



SOMMAIRE

Présentation	2
Géologie	3
Projet	4
Déroulement des travaux	6
Concept de ventilation	7
Le tunnel du Graitery en bref	8



17 août 2010 : manifestation officielle marquant le percement du tunnel du Graitery.

PRÉSENTATION

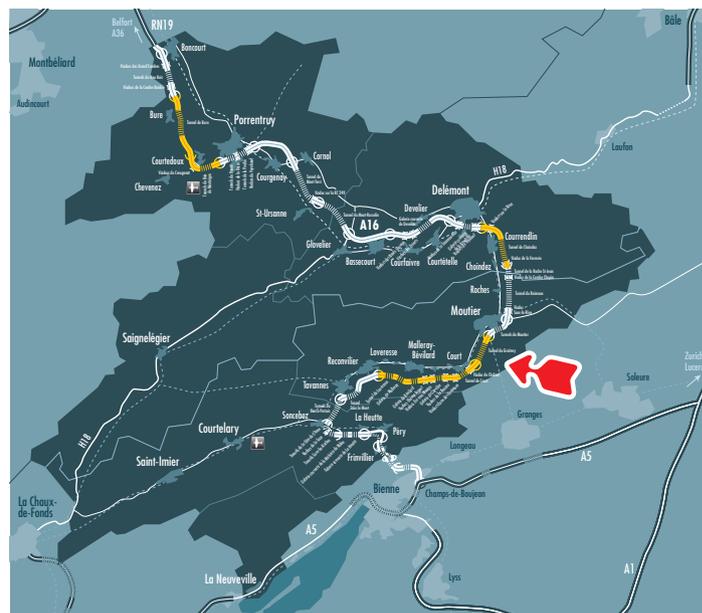
La montagne du Graitery est traversée par le tunnel éponyme, qui permet à la Transjurane de relier Moutier à Court. Ce tunnel est un atout majeur au niveau du trafic routier régional. Il permet d'améliorer la sécurité routière, en proposant une alternative sécurisée à la route des Gorges, théâtre de nombreux accidents, parfois mortels.

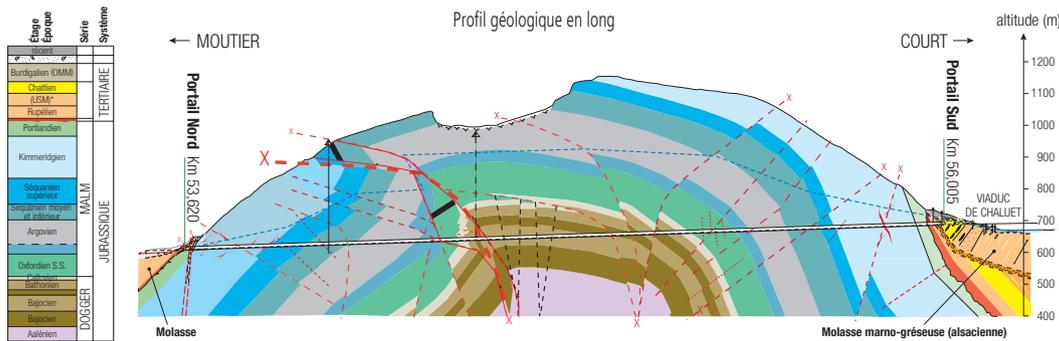
Constitué d'un tunnel à circulation bidirectionnelle et d'une galerie de sécurité, le tunnel du Graitery présente une longueur totale de 2'472 m dont 2'389 construits en souterrain et 83 m en tranchées couvertes dans la zone des portails.

Le profil en fer à cheval est complété par un radier contrevouté. La chaussée, d'une largeur de 7,50 m, est bordée de deux trottoirs. Le tunnel ne dispose pas de galerie technique sous la chaussée, tous les équipements étant placés dans les tubes posés sous les trottoirs.

A chaque portail du tunnel, une centrale technique abrite les équipements d'exploitation et de sécurité. Le bâtiment nord contient une centrale de ventilation avec cheminée qui assure l'évacuation de l'air vicié et des fumées en cas d'incendie.

