

Ouvrages du génie civil français dans le monde

Tunnels. 1871-1915



1871. Tunnel du Mont Cenis. Portail côté France

Georges Pilot

Ingénieur Général des Ponts et Chaussées honoraire

Tunnels (1871- 1915)

Au dernier quart de 19^{ème} siècle, les réseaux de chemin de fer sont déjà très développés dans de nombreux pays d'Europe. Toutefois, leur extension se heurte fréquemment à des chaînes montagneuses, parfois dans le pays même (le Jura en Suisse par exemple), souvent aux frontières françaises, le Jura, les Alpes et les Pyrénées.

Les connexions nationales où internationales seront assurées par des tunnels de longueur inconnue jusqu'alors (tunnel du Mont Cenis mis en service en 1871) dont le creusement bénéficiera de nouvelles techniques (marteaux pneumatiques, nouveaux explosifs).

Les entreprises françaises de travaux publics sont très actives pour la réalisation de ces grands ouvrages, particulièrement aux frontières nationales et à l'étranger. Dans un premier temps, les entreprises telles que Léon Chagnaud, Fougerolles frères, Daydé, Grands travaux de Marseille, Prudhomme, Allard, Coiseau, Duparchy, Couvreur, (etc...) assurent l'exécution de tunnels remarquables présentés dans la première partie de ce chapitre :

- Tunnel du Mont-Cenis entre la France et l'Italie (1871, 12.233m)
- Tunnel du Col de Tende entre la France et l'Italie (1898, 8099 m, précédé en 1882 par le tunnel routier, 1.882 m)
- Tunnel de Ricken en Suisse (1908, 8.604 m)
- Tunnel du Lötschberg (1913, 14.605 m)
- Tunnel du Mont d'Or entre la France et la Suisse (1915, 6.097 m)
- Tunnel Moutier-Granges en Suisse (1915, 8.578 m)
- Tunnel du Somport entre la France et l'Espagne (1915, 7.874 m).

Après la seconde guerre mondiale, de nombreux tunnels sont construits à l'étranger par des entreprises françaises : ils font l'objet d'un chapitre suivant.

La préparation de ce document a bénéficié de la contribution de Jean-Louis Bordes, chaleureusement remercié pour ses recommandations.

Les traversées alpines entre la France et l'Italie

Depuis 1871, la traversée des Alpes entre la France et l'Italie est principalement assurée par des tunnels, d'abord ferroviaires puis routiers. Les principaux cols ° utilisés précédemment sont toujours en service.

Pour mémoire : Tunnel franco-italien de la Traversette, première traversée alpine, ouvrage piétonnier (1479-1480).

Les tunnels

Tunnel ferroviaire du Mont Cenis (1871)

Il est le premier tunnel construit sous les Alpes, le plus long au monde à son époque (13.000 m). Le début du creusement est tellement lent que sera réalisé, en parallèle, l'éphémère « Chemin de fer du Mont-Cenis (1868-71) », passant par le col du Mont-Cenis. La réalisation du tunnel sera marquée par l'invention déterminante de la perforatrice pneumatique de Gaston Sommeillier.

Tunnel routier du col de Tende (1882)

Lors de sa construction il est le plus long tunnel routier existant (1.882 m)

Tunnel ferroviaire du col de Tende (1898)

Ouvrage long de 8.099 m sur la ligne Nice-Cunéo. C'est le tunnel le plus long de cette ligne qui comporte également le tunnel de Braus (5.938 m), le tunnel du Mont-Grazian (3.862 m) et des tunnels hélicoïdaux (de 1800 m à 3.000 m de long).

Tunnel routier du Mont-Blanc (1965)

Ce tunnel, entre Chamonix et Courmayeur, était l'un des plus longs du monde (11.600 m) à sa construction. Ouvrage mythique sous le massif du Mont-Blanc.

Tunnel routier du Fréjus (1980)

Cet ouvrage, sensiblement parallèle au tunnel ferroviaire du Mont Cenis, mesure 12.895 m de long, l'un des plus longs ouvrages routiers de son temps. Il a été récemment doublé d'une galerie de sécurité.

Tunnel ferroviaire de la ligne Lyon-Turin (horizon 2025)

Ouvrage long de 57 km entre Saint-Jean de Maurienne en France et Suse en Italie

Les principaux cols °

Ils assurent tout le trafic jusqu'à la construction des premiers tunnels, partir de 1871.

Le col des Montets (1.461 m) entre Chamonix et Martigny. Le col du Petit Saint-Saint Bernard (2.188 m), entre la vallée de l'Isère et Val d'Aoste: la route ouverte en 1867 est due à Napoléon III. Le col du Mont Cenis (2.088 m), entre Modane et Suza, constitue un passage mythique (Général Bonaparte et ses 30.000 hommes en 1798) ; le col recevra l'éphémère « Chemin de fer du Mont-Cenis (1868-1871) ». Le col de Montgenèvre (1850 m) relie Briançon à Sestrières. Le col de Larche (1991 m) met en relation la vallée de l'Ubaye et la vallée de la Stura di Demonte: il assurera le passage des troupes de François Ier (1515), à la veille de la bataille de Marignan. Le col de Tende (1871 m) a été très important en tant que seul col largement pratiqué des Alpes du Sud.



1871. Tunnel du Mont-Cenis (France-Italie) 1/4

Egalement nommé Tunnel ferroviaire du Fréjus

Ce tunnel ferroviaire entre la France et l'Italie a été construit de 1857 à 1871, sous le massif du Fréjus. Long de 12.233 m (dont 6907 en France), sous 1.600 m de recouvrement, il était alors le plus long tunnel au monde : il vient collecter le trafic de la route du col du Mont-Cenis.

Il est marqué par la mise en œuvre des perforatrices mécaniques à air comprimé qui marquent un tournant décisif dans le creusement des tunnels. En 1857 la construction du tunnel s'engage sur le territoire du Royaume de Sardaigne, des deux côtés des Alpes. A son achèvement en 1871 c'est un ouvrage franco-italien.

Rappel historique

Le Duché de Savoie avait été envahi en 1792 par les troupes révolutionnaires françaises : à la place est créé le Département du Mont-Blanc. Mais en 1815, à la suite du deuxième traité de Vienne, ce département est rattaché au Royaume de Sardaigne. Alors, toutes les initiatives en faveur du tunnel, sa conception, sa direction et le début des travaux sont sardes.

Le plébiscite des 22-23 avril 1860 entraîne le rattachement de la Savoie à la France : l'exécution du tunnel du Mont Cenis devient alors une entreprise franco-italienne.....

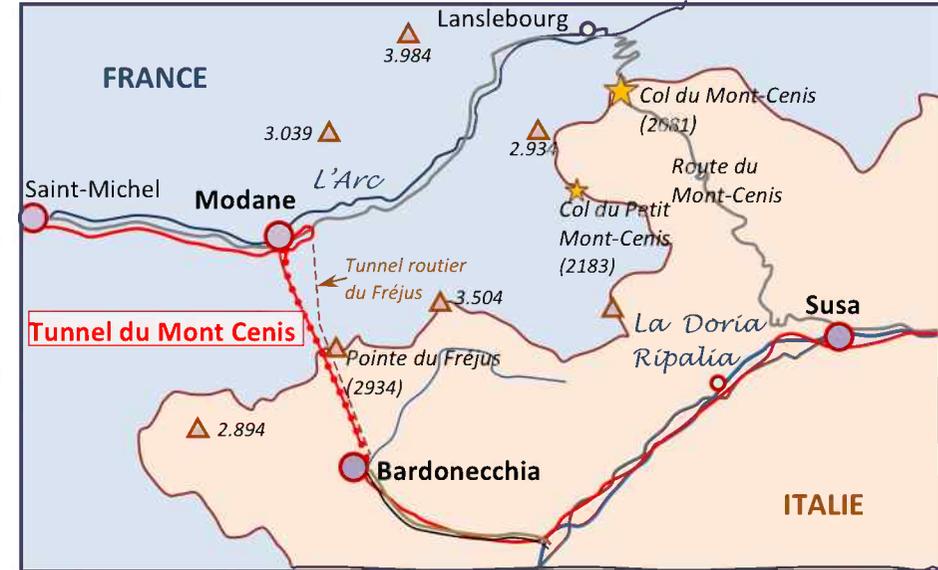
Avant le tunnel, le passage du col du Mont-Cenis

Reliant la vallée l'Arc en Maurienne (Lanslebourg) en France à la vallée de la Doria Ripalia (Bardonecchia) en Italie, c'est-à-dire Lyon/Paris à Turin/Milan, le col du Mont-Cenis (2.081 m) constituait le passage naturel à travers les Alpes du Nord.

De fait il a été pratiqué depuis la plus haute antiquité, utilisé par Hannibal (dit-on), par des rois de France, etc... Mais la chaussée était mauvaise, quasi impraticable en hiver. Il revient à Bonaparte, dans ses projets militaires, d'avoir ordonné (1802) la construction de la route du Mont-Cenis, pratiquement achevée en 1806. En vue d'assurer la sécurité du transport, Bonaparte renforça l'Hospice du Mont Cenis puis Napoléon développa son rôle.

