

Ouvrages du génie civil français dans le monde

Tunnels 1958- 2015



1967. Tunnel sous-fluvial L.H. Lafontaine. Montréal

Georges Pilot, Jean-Paul Teyssandier, Bernard Raspaud

2001. Tunnel routier d'Al-Azhar. Le Caire. Egypte 1/3

La ville du Caire, capitale de l'Égypte est une mégacité de plus de 20 millions d'habitants. Le trafic automobile y est très intense, aussi des travaux d'infrastructure considérables y ont été engagés : le métro du Caire et le tunnel routier d'Al-Azhar en sont des exemples°

Ce dernier est destiné à réduire la congestion dans la zone d'Al-Azhar, qui constitue le cœur historique islamique vivant de la ville. La construction de la mosquée d'Al-Azhar, l'une des plus respectées du Caire, a été engagée à partir de l'an 970; elle jouxte le bazar réputé du Khan-el-Khalili, et les principales rues du quartier sont bordées de témoignages architecturaux remarquables, palais et mosquées.

Le quartier historique du Caire est inscrit au Patrimoine mondial de l'UNESCO.

Ainsi, la construction du tunnel routier d'Al-Azhar, en deux tubes, avait plusieurs objectifs :

- réduire la congestion automobile dans le centre historique, y compris pour les autobus, le trafic des poids lourds demeurant interdits,
- réduire la pollution et le bruit dans le quartier
- éliminer l'autopont du voisinage et permettre un réaménagement local, en particulier une zone piétonne,
- respecter les fondations d'immeubles et édifices voisins (éviter des tassements de bâtiments, contourner des fondations profondes, de l'auto-pont par exemple), éviter un tuyau d'assainissement.

L'ouvrage a été réalisé par Vinci Construction Grands Projets, en partenariat avec Arab Contractors, Bouygues, Eiffage, Inteltra, Solétanche-Bachy, Spie-Batignolles.

Les études géotechniques ont été menées par Hamza Associates.

Le tunnel, long de 2.320 m comporte les ouvrages de génie civil suivants :

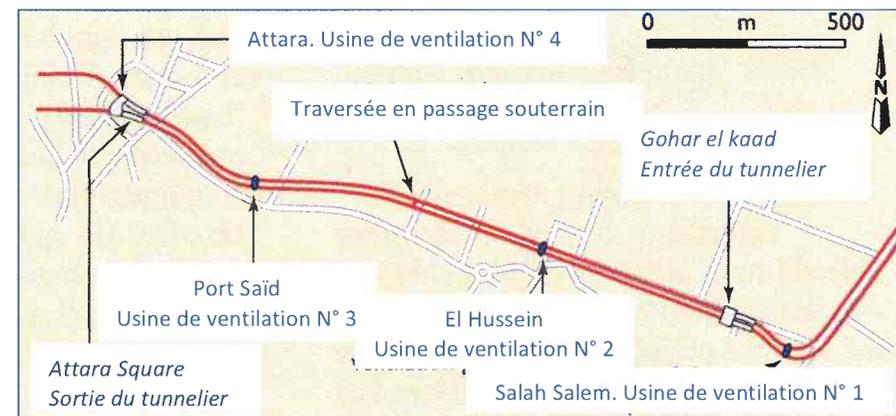
- le tunnel foré, long de 1.700 m, avec deux tubes parallèles,
- la tranchée couverte (avec parois moulées) d'Attala, longue de 200 m,
- la tranchée couverte (avec parois moulées) de Salah-Salem, longue de 350 m,
- 4 puits de ventilation (un à chaque extrémité et deux puits intermédiaires).

Les travaux comprennent aussi de puissants moyens de lutte contre l'incendie et une installation complète de surveillance et de sécurité.