La galerie de sécurité, réalisée de 1998 à 1999, a d'abord servi à la reconnaissance géologique, puis au transport de matériaux. Des travaux préparatoires ont été réalisés au portail sud de 2005 à 2008, puis au portail nord en 2006. La réalisation du tunnel a commencé en 2007 pour se terminer en 2013.





GÉOLOGIE

Le tunnel traverse l'anticlinal du Graitery, dont les flancs nord et sud sont constitués des formations de la Molasse d'eau douce inférieure ou Paléogène supérieur (roches âgées d'environ 23 à 34 millions d'années), et de calcaires et marnes du Malm ou Jurassique supérieur (roches âgées d'environ 145 à 161 millions d'années). Au cœur du massif, le tunnel touche le Dogger ou Jurassique moyen (datant d'environ 161 à 175 millions d'années).

Le profil en long géologique ci-dessus montre que le tunnel traverse deux fois chaque formation géologique.

Les formations calcaires du Malm supérieur, représentées en bleu, sont constituées de bancs décimétriques à plurimétriques. Des cavernes karstiques y ont été rencontrées, mais de faible ampleur, ce qui n'a que peu retardé les travaux d'avancement du tunnel.

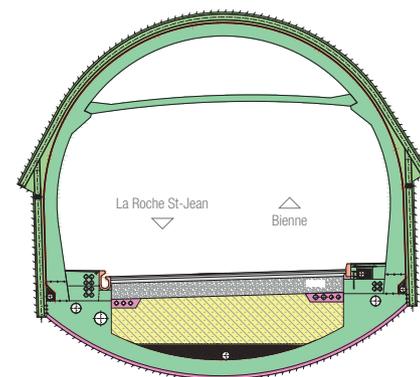
Les couches marneuses (Malm inférieur, Argovien et Oxfordien), en gris respectivement en vert sur le profil géologique, sont relativement étanches et contiennent des argiles connues pour leur potentiel de gonflement.

Les formations du Dogger (brun) comprennent des calcaires oolithiques, massifs et durs. D'importantes venues d'eau du massif ont été rencontrées dans les formations calcaires du Malm. L'effet « bouchon » des marnes oxfordiennes peu perméables a

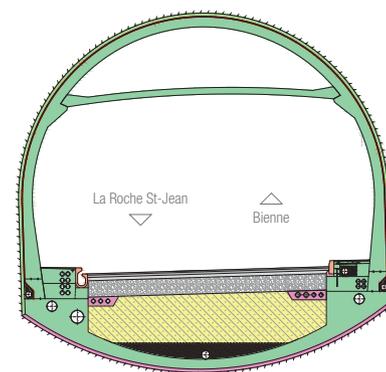
favorisé ces arrivées d'eau dans les couches sus-jacentes. Les couches du Dogger sous-jacentes sont pratiquement sèches.

Au portail sud, le tunnel traverse, sur une cinquantaine de mètres, une molasse de l'Oligocène très argileuse et de mauvaise qualité géotechnique. Le franchissement de cette zone très instable a nécessité la mise en œuvre de méthodes d'avancement spécifiques décrites ci-après.





Profil Marnes



Profil Calcaire

PROJET

TUNNEL PRINCIPAL : 2'339 MÈTRES RÉALISÉS DEPUIS LE PORTAIL MOUTIER

Les excavations en calcaires (sur une longueur de 1'797 m) ont été réalisées à l'explosif. L'ensemble de la section, à l'exception du radier contrevouté, a été excavé par volées d'environ quatre mètres. Après l'excavation, la roche a été revêtue d'une couche de 10 à 15 cm de béton projeté armé de fibres d'acier.

Les marnes (sur 542 m) ont été abattues en deux phases (calotte / stross) avec une haveuse de plus de 100 tonnes. Après chaque mètre excavé, la section a été immédiatement renforcée par des cintres métalliques et du béton coulé.

Le radier contrevouté a été excavé sur toute la longueur du tunnel par une fraiseuse, utilisée habituellement pour l'enlèvement de revêtements routiers. Il a ensuite été bétonné par étapes de 12.50 m, armées dans les parties marnieuses.