Le trafic de la route du col du mont Cenis augmenta de façon considérable à partir des années 1810.

En 1815, la Savoie étant rattachée au Royaume de Sardaigne, cette route du Mont-Cenis devient une liaison cruciale, au point que le Roi Victor-Emanuel 1^{er} y installera des ouvrages militaires de défense... Mais pour le chemin de fer qui progresse des deux côtés des Alpes, le massif montagneux reste un obstacle à franchir : en surface ou en tunnel ? Cette dernière option l'emportera : on construira le tunnel du Mont-Cenis.



Carte sommaire de la région et de situation du tunnel du Mont-Cenis. (Fond de plan de A. Duluc)



Les diligences sur la route du Mont-Cenis

1871. Tunnel du Mont-Cenis (France-Italie) 2/4

Le projet de tunnel

Le premier projet est l'œuvre de **Jean-François Médail**, né à Bardonecchia, dont le nom est attaché à ce tunnel. En 1815 il est commissaire des Douanes à Montmélian (Savoie) puis il devient *entrepreneur de routes*, notamment à Lyon où il prend connaissance du percement du tunnel ferroviaire de Terre-Noire. Le rapprochement avec la traversée des Alpes se fait alors. Après des reconnaissances et des relevés, il prône la construction d'un tunnel là où le massif rocheux est le moins large : ce sera entre Modane et Bardonecchia.

En **1839**, son mémoire est transmis au roi de Sardaigne Charles-Albert, appuyé par le jeune économiste Camille Benso, comte de Cavour.

A la mort de J.F. Médail en 1844, la Commission chargée du dossier ne s'était pas encore prononcée.....

Ingénieur de l'Athénée de Namur, le Belge **Henri-Joseph Maus** s'était fait connaître par son activité sur la ligne ferroviaire Liège/Aix-la-Chapelle.

En 1845, à l'appel du roi de Sardaigne Charles-Albert, il se rend sur le chantier de la ligne Gènes-Turin puis il étudie le tracé d'une voie ferrée à travers les Alpes : le roi est en effet préoccupé par l'importance prise par le port de Marseille au détriment du port de Gènes à cause de la mauvaise desserte de ce dernier.

Assisté du Professeur de géologie Albert Sismonda il recherche la meilleure localisation pour la traversée et il conclut, en **1848/49** au tracé déjà recommandé par Jean-François Médail 10 ans plus tôt.

Plus, Maus apporte un procédé de creusement mécanique. Une machine équipée de 8 fleurets attaque le front de taille par percussion. L'énergie est apportée par un long câble entraîné, à l'extérieur, par des roues hydrauliques. L'efficacité du processus est douteuse, mais à cause d'essais de perforation prometteurs, le projet de construction du tunnel est soumis au Parlement. Toutefois, en raison de l'état des finances, le projet est ajourné.....

La perforatrice à air comprimé de G. Sommeiller.

Il revint au Suisse **Daniel Colladon** de proposer (brevet de 1855) une solution aux travaux de creusement des tunnels. Dans le même temps l'ingénieur anglais **Thomas Bartlett** utilisait en Savoie (1855) une perforatrice utilisant l'air comprimé et la vapeur.

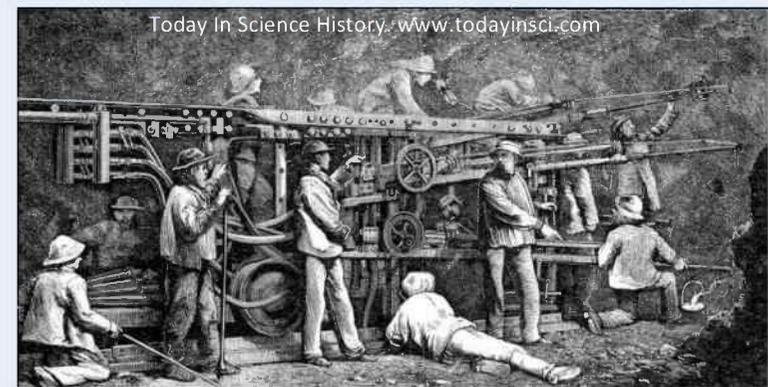
En fait, l'usage de l'air comprimé dans les chemins de fer revint d'actualité dans une tentative de mise au point d'une traction hydropneumatique des convois sur fortes pentes : un tube posé en rail central reçoit un piston mu par la pression de l'air comprimé. Trois ingénieurs qui avaient achevé la construction de la ligne Gène-Turin s'y attachèrent : **Germain Sommeiller** (Savoyard, ingénieur de l'Université de Turin), **Sébastien Grandis** (Ingénieur mécanicien), **Severino Grattoni** (ingénieur de l'Université de Turin).

Ils s'intéressent alors au percement du tunnel du Mont-Cenis. D'autant plus facilement que Germain Sommeiller devient membre du Parlement : il est alors l'acteur principal de la difficile mise au point de la perforatrice à air comprimé.

Les équipements mécaniques du bélier hydraulique pour comprimer l'air sur le chantier sont préparés par Cockerill en Belgique et testés en vraie grandeur avec succès en 1857.

La perforatrice à air comprimé se présente sous la forme d'un affût sur rail de 12 tonnes, comportant les réservoirs d'air comprimé et les fleurets qui attaquent la roche en tournant.

Le dispositif complet auquel Sommeiller a attaché son nom, bélier et perforatrices ne sera utilisé qu'à partir de **1861** au sud du tunnel et en **1864** au nord.



La machine de forage de Sommeiller
D'après le Harper's New Monthly Magazine, July 1871

1871. Tunnel du Mont Cenis (France-Italie) 3/4

Le creusement du tunnel du Mont Cenis

En 1857, sous l'impulsion de Cavour, devenu Premier Ministre, le Parlement sarde autorise le creusement du tunnel alpin entre Modane et Bardonecchia, les dépenses étant couvertes par le gouvernement, avec une participation de la Compagnie de chemin de fer Victor Emmanuel.

G. Sommeiller est nommé Directeur des travaux, assisté de Grandis et de Grattoni.

Cette même année on inaugure en grande pompe le lancement des travaux. Mais l'exécution véritable du chantier sera différée à cause de l'achèvement des relevés géodésiques (1858) et ralentie à cause du travail de creusement à la pioche et à la barre à mine (0,60 m par jour). La confection, le transport et l'installation des compresseurs (1858-1960) prennent du temps : les perforatrices pneumatiques n'entrent en service que début 1861!

Le tunnel est conçu et réalisé pour deux voies de circulation : il mesure 8 m de largeur. Il est maçonné sur toute sa longueur, avec un revêtement épais de 0,55 m à 1 m selon les formations traversées, plus un radier concave entre piédroits dans les zones les moins résistantes.

Les formations avaient été bien identifiées par les études géologiques du Pr Sismonda. Du nord au sud : 128 m d'éboulis, 1.967 m de schistes noirâtres, 388 m de quartzite, 808 m de calcaire gypseux, puis environ 9.000 m de calcaire schisteux.

L'entrée sud, côté italien, est à 1.335 m d'altitude, l'entrée nord, côté savoyard, à 1.203 m. Le profil du tunnel est classiquement conçu en double pente : il comporte d'abord une légère montée de 0,5 mm/m à partir de l'Italie, puis une descente continue de 23 mm/m jusqu'à la sortie côté Savoie.

Dans les premières années, le creusement se fait à la main et l'avancement n'est que de 0,6 m par jour. Avec les perforatrices mécaniques, l'avancement quotidien atteindra 2 m.

Les perforatrices creusent environ 80 trous de 80 cm de profondeur sur le front d'attaque, la plupart recevant les cartouches de « poudre de guerre ». Avant la mise à feu, un portail de sécurité mobile est mis en place afin de protéger les ouvriers.

(En 1865, l'atelier de fabrication des cartouches a explosé avec ses 5 tonnes de poudre, causant la mort des 4 ouvriers et des dégâts considérables)

Le creusement se fait en deux temps. D'abord une galerie d'attaque, d'environ 3,40 m de largeur et 2,40 m de haut, qui reçoit les perforatrices pneumatiques. Les fleurets ont un mouvement de rotation et ils sont refroidis pas eau. Puis le creusement est effectué en grande section afin de procéder au plus vite au revêtement en maçonnerie.

La veine de quartzite est atteinte en 1865, et l'avancement n'est plus que de 0,60 m par jour.

C'est cette même année que, face à la lenteur des travaux, en 1865, sera autorisée la construction du Chemin de fer du Mont Cenis, qui suit le tracé de la route. Ce chemin de fer de l'ingénieur anglais Fell sera entièrement ouvert en 1868 et il fonctionnera jusqu'à l'entrée en fonction du tunnel en 1871.