°Référence principale: Welburn-de Netlancourt. El Azhar road tunnel. ICE Proceedings



La mosquée d'Al-Azhar



Plan du tunnel (Document Solétanche-Bachy)

2001 Tunnel d'El-Azhar. Le Caire. Egypte 3/3

Equipements de sécurité

Brièvement, le tunnel comporte :

- des systèmes de ventilation permettant l'élimination de l'air vicié du tunnel et son remplacement par de l'air frais (Recommandations de l'AIPCR). Les principaux équipements de ventilation sont localisés au droit des puits de ventilation de El Hussein et de Port Said.
- une installation de lutte contre l'incendie (avec le concours du Rijks Water Staat des Pays-Bas). Elle comporte notamment un dispositif d'arrosage qui court tout le long du tunnel. Les dispositifs principaux sont placés aux entrées du tunnel, avec en outre avec des extincteurs disposés tous les 60 m.
- des sorties d'urgence placées tous les 100 m. Elles comportent un court toboggan d'évacuation qui mène à la galerie sous chaussée, laquelle est connectée aux puits de ventilation équipés d'escaliers accédant à l'extérieur.

oOo

1958. Tunnel sous-marin de la Havane. (Cuba) 1/2

La ville de La Havane, capitale de Cuba, s'est principalement développée le long de la Baie de La Havane (Golfe du Mexique), le long de port situé dans les terres, et le long du chenal d'accès qui relie le port à la Baie de La Havane.

De fait la ville est située en très grande partie à l'ouest de ce chenal, tandis que l'est de cette voie était extrêmement peu construit. Le transport d'ouest en est se révèle très long en distance et en temps.

C'est afin de favoriser le développement à l'est de la ville, et d'offrir des transports rapides qu'a été réalisé le tunnel sous le chenal accès au port. Il a été construit en trente mois (principalement en 1952-1953) par la Société des Grands Travaux de Marseille (Vinci), avec le concours de la Comex pour l'assistance aux travaux sous-marins.

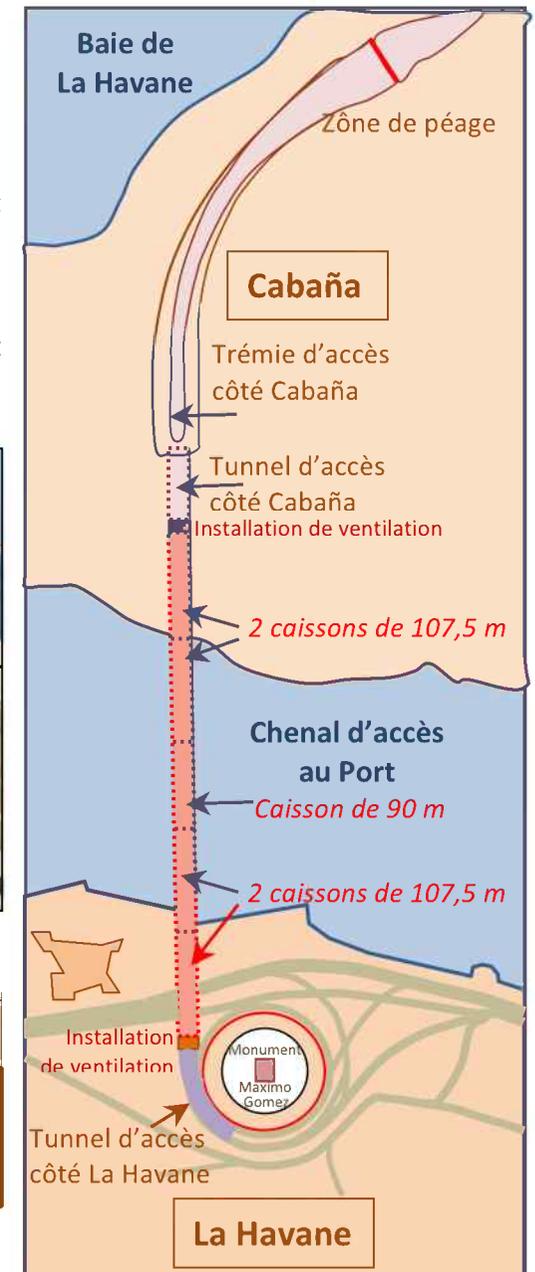
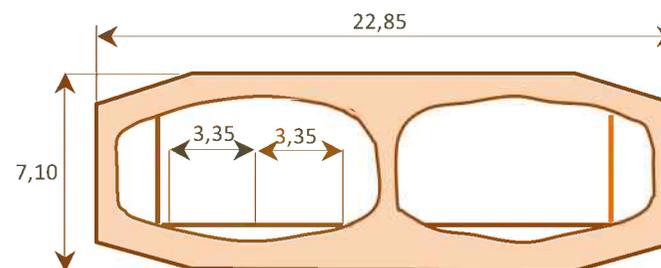
Il a été ouvert au trafic le 1^{er} juin 1958.