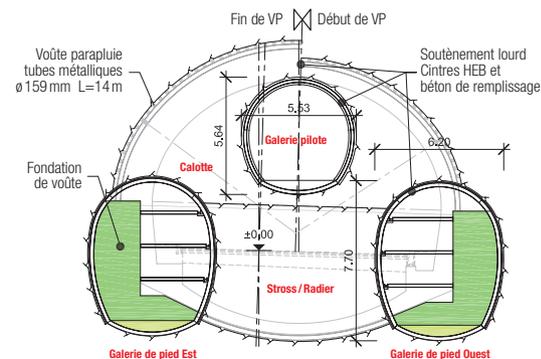
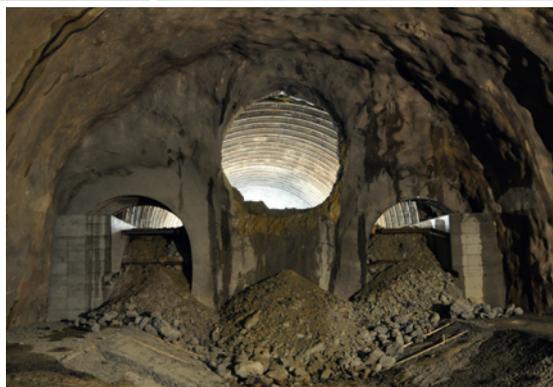
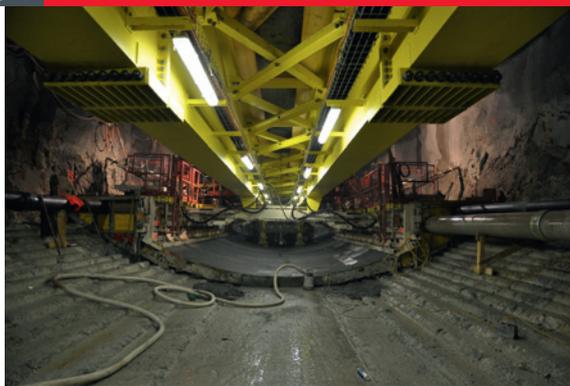
Un canal de ventilation, situé au-dessus de la dalle intermédiaire, d'une portée de huit mètres qui s'appuie sur l'anneau intérieur, a été réalisé sur plus de deux kilomètres depuis le portail nord. Il permet l'évacuation de l'air vicié et des fumées en cas d'incendie.

SECTIONS DIVISÉES : 50 DERNIERS MÈTRES AU PORTAIL COURT

Des difficultés sont apparues lors de la réalisation du portail côté Court. La masse marnieuse, qui était extrêmement dure à l'excavation, se dégradait rapidement dès sa mise en contact avec l'air ambiant. En raison de ce phénomène, la fouille a été protégée et un projet de confortement a dû être réalisé. Pour stabiliser la zone du portail, il a été nécessaire de construire une longrine ancrée supplémentaire en dessus du tunnel et une enceinte de pieux armés sur les côtés.

Le projet d'excavation et de soutènement des 50 m de tunnel adjacents a été adapté durant cet intervalle, pour tenir compte des conditions observées in situ. Ce tronçon, qui comporte trois voies de circulation en raison de la piste de décélération de la jonction de Court, a une section plus importante atteignant 210 m².

Les mauvaises conditions géologiques et l'importance de la surface à abattre ont conditionné l'excavation qui a été réalisée à partir d'une galerie pilote et de deux galeries latérales. La réduction des surfaces permet de minimiser les risques à l'avancement : éboulement du front, chutes de blocs ou déformations trop importantes. Les étapes de réalisation sont représentées dans le schéma ci-contre :



Profil d'excavation et de soutènement avec section élargie du tronçon en Molasse au portail sud

- 1) excavation et soutènement de la galerie pilote
- 2) réalisation des deux galeries de pied: bétonnage des fondations de voûte dans chaque galerie
- 3) mise en place de voûtes parapluie par forages de tubes métalliques, scellés au terrain
- 4) excavation et soutènement, mètre par mètre à l'abri de la voûte parapluie, de la partie supérieure (calotte)
- 5) excavation et soutènement de la partie inférieure (stross-radier)
- 6) réalisation du revêtement intérieur en béton armé.