La pose du dernier rail dans le tunnel du Mont-Cenis

1871. Tunnel du Mont Cenis. (France-Italie). 4/4

Le chemin de fer du Mont Cenis

Face à la lenteur de mise en place des installations et au faible avancement des travaux, certains esprits envisagent une durée de 10.. 30 ans...pour réaliser le creusement du tunnel. Alors, l'anglais Sir James Hudson, flairant la bonne affaire, proposa en 1863 d'installer un chemin de fer passant par le col du Mont Cenis utilisant des locomotives adaptées à la montagne par l'ingénieur anglais J.B. Fell.

Ces locomotives sont équipées, en plus du mode normal de traction, de 2 rouleaux à axe vertical qui enserrant un troisième rail central : elles appliquent alors un effort de traction supplémentaire qui permet de franchir les fortes rampes supérieures à 40 mm/m.

La Compagnie Brassey and C° rassemble les crédits nécessaires (ligne et locomotives) et, par un décret de 1865, elle reçoit de Napoléon III l'autorisation « de placer sur la route impériale N° 6 entre Saint-Michel-de-Maurienne et la frontière d'Italie, un chemin de fer desservi par des locomotives à crémaillère ».

Le Chemin de fer du Mont-Cenis sera ouvert jusqu'au Piémont en 1868.

L'autorisation d'exploiter ce chemin de fer ne valait que jusqu'à l'ouverture du trafic dans le tunnel, aussi il s'arrêtera en 1871, sans qu'aucune autre utilisation ne soit trouvée.



Noter le rail central typique du dispositif de Fell pour les fortes pentes

La couche de quartzite est franchie en 1867 et le creusement reprend normalement (2 m par jour). Le 25 décembre 1870 se produit la jonction des deux équipes.

Le chantier aura compté jusqu'à 4.000 ouvriers, piémontais et savoyards.

Sur ce chantier, la température n'a pas excédé 27 °C, mais la ventilation a été difficile. Diverses tentatives ont été peu convaincantes jusqu'à l'installation de deux puissantes installations : un aspirateur à cloche côté nord et un aspirateur centrifuge côté sud.

Le revêtement du tunnel s'achève au cours de l'année 1871, de même que la monumentale tête d'entrée côté français (devenue musée).

Le tunnel du Mont-Cenis fera l'objet d'une inauguration fastueuse le 17 septembre 1871, quelques mois après le décès de Germain Sommeiller.....

Autres Travaux.

Peu après la mise en service, des mouvements de terrain obligent à aménager la galerie coté France.

En 1881, de nouveaux mouvements de terrain amènent à allonger la galerie à 13.567 m.

En 1915, la ligne est électrifiée : à cause de l'incendie d'un train, un accident fit 16 victimes.

En 2007 sont achevés des travaux de modernisation afin de permettre le ferroutage des poids



La tête monumentale côté France. Elle a été détruite en 1944 et reconstruite ailleurs. Elle se compose de pierres des formations rencontrées et comporte des écussons de Suse, Turin, Modane, avec les armes de Chambéry,, Paris, Lyon, Saint Jeoire.

1882, 1898. Tunnel routier et Tunnel ferroviaire du Col de Tende (Italie-France)

Un peu d'histoire....L'histoire des régions à l'ouest/sud-ouest des Alpes est complexe : Royaume de Sardaigne/Piémont-Sardaigne, Duché de Savoie, Comté de Nice, etc....En 1860, le Comté de Nice est rattaché à la France, à l'exception de la haute et de la basse Roya qui demeurent italiennes : c'est là que se trouve le col de Tende (1.870 m) sous lequel seront creusés, respectivement le Tunnel routier du Col de Tende (1882) et le Tunnel ferroviaire du Col de Tende (1.898).

Ainsi, l'exécution de ces deux ouvrages sera essentiellement italienne. Toutefois, l'extension du territoire français (en 1947) à la ligne de crête alpine place en France des parties importantes de ces deux tunnels : l'exploitation franco-italienne des ouvrages, le projet de doublement du tunnel routier font que la description des deux tunnels du col de Tende trouve sa place dans ce document.

Le tunnel routier du Col de Tende (1882)

Cet ouvrage laisse le passage à la RN 204, voie de grande importance entre Turin et Nice : c'est le passage le plus au sud entre France et Italie.

Il est long de 3.182 m, dont 1.485m sur le territoire français : lors de sa construction (1873-1882) il était le plus long tunnel routier d'Europe. Il présente une pente uniforme, de la tête française (1.279 m) à la tête italienne (1.321 m): les travaux se sont déroulés dans le sens sud-nord.

Il présente une coupe de demi-ellipse à grand axe vertical, de 6 m de largeur. La circulation bidirectionnelle est délicate, obligeant à réguler le passage des poids lourds.

Il existe un projet de doublement du tunnel, avec élargissement de l'ouvrage en service, et construction d'un second tube, parallèle au premier, avec des galeries d'évacuation communes.

Le tunnel ferroviaire du col de Tende (1898)

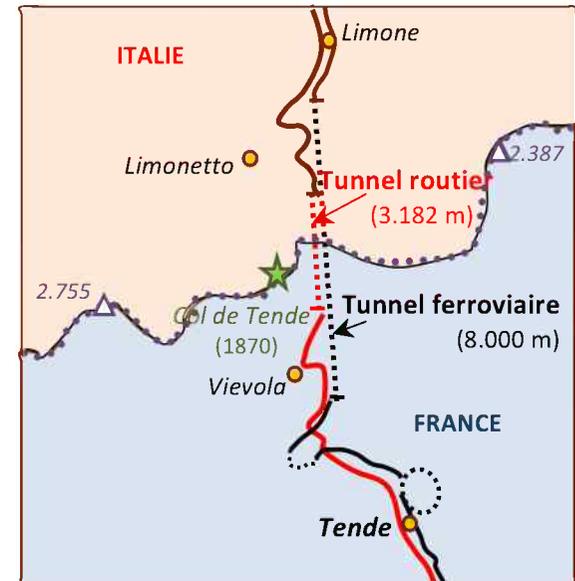
L'ouvrage se situe sur la ligne Coni-Breil-Vintimille/Nice. Il mesure 8.099 m de long, et se situe environ 250 m plus bas que le tunnel routier : c'était alors un des plus longs tunnels au monde.

Des projets ont été préparés dès le milieu du 19^{ème} siècle (Ingénieurs Filippo Cenotti et Petit-Nispel). De premières tentatives de creusement, au milieu du 18^{ème} siècle puis au milieu du 19^{ème} siècle ont échoué à cause de glissements de terrain.

Le tunnel mesure environ 8 m de largeur, avec la capacité de recevoir deux voies ferrées: une seule sera mise en place au milieu de l'ouvrage.

La construction (1889-1898) a été menée par de la main d'œuvre piémontaise (en majorité) et française.

Les guerres et leurs destructions ont gravement perturbé le service de cette ligne : les travaux côté français ne seront achevés qu'en 1928, puis la réouverture finale attendra 1978.



Position des tunnels du col de Tende



Tête sud du tunnel routier du col de Tende : on notera les importantes mesures de régulation du trafic.



Tête sud du tunnel ferroviaire du col de Tende : une seule voie est installée au centre du tunnel.

1908. Tunnel de Ricken (Suisse)

Le tunnel ferroviaire de Ricken, situé à l'est de la Suisse, relie deux régions séparées par le massif du Toggenburg et les sommets du Ricken. Au nord se trouve Saint-Gall et le lac de Constance, au sud, Lucerne et le lac des Quatre Cantons.

La construction de l'ouvrage a commencé en 1904 et elle s'est terminée en 1908. Le tunnel mesure 8.604 m de long, en alignement droit, avec une descente continue, du nord vers le sud, de 1,55 %. La couverture maximale est de 570 m.

[Le tunnel de Ricken est postérieur au Tunnel du Gothard (1881) ; il est contemporain des tunnels du Lötschberg, de l'Albula et du Simplon].

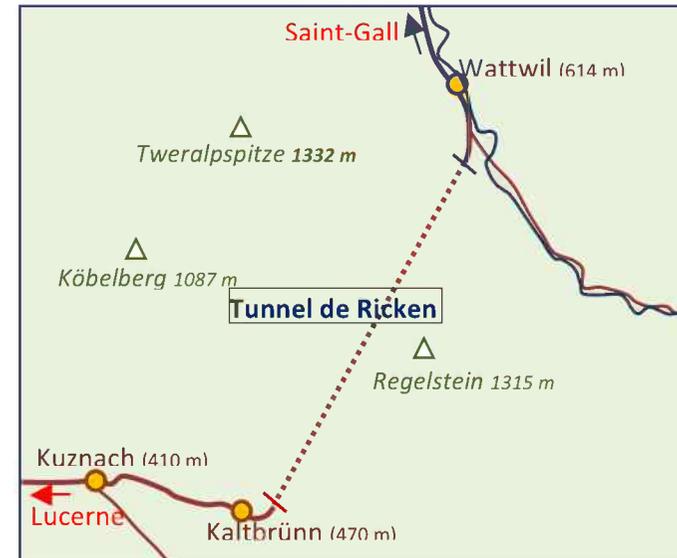
Il rencontre les formations de *Süsswassermolasse*, comportant des grès, des calcaires plus ou moins durs et des marnes, sans grandes difficultés pour les travaux.