Le tunnel sous-marin de La Havane°, long de 733 m est prolongé côté ville par un tunnel d'accès de 105 m de long, et de l'autre côté par une longue trémie à l'air libre: en tout, la longueur de l'ouvrage de franchissement est d'environ 1.600 m.

Le tunnel offre un gabarit vertical de 4,25 m et il comporte 4 voies de circulation de 3,35 m chacune (deux dans chaque sens avec une séparation au milieu), des trottoirs de 40 et 90 cm, et des galeries latérales de ventilation.

Le tunnel dégage un gabarit de navigation de 14 m sur 100 m de large au centre du chenal.

Le tunnel sous-marin comporte 5 caissons préfabriqués en béton précontraint. Le caisson central, horizontal mesure 90 m de long, et les caissons latéraux (deux de chaque côté) mesurent 107,5 m de long, avec une pente de 5,75 %. Chaque caisson mesure 21,85 m de largeur et 7,10 m de haut. Les accès au tunnel sous-marin comportent également un tunnel de chaque côté.



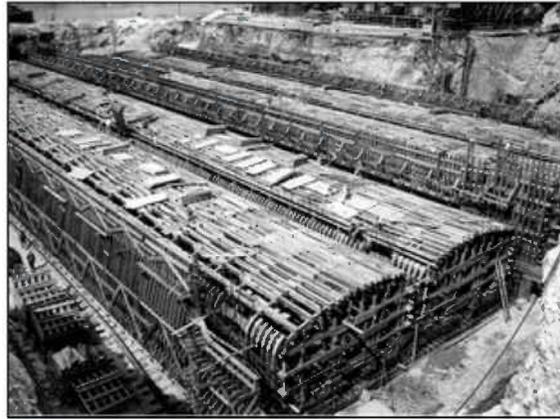
° Article de J Courbon « Le tunnel sous-marin de La Havane (Cuba). Revue Travaux, novembre 1958 »

1958. Tunnel sous-marin de la Havane. (Cuba) 2/2

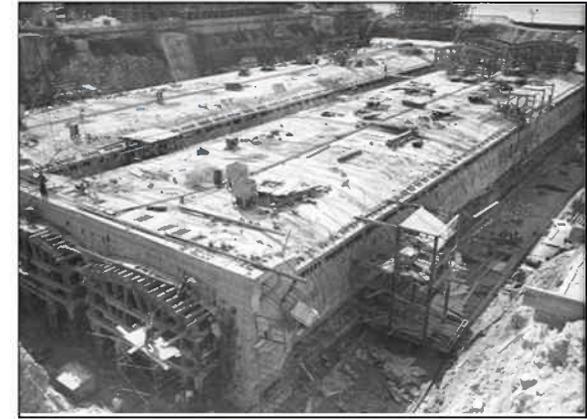
Construction des caissons°



Construction du radier



Réalisation des coffrages



Caissons terminé

° *Lettres de Cuba. Le tunnel de la Havane, n° 10, année 2014.*

Les caissons sont précontraints selon 3 dimensions : longitudinalement afin de faire face à d'éventuels tassements différentiels, transversalement pour résister à la pression de l'eau, au poids propre, au poids des remblais, etc.

Les caissons sont construits en cale sèche dans une souille réalisée près du chantier (voir les images ci-dessus). Cette cale sèche mesure 130 m de longueur et 60 m de largeur, ce qui permet la construction de deux caissons en même temps. Elle est séparée du chenal par un remblai injecté qui est enlevé avant le transport des caissons à leur emplacement définitif.