AMÉNAGEMENTS INTÉRIEURS

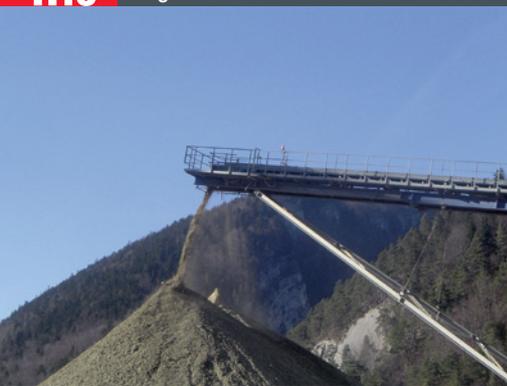
Un lé d'étanchéité en PVC de deux millimètres d'épaisseur est fixé au soutènement. L'eau qui ruisselle sur cette feuille est récoltée en pied de voûte par deux drains longitudinaux de 20 cm de diamètre. Tous les 50 m, une niche de drainage récolte ces eaux dans une conduite de transport de 32 cm de diamètre. L'eau de drainage est canalisée et déversée dans la Birse à Moutier.

Le revêtement du tunnel, appelé aussi anneau intérieur, mesure au minimum 30 cm d'épaisseur dans les calcaires et 40 cm dans les marnes. Il est bétonné sur toute la longueur du tunnel, généralement sans armatures. Un seul coffrage de 12.50 m a été utilisé pour tout le tunnel, à l'exception des niches de stationnement et du tronçon à trois voies, réalisés avec des coffrages spécifiques.

La chaussée, constituée de deux voies de circulation, a une largeur de 7.50 m et est bordée de deux trottoirs. Le dévers unique est de trois pourcents. Sous les trottoirs un réseau de gaines de protection pour câbles est aménagé. Tous les 50 m, une chambre de tirage à câbles permet la distribution des équipements électromécaniques.

Le système de sécurité du tunnel de Graivery comprend :

- une galerie de fuite, parallèle au tunnel principal
- huit galeries de liaison pour les piétons, espacées de moins de 300 m, menant à la galerie de fuite
- deux niches de stationnement doubles, espacées d'environ 800 m
- tous les 150 m, des niches SOS-hydrant, équipées d'un extincteur, d'un téléphone de secours et d'une borne incendie.



DÉROULEMENT DES TRAVAUX

Le chantier a débuté en novembre 2006 au portail nord. La fouille terminée, les travaux d'excavation du tunnel ont débuté en juin 2007 en direction de Court. Dans les calcaires, toute la section a été abattue à l'explosif. Etant donné que seule la calotte était excavée dans un premier temps dans les marnes, des rampes ont été aménagées à chaque transition pour y accéder.

L'excavation des cinquante derniers mètres (voir partie « Projet » en pages 4 et 5) a pris 18 mois pour se terminer à fin septembre 2011, coïncidant avec la fin des bétonnages de l'anneau intérieur sur le reste du tunnel.

L'excavation du tunnel n'ayant pu se faire depuis les deux portails, des mesures logistiques importantes ont été prises pour réaliser les excavations du stross dans les zones marnées et l'ensemble du radier voûté, tout en bétonnant ledit radier. Deux équipements supplémentaires ont ainsi dû être mis en place :

- un concasseur, posé dans une des deux niches de stationnement et une installation de chargement des matériaux d'excavation sur le ruban transporteur monté dans la galerie de reconnaissance géologique,
- un pont provisoire métallique de 25 m, enjambant le chantier de pose des armatures et de bétonnage du radier voûté, permettant au trafic de chantier d'atteindre les fronts d'attaque situés au-delà de la zone en cours de bétonnage.

Ainsi, pendant 18 mois, des travaux d'excavation, de soutènement, de drainage, d'étanchéité, de bétonnage et d'aménagements intérieurs se sont déroulés simultanément sur plus de deux kilomètres avec un seul accès, posant un grand défi que l'entreprise a relevé avec beaucoup de maîtrise.