Les filtrations d'eau ont été faibles : 2l/s au nord et 27 l/s au sud. Par ailleurs, des couches de lignite ont provoqué des émissions de méthane qui ont perturbé le chantier.

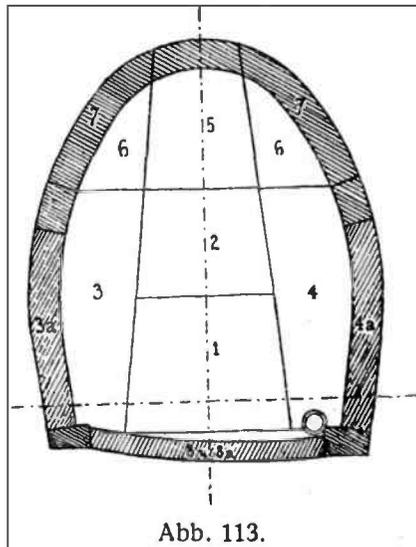
Les terrassements ont été exécutés à la main. Le revêtement comporte de 35 à 70 de maçonnerie de pierre.

La ligne a été électrifiée en 1927. Le tunnel est intégré au Voralpen Express (Lucerne-Saint-Gall).

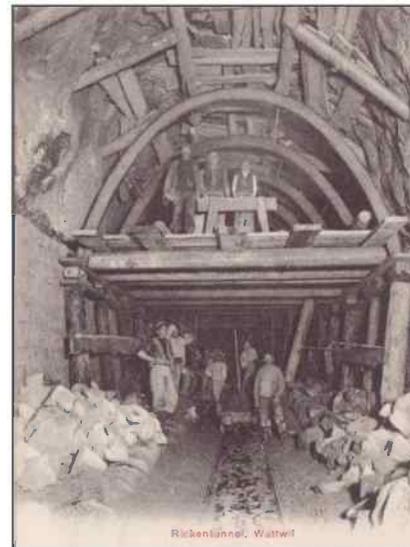
L'entreprise **Fougerolles** (en association) a réalisé les travaux.



D'après un document Schweers+Wall



Phases d'exécution <http://de.academic.ru>



Travaux en 1906 www.hofoberkich.ch



Circulation d'un train en 1908 www.wattwil.ch

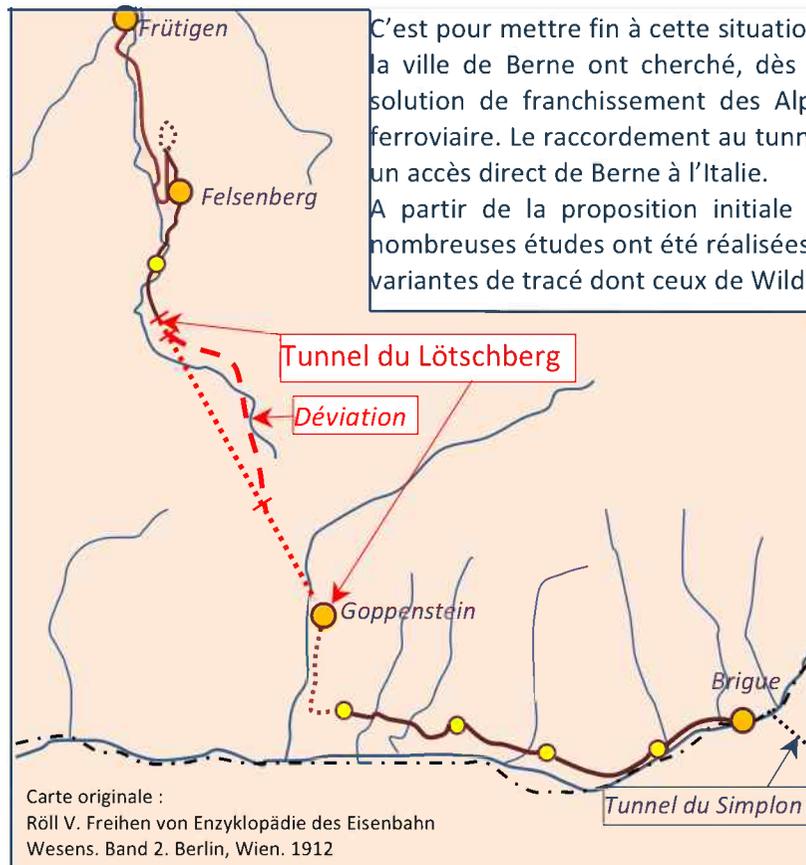
1913. Tunnel du Lötschberg. Suisse (1/4)

C'est un long tunnel ferroviaire de façade (14.605 m), situé sur un axe Nord-Sud du trafic suisse, qui assure à partir de 1913 la liaison entre la France (et la Grande Bretagne) via Berne et l'Italie par le tunnel du Simplon ouvert en 1906.

L'entreprise Chagnaud a joué un rôle majeur dans la construction de cet ouvrage, de même que dans la construction du tunnel de Moutier-Granges (8.560 m) en 1915.

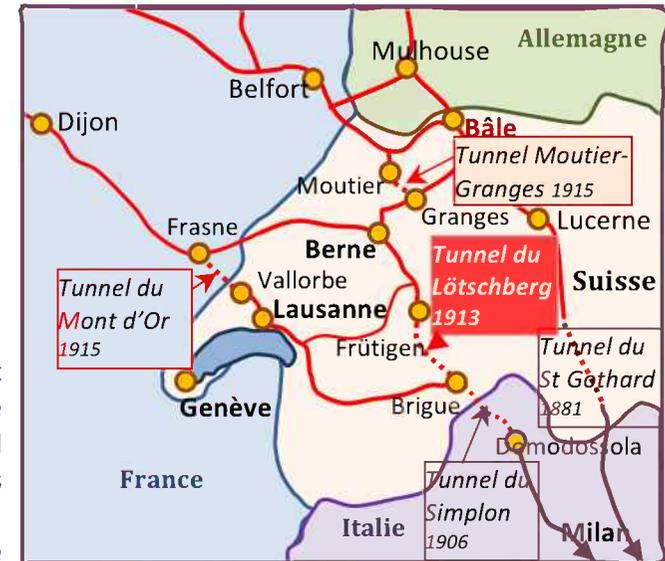
Nota : saturé, ce tunnel sera doublé en 2007 par le tunnel de base du Lötschberg, long de 34,5 km.

A la fin du 19ème siècle, le trafic ferroviaire suisse en direction de l'Italie se fait par le tunnel du Gothard (1881), ultérieurement par celui du Simplon (1906). Dans tous les cas, la ville de Berne, capitale de la Suisse, est à l'écart de ce trafic majeur.



C'est pour mettre fin à cette situation que le Canton de Berne et la ville de Berne ont cherché, dès les années 1850-1860, une solution de franchissement des Alpes bernoise par un tunnel ferroviaire. Le raccordement au tunnel du Simplon offrirait alors un accès direct de Berne à l'Italie.

A partir de la proposition initiale du Conseiller Teuscher, de nombreuses études ont été réalisées, entre autres, celles de huit variantes de tracé dont ceux de Wildstrubel et du Lötschberg.



Situation du tunnel de Lötschberg et des autres grands tunnels de l'époque (Lors du projet, l'Allemagne incluait l'Alsace perdue en 1870)

Le choix du tunnel du Lötschberg résulte de l'avis final d'un Comité composé de MM Colombo (Milan), Garnir (Bruxelles) et Pontzen (Ingénieur civil à Paris).

La construction du tunnel du Lötschberg commence en 1906. Elle durera jusqu'en 1913.

Ouvrage majeur sur le trajet Berne-Lötschberg-Simplon (BLS), Il est situé sur la nouvelle ligne électrifiée Frütigen-Brigue (60 km), entre les stations de Felsenberg et de Goppenstein.

Les gains de temps de transport vont de 2 à 7 heures selon les trajets.

La longueur de l'ouvrage initialement projeté est de 13,735 km, en voie unique, avec une voie d'évitement de 500 m à l'intérieur du tunnel.

Le tunnel passe sous le col du Lötschberg (2.695 m).

Au nord il est à l'altitude de 1.200 m, au sud à l'altitude de 1218 m, avec son point culminant à 1.245 m. Les déclivités respectives sont de 0,7% et de 0,4%.

1913. Tunnel du Lötschberg. Suisse (2/4)

En raison de la perte de l'Alsace-Lorraine à la suite de la guerre de 1870, la France n'a plus l'accès de ses trains vers le sud par Mulhouse et via le tunnel du Saint Gothard.

Aussi est-elle intéressée par le tunnel du Lötschberg qui améliore cet accès par la ville de Berne.

C'est ainsi que le financement du projet est assuré par un consortium mené par la banque française J. Loste et Cie.