Dans la souille, les extrémités des caissons sont fermées par une cloison provisoire, et ils sont munis de boudins de flottabilité. Après réalisation, les caissons sont remorqués par flottaison au droit de leur emplacement définitif, puis échoués dans une souille préparée auparavant dans le lit du chenal. Le béton des caissons est l'objet de soins particuliers pour en favoriser l'étanchéité : chape d'étanchéité externe, injections locales aux endroits montrant de légères fuites lors des essais d'étanchéité en souille de construction.

La continuité des caissons est assurée par des joints réalisés en béton immergé.

Pour tous les travaux (cale sèche, ouvrages d'accès) les terrassements se sont élevés à 400.000 m³.

Les terrains rencontrés sont très variés : coraux, remblais récents, marno-calcaires, grès. Ces matériaux présentent une forte perméabilité, aussi une importante campagne d'étanchéité a-t-elle dû être réalisée par l'entreprise Solétanche : 9.000 m de perforation, 6.000 m³ de divers produits d'injection.

1965. Tunnel routier sous le Mont-Blanc. Chamonix (France)-Courmayeur (Italie) France 1/4

Le tunnel du Mont Blanc est un ouvrage routier long de 11,6 km, qui assure la liaison, à travers les Alpes, entre la vallée de Chamonix en France et le Val d'Aoste (Courmayeur) en Italie. Les travaux ayant commencé en 1959, il a été mis en service en 1965. Il était alors le plus long tunnel routier au monde.

La distance entre Paris et Rome est ainsi réduite de 150 km.

L'idée de construire ce tunnel entre les deux pays avait connu une première action par la réalisation, en 1947, d'une galerie de 260m de long (Comte Dino Totino).

Mais c'est en 1949 qu'a été signée la *Convention franco-italienne de percement d'un tunnel routier sous le Mont Blanc*, ratifiée par les parlements italiens et français, respectivement en 1954 et 1957. Deux sociétés sont alors chargées des travaux et de la gestion de la moitié du tunnel chacune, soit 5.800 m : *Societa Italiana per Azioni per il Traforo del Monte Bianco* (1957), *Société française du tunnel du Mont-Blanc* (1957).

Le tunnel a été construit, pour la partie française, par un Groupement d'Entreprises ayant André Borie à sa tête, avec la Compagnie industrielle de Travaux, la Régie générale des chemins de fer et de travaux publics, l'Entreprise des grands travaux hydrauliques, et la Société française d'entreprise de dragage et de travaux publics. Les routes d'accès sont longues respectivement de 4,28 km (rampe de 5 à 6%) côté France et de 10,75 km (rampe de 4,8%) côté Italie.

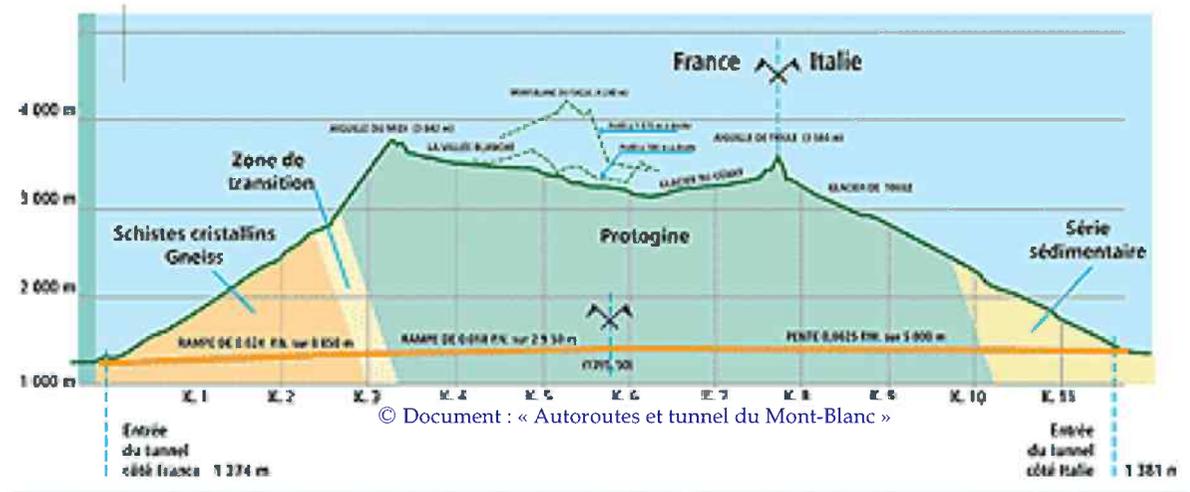
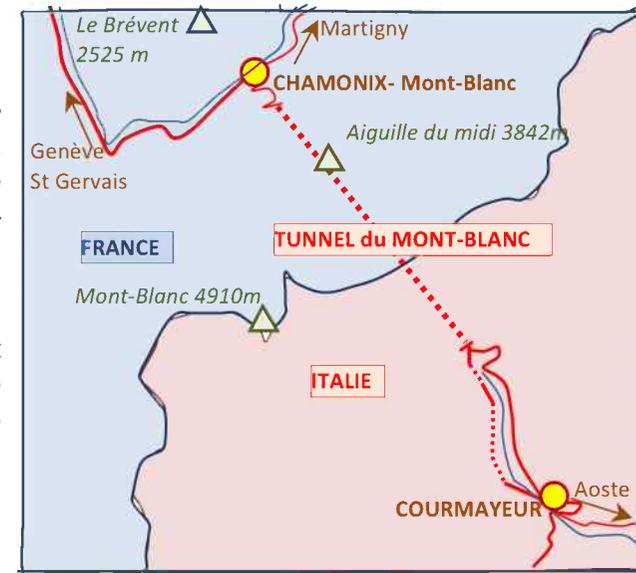
La chaussée du tunnel comporte une innovation remarquable : elle est constituée de caissons en béton précontraint.

