas été enterré et deux faces du bâtiment restent visibles depuis la chaussée.

A chaque portail, les voies de circulation sont séparées par un mur d'une trentaine de mètres de longueur. Il a été construit pour éviter qu'en cas d'incendie les fumées évacuées à l'aide des ventilateurs ne s'engouffrent dans l'autre tube.



Ruban transporteur acheminant les matériaux d'excavation de Moutier à Court, via la galerie de reconnaissance du tunnel du Graitery, en vue de leur entreposage définitif sur le site de Chaluet, à l'Est de Court (ci-dessous).

GESTION DES MATÉRIAUX D'EXCAVATION

La gestion des matériaux d'excavation est un aspect prépondérant dans l'élaboration du projet d'un tunnel. Le tunnel de Moutier et ses tranchées d'accès ont généré plus de 500'000 m³ de matériaux non recyclables. Il a fallu gérer la mise en dépôt simultanée des matériaux en provenance des chantiers voisins des tunnels du Raimeux et du Graitery, générant eux aussi de grandes quantités de marnes à entreposer.

Dans le cadre du projet de mise à l'enquête du secteur A16 Roches-Court, un site de grande capacité a été choisi dans la région pour stocker les matériaux inertes en provenance des chantiers. Ce site d'entreposage situé à Chaluet (commune de Court) a une capacité supérieure à un million et demi de mètres cube et peut accueillir les matériaux non recyclables de l'ensemble du secteur Roches-Court et d'une partie des volumes excavés dans la Vallée de Tavannes.

L'objectif du maître de l'ouvrage consistait à acheminer les matériaux depuis Moutier jusqu'à Court sans passer par la route très fréquentée des Gorges. En installant un ruban transporteur dans la galerie de reconnaissance géologique du tunnel du Graitery, il a été possible de transporter plus de deux millions de tonnes de matériaux de Moutier à Court. La galerie de reconnaissance, réaménagée après le démontage du ruban transporteur, fera office de galerie de sécurité du tunnel du Graitery.



Grâce à une piste de chantier reliant les deux portails du tunnel de Moutier pendant la phase de construction et prolongée jusqu'au portail nord du tunnel du Graitery, une grande partie des matériaux non recyclables extraits à Moutier a pu être acheminée jusqu'au site de Chaluet en respectant l'objectif fixé.

Le réaménagement de la route menant du portail sud du tunnel du Graitery au site de dépôt de Chaluet, dans une zone peu peuplée et à moindre circulation, a permis de minimiser les impacts de la mise en dépôt d'une quantité considérable de matériaux d'excavation.



4 décembre 2006 : fête de Sainte-Barbe et percement du tunnel.

LE TUNNEL DE MOUTIER EN BREF

Longueur totale du tube amont : 1'208 m

- tranchée couverte amont nord : 13 m
- tranchée couverte amont sud : 45 m

Longueur totale du tube aval : 1'181 m

- tranchée couverte aval nord : 10 m
- tranchée couverte aval sud : 42 m

Chaussées unidirectionnelles, largeur : 7.50 m

Profil en long : déclivité de 2,79%

Dévers : de 3 à 6%

Géologie : Molasse d'eau douce inférieure (USM)

Couverture maximale : 49 m

Couverture minimale (hors portails) : 8 m

Section d'excavation au tunnelier : 107 m²

Section d'excavation à l'attaque ponctuelle : variable, max. 157 m²

Excavation totale : 300'000 m³ en tunnel, 200'000 m³ pour les tranchées d'accès

Tunnelier avec bouclier et vérins sur anneaux de voussoirs :

- diamètre : 11.7 m
- poids total : 160 t
- puissance : 86'400 kN

Béton :

- pompé : 22'000 m³
- projeté : 34'000 m³
- revêtement : 42'000 m³
- préfabriqué (voussoirs, galerie technique) : 18'500 m³

Cintres métalliques de soutènement : 6'000 t

Tubes métalliques pour voûtes parapluie : 65'000 m

Passages transversaux : 4