Le contrat de construction est attribué à un groupement d'entrepreneurs français (parmi les plus éminents), composé de F. Allard, L. Chagnaud, L. Coiseau, A. Couvreur, J. Dollfus, A. Duparchy, L. Wiriot : C'est *l'Entreprise Générale de Construction du Lötschberg (EGL)*. Après le décès de MM. Coiseau et Duparchy, M. Prudhomme rejoint le groupement.

L. Chagnaud devient responsable du contrat et son entreprise reçoit l'exécution de la moitié des travaux.

En prévision d'une forte croissance du trafic, il parut ultérieurement nécessaire de compléter le financement initial du projet: le tunnel sera construit à double voie.

La nouvelle section tunnel est de 58 m² et elle comporte une plateforme large de 5,25 m.

Le contrat comporte également la construction des rampes d'accès au tunnel et de tout l'équipement de la ligne entre Frütigen et Brigue, y compris pour la traction électrique. D'importantes voies de service propres ont également été construites.

Ces rampes d'accès au tunnel, d'abord réalisées à une seule voie et partiellement dévolues aux voies de service en cours de chantier, comportent de nombreux ouvrages (52 tunnels entre Frutigen et Brigue totalisant 12 km) :

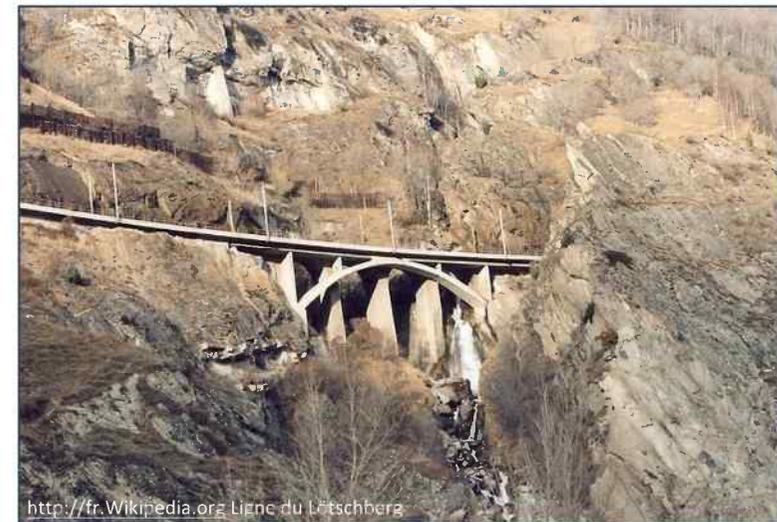
- la rampe nord comporte 12 souterrains, dont le tunnel hélicoïdal de Mittholz (1.850 m) ainsi que les ponts de l'Engstilgen et de la Kander
- la rampe sud comporte 21 souterrains cumulant 6.400 m ainsi que 5 ouvrages d'art dont les viaducs de Bietschtal et de Mundbach.

L'Entreprise Générale de Construction du Lötschberg est basée à Berne, sous la direction de M. Zürcher, ingénieur en chef. Le bureau de cette entreprise employait un quarantaine d'ingénieurs et plus de 150 employés. En période de plus forte activité le chantier a employé jusqu'à 9.000 personnes.

Deux vastes installations de chantier sont installées à Kandersteg et Goppenstein.



<http://c.bournez.free.fr> Viaduc de Bietschtal



<http://fr.Wikipedia.org> Ligne du Lötschberg

Viaduc de Mundbach

On voit nettement les piles qui supportent les voûtes de la voie amont, construite en premier.

1913. Tunnel du Lötschberg. Suisse. (3/4)

Le tunnel rencontre des formations calcaires jurassiques sur 4 km au nord de l'ouvrage, puis le granit de Gastern sur 6 km, enfin 4 km de schistes cristallins au sud.

Le creusement du tunnel est réalisé à partir d'une galerie de base constituant galerie pilote. L'excavation en pleine section commence par une galerie de faîte, étendue à la calotte du tunnel, dont la section se développe jusqu'à atteindre la galerie de base.

A l'exception des têtes d'entrée creusées à la main, le creusement du tunnel est réalisé par perforation mécanique : les perforatrices à air comprimé, de type Meyer, sont groupées initialement par 5 outils puis par cinq. Les perforatrices Meyer sont montées sur un fort bâti rigide transporté sur le chariot de forage. Le bâti prend appui latéralement sur deux sommiers latéraux. En excluant les temps d'arrêt dus aux catastrophes, la progression atteindra 12 m par jour, très supérieure à celle des autres grands tunnels du moment.

La température maximale de la roche fut de 34° C.

La ventilation provisoire était assurée par l'air à des perforatrices à air comprimé et par des ventilateurs axiaux. La ventilation définitive provenait de deux puissants ventilateurs centrifuges.

Le revêtement du tunnel est réalisé en maçonnerie de pierre, d'abord les piédroits, puis la voûte.

La réalisation du tunnel a nécessité de grandes quantités de matériaux :

- pour la chaux, deux usines sont installées sur place, mais toutes les usines suisses furent mobilisées pour sa production.
- une carrière locale de 200 personnes fournissait les moellons
- deux trains d'explosifs livraient les têtes chaque semaine.

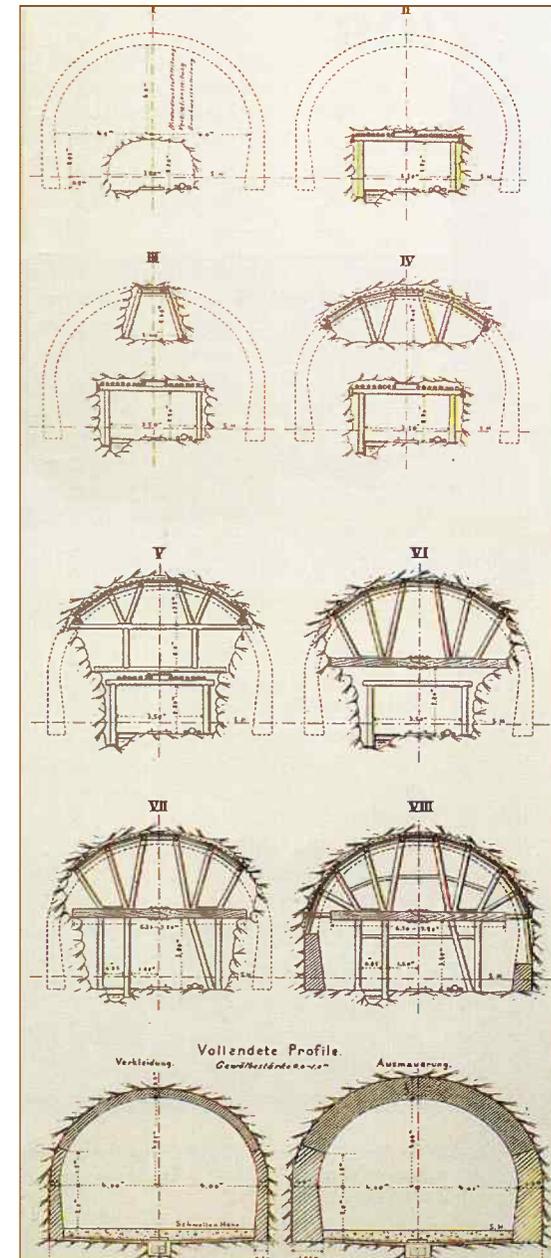
L'effondrement du 24 juillet 1908,

Alors que le creusement du tunnel en était à 2.600 m de la tête nord, le tunnel est envahi sur 1.600 m par 6 000 m³ d'alluvions d'un ancien lit de rivière de la Kander : l'accident a fait 25 victimes.

La vaste campagne de reconnaissance exécutée le long du tracé initial a révélé que, à la place d'une couche de calcaire dur, se trouvait une épaisse couche d'alluvion siége de la nappe de la Kander. La traversée de cette formation meuble n'a pas paru possible, ni par terrassement sous pression d'air, ni par congélation des sols.

Alors, afin d'éviter l'extension de l'accident, la section est murée et le tracé est modifié avec un évitement de la zone dangereuse : la longueur du tunnel atteindra alors 14.605 m. Le retard dans les travaux fut de 7 mois.

Coupe extraite de l'ouvrage : « K. Kovari, R. Fechtig. Percements historiques de tunnels alpins en Suisse. >>> Société pour l'art de l'ingénieur civil». Stäubli AG. Zürich. 2000.



1913. Tunnel du Lötschberg. Suisse. (4/4)

Catastrophes naturelles

Les accès et installations du tunnel ont souffert de plusieurs catastrophes naturelles : instabilités de terrains et avalanches.

La construction des voies de service a été sérieusement perturbée par des effondrements rocheux sur la rampe nord, et par des glissements de dalles structurales sur la rampe sud.

De fortes avalanches ont recouvert les voies de service, mais un accident dramatique s'est produit le 29 février 1908. En fin de journée, une avalanche de neige poudreuse s'est abattue sur la base de Goppenstein, et elle a touché un hôtel où 11 personnes furent tuées.