CONCEPT DE VENTILATION

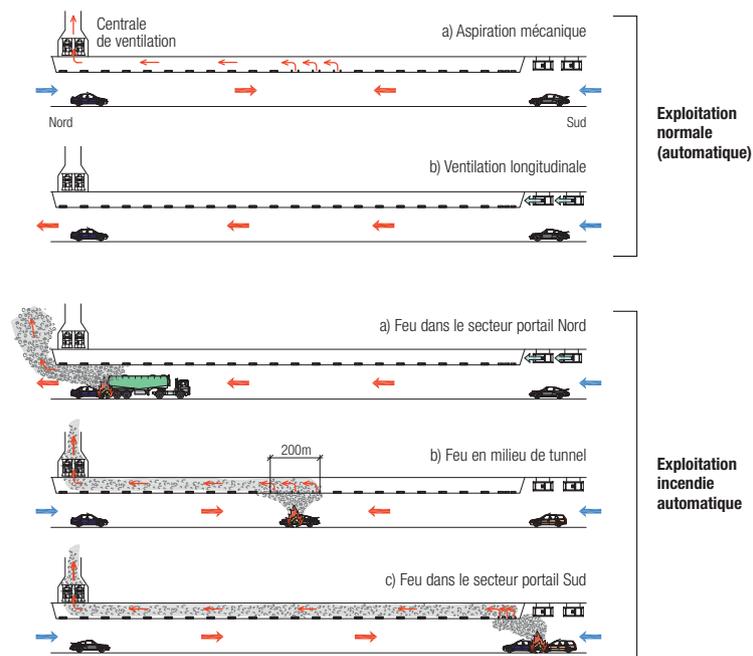
À l'exception des deux cent cinquante derniers mètres au Sud, le tunnel comporte une dalle de ventilation en dessus de l'espace réservé au trafic. Le canal de ventilation délimité par cette dalle et la voûte du tunnel est relié à la centrale de ventilation du portail nord où deux ventilateurs de 2.50 m de diamètre aspirent l'air vicié et le rejettent dans l'atmosphère via une cheminée de 15 m de hauteur. La dalle de ventilation est ajourée tous les 100 m par des ouvertures de 4.50 m² munies de clapets.

Sur la partie dépourvue de dalle, deux groupes de quatre ventilateurs sont fixés à la voûte de la partie sud du tunnel.

Le concept de ventilation du tunnel du Graiterly est le suivant:

- en situation d'exploitation normale, les huit ventilateurs du Sud soutiennent l'évacuation naturelle de l'air vicié dans l'une ou l'autre direction;
- en cas de bouchon ou de trafic équilibré entre le Nord et de Sud, trois clapets s'ouvrent au centre du tunnel et l'air est aspiré depuis la centrale nord;
- en cas d'incendie, les systèmes de détection automatique localisent l'incident. Trois clapets motorisés sont ouverts dans la dalle de ventilation au droit du sinistre et les deux ventilateurs de la centrale nord aspirent à plein régime les fumées produites dans le tunnel.

Types d'exploitation du système de ventilation





LE TUNNEL DU GRAITERY EN BREF

Longueur totale: 2'472 m

Longueur d'excavation: 2'389 m

Longueur des tranchées couvertes: 83 m

- portail nord: 65 m

- portail sud: 18 m

Chaussée bidirectionnelle, largeur: 7.50 m

Profil en long: déclivité de 3.285% de Moutier à Court, puis de 2% sur les derniers mètres du tunnel

Dévers: 3%

Géologie: 1'797 m dans les calcaires, 542 m dans les marnes et 50 m en molasse

Couverture maximale: 500 m environ

Section d'excavation: 97 m² dans les calcaires, 102 m² dans les marnes et 210 m² au portail sud

Excavation: environ 240'000 m³

Béton:

- pompé: 36'400 m³

- projeté: 5'000 m³

- revêtement (voûte et radier): 48'600 m³

Cintres métalliques de soutènement: 3'000 t

Armatures: 1'605 t

Tubes pour équipements: 66'800 m

Passages transversaux: 8