Achèvement des travaux.

Le percement du tunnel s'est concrétisé le 31 mars 1911 avec la rencontre des deux équipes oeuvrant respectivement depuis le portail nord et le portail sud : une grande fête fut organisée le 14 mai 1911.

L'excavation du tunnel s'est terminée en mars 1912, la pose de la voie a débuté en juillet 1912, et la première traversée s'est déroulée en juin 1913.

Nouveau tunnel de base.

Face à la saturation du trafic dans le tunnel, un nouvel ouvrage a été réalisé : le « Tunnel de base du Loetschberg ».

Ce tunnel a été construit entre 1994 et 2007, de Frütiguen (Canton de Berne) à Rarogne (Canton du Valais). Il passe sous le tunnel de faite du Loetschberg. Long de 34,6 km, il comporte deux tubes contenant une voie chacun.

Il permet de réduire d'une heure le temps de traversée des Alpes bernoises.



Percement du tunnel en cours



Rencontre des deux équipes

1915. Tunnel du Mont d'Or. France-Suisse 1/2

Le tunnel ferroviaire du Mont d'Or, entre la France et la Suisse relie les villes de Frasné (Doubs) et de Vallorbe, sur la ligne allant de Paris à Lausanne.

C'est un ouvrage de 6.097m m de long (dont 5.111 m en France) comportant deux voies lors de sa construction.

Il a été réalisé par un groupe d'entreprises françaises mené par la société Fougerolles, sous la direction de Paul Séjourné.

Ce tunnel est spécialement connu pour les venues d'eau extrêmement importantes rencontrées lors de son creusement.

Dès 1870, une ligne franco-suisse reliait Jougnes (France) et Eclépens (Suisse), atteignant également Vallorbe. Elle est prolongée jusqu'à Pontarlier en 1875. Ce tracé rencontrait toutefois de dures conditions géographiques et climatiques ; aussi, dès 1906, le Paris-Lyon-Méditerranée et le Jura- Simplon manifestent leur accord pour une ligne Frasné-Vallorbe comprenant le tunnel du Mont d'Or, avec une tracé raccourci de 17 km et un gain de temps appréciable. L'accord se traduit en 1909 par une convention entre les parlements des deux pays.

Compte tenu du creusement en territoire français sur sa plus grande longueur, c'est le PLM qui, en 1910, a attribué l'ensemble des travaux du tunnel à l'association Fougerolles frères, Etablissements Daydé, Société des grands travaux de Marseille et A. Palaz, ingénieur à Lausanne.

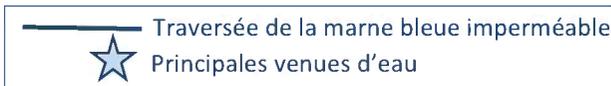
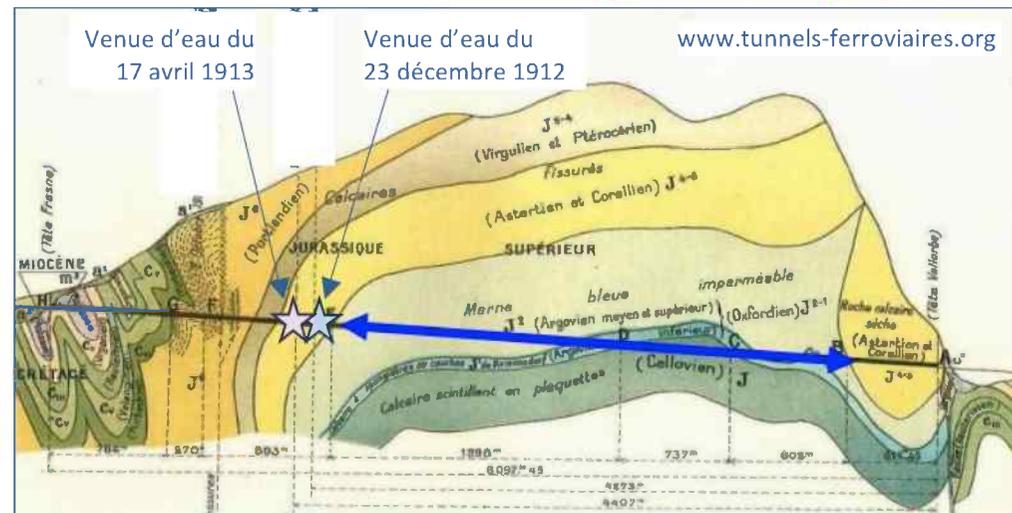
Cette ligne Frasné-Vallorbe comporte de nombreux autres ouvrages sur le territoire français : quatre tunnels de 114 m à 993 m, le viaduc de la Croix, la traversée d'un marais et la dérivation du Doubs.

L'étude géologique prévoit que le creusement se fera dans des formations jurassiques, essentiellement dans les marnes bleues imperméables de l'Oxfordien, avec une tendance au gonflement et au délitement ce qui exigera la mise en place rapide du revêtement. L'étude prévoit des arrivées d'eau (380 et 120 litres /sec) au sortir des marnes lors du percement du calcaire Astarrien.

Le tracé présente un alignement droit sur 5.404 m (pente de 1,3%) puis une courbe de 692 m (pente de 1%).

La tête est à 913 m d'altitude coté côté France et 813 côté Suisse.

Le principal de creusement se fera à partir de la Suisse pour permettre l'évacuation des eaux.



1915. Tunnel du Mont d'Or. France-Suisse 2/2



La venue d'eau du 23 décembre 1912.

www.arnexhistoire.blogspot.fr

Les travaux commencent en novembre 1910 côté suisse et en juillet 1911 côté français. Le creusement du tunnel sera achevé en 1913, la route en février 1914. La ligne sera ouverte à la circulation en mai 1915.

Les travaux à partir de la Suisse se déroulent sans difficultés majeures jusqu'au 24 décembre 1912 lorsque se produit, à 4.274 km de l'entrée suisse, une très importante venue d'eau, évaluée à 3 m³, puis 5 m³ par seconde, qui oblige à évacuer l'ouvrage. La plateforme d'entrée du tunnel est dévastée. Les sources et captages côté français sont taris.

Le 21 avril 1913, nouvelle venue d'eau avec un débit évalué à 7 m³ par sec. En fait, le tunnel a recoupé de failles en relation avec le « château d'eau » sus-jacent du calcaire.

D'importants travaux de barrage interne, de dérivation, d'injection, de puits et de pompage permettront de reprendre et de terminer le creusement du tunnel avec plusieurs mois de retard.

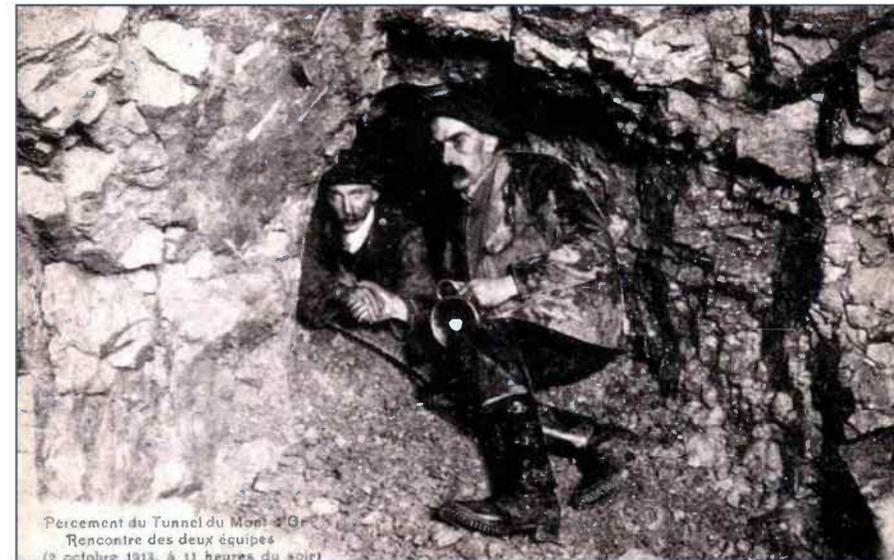
La jonction des deux équipes se produit le 2 octobre 1913.

L'électrification de Frasn-Vallorbe sera inaugurée en avril 1958 (avec une seule voie) et la ligne Paris-Lausanne accueillera le TGV en janvier 1984.



Exhaure de l'eau et dommages sur la plateforme d'entrée.

www.arnexhistoire.blogspot.fr



Rencontre des deux équipes. 12 octobre 1913

www.arnexhistoire.blogspot.fr

1915. Tunnel Moutier-Granges (Grenchenberg tunnel). Suisse 1/3

La réalisation du tunnel Moutier-Granges (long de 8578 m), peu après la mise en service du Tunnel du Loetschberg situé plus au sud (1913), permet d'améliorer une liaison ferroviaire nord-sud en Suisse, en particulier vers le tunnel du Simplon, ouvert en 1906.

La décision prise par les autorités bernoises, en 1909, de réaliser ce tunnel résulte de plusieurs facteurs concourant à un certain isolement de Berne :

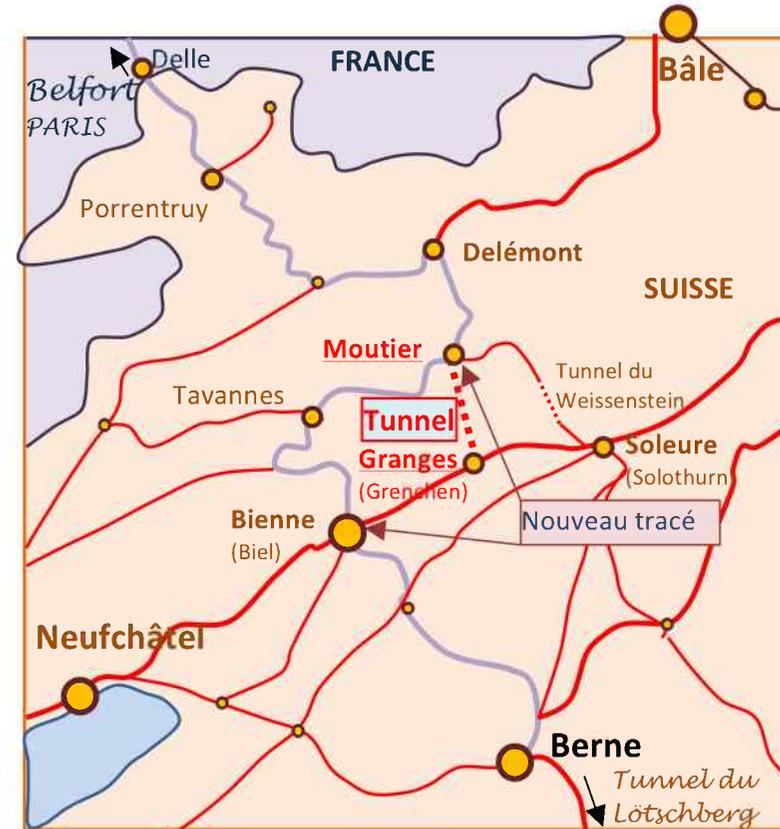
- la perte de l'Alsace-Lorraine par la France en 1871 complique l'accès ferroviaire de la France en Suisse. Au lieu d'entrer en Suisse par Bâle, le réseau de l'Est arrive en Suisse par Delle. Il est compliqué de rejoindre Berne : Delle, Porrentruy, Delémont, Moutier, Tavannes, Bienna, puis Berne.
- la ligne du PLM se détourne de ce tracé et passe par Vallorbe, Lausanne puis le tunnel du Simplon
- la mise en service du tunnel ferroviaire du Saint-Gothard en 1882 détourne de Berne une partie du trafic ferré nord-sud en Suisse.

La solution évidente pour améliorer la situation était de creuser un tunnel entre Moutier et Granges, lequel raccourcit de 13 km le tracé ancien.

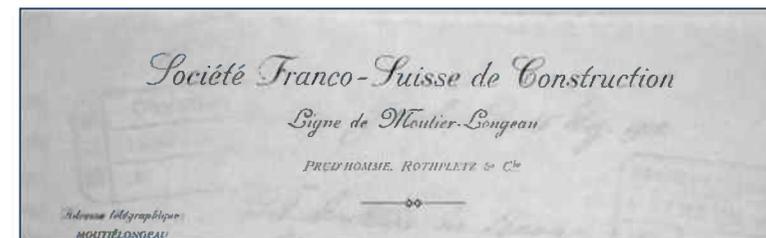
Les autorités suisses refusant de financer les travaux de ce tunnel, la société bernoise de chemin de fer Berne-Lötschberg-Simplon reçoit en 1909 la concession du chemin de fer Moutier-Lengnau-Granges comprenant le tunnel. La France apporte une contribution de 10 millions de francs suisses. Le 29 octobre 1911 le traité de construction est signé avec la « Société franco-suisse de la construction du chemin de fer Moutier-Longeau, Prud'homme, Rotpletz et C^o »

On y retrouve les grandes entreprises françaises qui avaient fait preuve de leurs capacités lors de la construction de tunnel de Lötschberg.

Il est à noter que ce tunnel de Moutier-Granges est construit presque en parallèle avec un autre ouvrage, le tunnel du Weissenstein, long de 3,7 km, sur la ligne voisine Soleure-Moutier, ouvert à l'exploitation en 1907. Après polémique, cette ligne n'avait pas été jugée apte à supporter le trafic international.



Lignes principales — Lignes secondaires
En violet : la parcours Delle-Berne avant le tunnel



Lettre à en tête de la Société franco-suisse °

Ce document doit beaucoup au site web, très documenté, du Musée de la Société : <http://museums-gesellschaft.ch/tripoli/> °

1915. Tunnel Moutier-Granges (Grenchenberg tunnel). Suisse. 2/3

Le tunnel de Moutier-Granges mesure 8.578 m de long, avec une légère rampe de 0,25 % (en moyenne) sur 4 km à partir de Moutier (altitude de 535 m), puis en descente de 1,3 % (en moyenne) jusqu'à Granges (altitude de 484 m).

C'est un ouvrage à voie unique.

Les travaux de creusement ont commencé le 6 novembre 1911 au portail sud (Granges) à l'altitude de 484 m et le 7 novembre 1911 au portail nord (Moutier), à l'altitude de 535 m. Le tracé rencontre les sommets de Graiterie (1205 m) et de Grenchenberg (1405 m), et la combe de la Chaluet entre les deux. Le recouvrement de terrain atteint 700 m et 876 m au maximum.

Des puits de reconnaissance ont été creusés, trois au nord, deux au sud et un dans la combe (incomplet). Ils ont atteint la base du tunnel où ils ont rencontrés des molasses, marnes et grès.

La coupe géologique de 1914 (Buxfort) montre que le tracé recoupe deux anticlinaux dans des formations du Trias (1 et 2), du Jurassique (Lias 3, Dogger 4-6, du Malm 7 - 11), ainsi que des molasses Oligocène et Miocène (12 et 13).

Le creusement est exécuté selon la coupe ci jointe.

La galerie de base I est d'abord réalisée, puis les sections supérieures II et III. Le stross latéral est alors dégagé des deux cotés et le radier est construit.

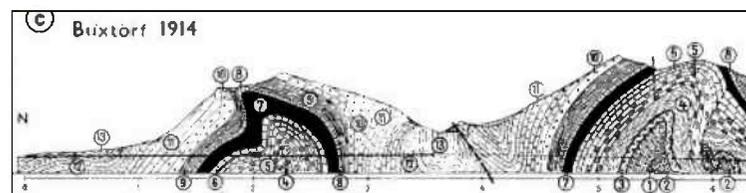
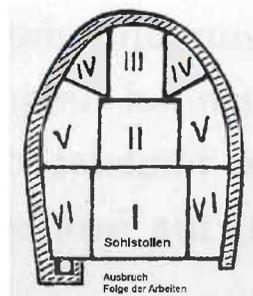
Les travaux ont été manuels à l'attaque des entrées, puis mécanique avec des perforatrices pneumatiques Meyer.

Le volume de déblais extrait est de 350.000 m³, nécessitant 359.000 kg d'explosif.

Le chantier a mobilisé 1.057 travailleurs.

Le revêtement du tunnel nécessitait 80.000 m³ de pierre. La moitié sud de la maçonnerie du tunnel a été réalisé avec de la pierre provenant d'une carrière située à 2 km de Lengnau : un téléphérique a du être construit pour l'acheminement jusqu'à Granges.

La moitié nord a été réalisée avec de la pierre de carrières de Moutier et au-delà.



Creusement du tunnel avec une perforatrice pneumatique

Georges Pilot. Comité génie civil et bâtiment. IESF Paris. Août 2014

1915. Tunnel Moutier-Granges (Grenchenberg tunnel). Suisse 3/3

La difficulté majeure du creusement réside dans la rencontre, en janvier 1913, d'un réseau de cavernes dans les grès de la molasse, à 1,6 km du portail sud

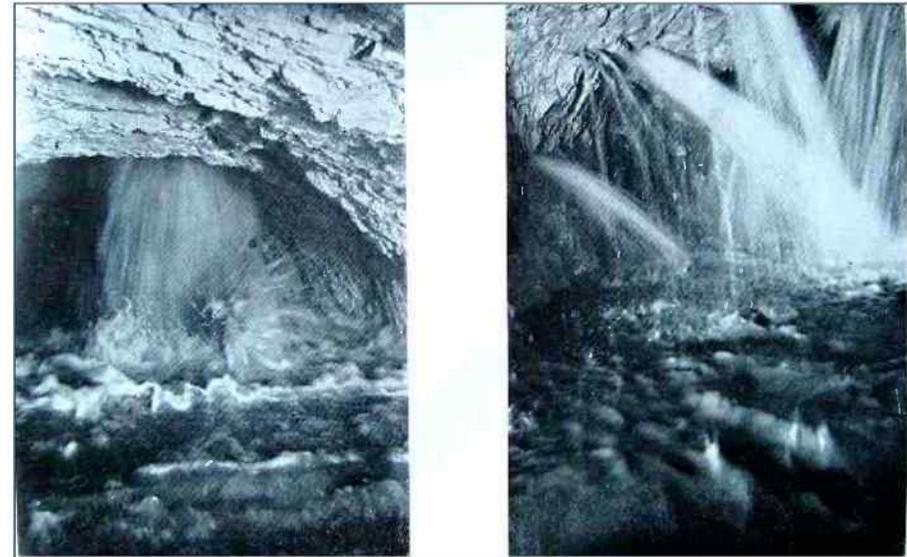
Des venues d'eau très importantes se sont produites dans le tunnel : elles ont atteint 250 litres/s en février, puis 370 litres/s en mars.

La source Matt Limmer qui alimentait le village de Grange a été pratiquement tarie et le village privé d'eau.

Le raccordement au réseau existant, au nord, est réalisé par une rampe simple de 605 m. Au sud, la rampe mesure 3.440 m : elle comporte deux viaducs en pierre longs respectivement de 288 m et 292 m, ainsi que d'autres ouvrages modestes.

Afin d'évacuer les gaz dus à la traction à la vapeur, une ventilation spécifique a été installée. Un bâtiment a été construit près de portail sud, abritant deux ventilateurs de 3,50 m de diamètre : l'air du tunnel était renouvelé en 50 minutes.

Le tunnel a été ouvert au trafic le 1^{er} octobre 1915 et la ligne a été électrifiée en 1928.



Venues d'eau à 1,6 km du portail sud
(Photos du site du Musée de la Société)



1915 (1923). Tunnel ferroviaire du Somport. France-Espagne 1/2

Le tunnel ferroviaire du Somport, long de 7.874 m, constitue l'ouvrage de franchissement des Pyrénées par la ligne Pau Saragosse longue de 93 km, appelée « Transpyrénéen occidental ». Il est le premier des grands tunnels pyrénéens.

Cette ligne envisagée dès 1853 sera réellement lancée par la signature de l'accord intergouvernemental du 13 février 1885 suivie d'accords pour le tunnel en 1904. La concession est accordée à la Compagnie ferroviaire du midi.

La construction du tunnel sera commencée en 1908 et achevée en 1915. Après achèvement des travaux d'infrastructure en 1923 la ligne est ouverte en 1928.

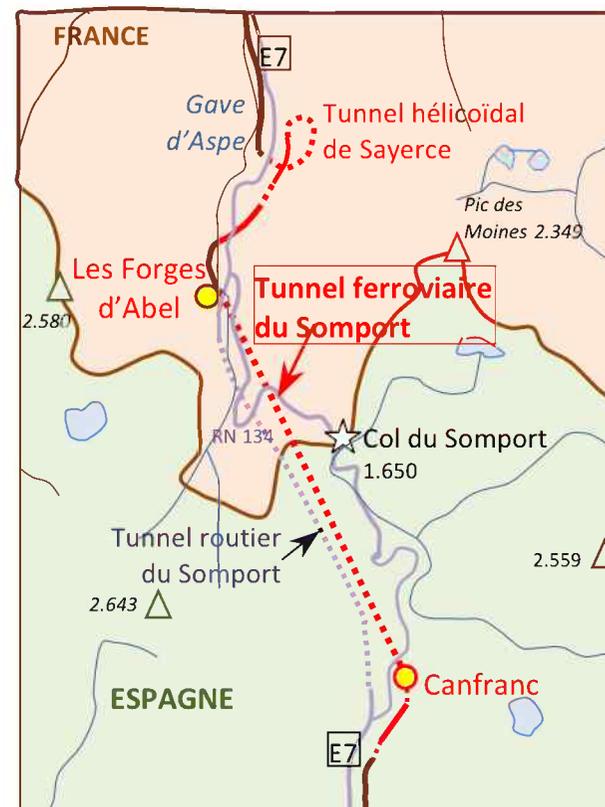
Cet ouvrage long de 7874 m (dont 3.170 m en France) reçoit une à voie unique à écartement standard de 1,435 m. La transport en territoire espagnol est réalisé sur une voie à écartement de 1,668 m. Aussi un transbordement est-il nécessaire : il est réalisé à la gare internationale de Canfranc, au sud du tunnel. Cette gare monumentale, inaugurée en 1928, mesure 240 m de long. Côté français, le tunnel part des Forges d'Abel, à l'altitude de 1211 m, il arrive à Canfranc en Espagne à l'altitude de 1194 m. Il commence avec une rampe de 3,4 % jusqu'à la frontière où il poursuit en pente de 0,47% jusqu'à Canfranc.

Le tunnel du Somport mesure 6 m de haut et 5 m de largeur.

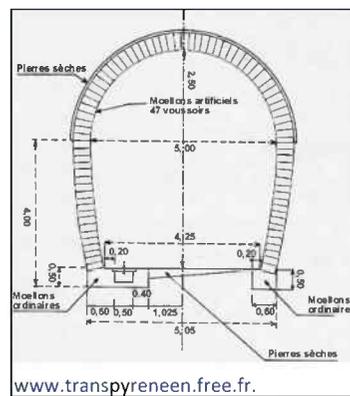
Le creusement commence des deux côtés en octobre 1908. Les deux équipes se rejoignent le 13 octobre 1912, et la galerie est achevée le 13 octobre 1914.

L'exécution est réalisée avec une galerie de base, surmontée d'une galerie de tête attachée en décalage de la première. Le creusement est exécuté avec des perforatrices pneumatiques.

Il a rencontré une venue d'eau, à 2.500 m de la tête du tunnel, maîtrisée en 15 jours.



Creusement du tunnel au niveau du portail français.

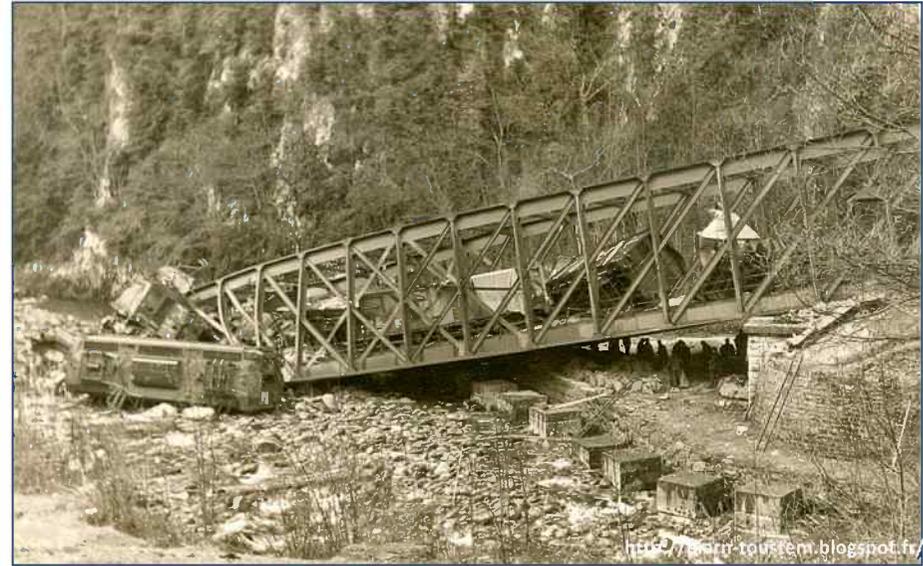


La gare internationale de Canfranc (Espagne)

1915. Tunnel ferroviaire du Somport. France-Espagne 2/2



Le portail nord du tunnel, côté France



Le pont d'Estanguet après le déraillement du train.

Les travaux comportent également les rampes d'accès, en particulier la rampe nord qui utilise le tunnel hélicoïdal de Sayerce, long de 1.750 m, achevée en 1917.

En 1970, un convoi arrêté au nord du tunnel par le gel sur les rails voit défaillir son dispositif de frein électrique. Le convoi repart en arrière et déraile au droit du pont d'Estanguet qui est détruit. Le trafic sur la ligne est dès lors interrompu pour une très longue période.

Néanmoins le tunnel du Somport reçoit deux affectations :

- . laboratoire de recherche de l'Université de Saragosse en physique nucléaire : on y étudie la matière noire et le fonctionnement des neutrinos.
- . ouvrage de sécurité pour le tunnel routier du Somport, sur l'itinéraire Pau-Saragosse, mis en service en 2003. Ce nouveau tunnel est presque parallèle au tunnel ferroviaire : 17 galeries de secours relient les deux ouvrages.

Des engagements ont été pris récemment en vue de remettre le chemin de fer en état, dont le tunnel du Somport: un protocole signé entre la Région Aquitaine et le Gouvernement d'Aragon à cet effet vise à un rétablir la ligne en 2020, sous l'appellation de ligne Goya.

Le portail nord du tunnel du Somport a été inscrit à l'inventaire des monuments historiques en 1984.