A la suite du très grave incendie de 1999, le tunnel sera l'objet de 3 ans de travaux.

Le site du tunnel, qui passe sous l'Aiguille du Midi (2.872 m) a été l'objet d'études géologiques très détaillées.

Dans le sens France-Italie, le tunnel rencontre :

- sur environ 2,9 km, une série métamorphique comprenant des schistes cristallins, des gneiss, des cornéennes et des amphibolites.
- sur environ 0,4 km, une zone de transition hétérogène
- sur près de 10 km, des formations granitiques avec de la protogyne. La protogyne a été l'objet d'études approfondies au Laboratoire Central des Ponts et Chaussées et au Centre de géologie de Nancy
- sur 1,4 km une série de matériaux sédimentaires.



1965. Tunnel routier sous le Mont-Blanc. Chamonix (France)-Courmayeur (Italie) 2/4

La tête du tunnel coté France se trouve à l'altitude 1.274 m, et à 1.381 m coté Italie, son altitude maximale, 1.395,5 m étant atteinte au milieu de l'ouvrage. Le recouvrement maximum est de 2.460 m sous l'aiguille du Midi. Côté France, le tunnel est en rampe de 2,5% et 1,8% et côté Italie il est en pente de 0,25% (L'écoulement des eaux est ainsi assuré sur les deux chantiers).

Le tunnel comporte une chaussée unique, bidirectionnelle, de 7 m de largeur, bordée de deux trottoir de 0,70 m. Il est entièrement revêtu en béton, de 0,30, 0,50, 0,70 m d'épaisseur selon la nature des terrains. Il comporte 27 garages

Le profil rassemble la galerie supérieure dévolue à la circulation et la galerie inférieure consacrée à l'évacuation de l'air vicié et à l'alimentation en air frais. Une usine de ventilation a été installée de chaque côté du tunnel.

Le déroctage est en moyenne de 80 m² par mètre d'ouvrage. Les techniques des entreprises sont différentes côté France et côté Italie.

Côté France, le déroctage est assuré en section pleine par des perforatrices montées sur un *Jumbo*. Cet équipement de 100 t, se déplaçant sur rail, comprend 4 plateformes équipées de 15 perforatrices *Ingerstoll Rand* de 44 mm et une perforatrice centrale de 203 mm : ce dispositif favorise la propagation de l'explosion (120 à 150 forages de 4 m de long sont réalisés par volée de tir). Chaque volée d'explosif correspond à un avancement de 4 m. L'avancement moyen du chantier a été de 6-9 m par jour.

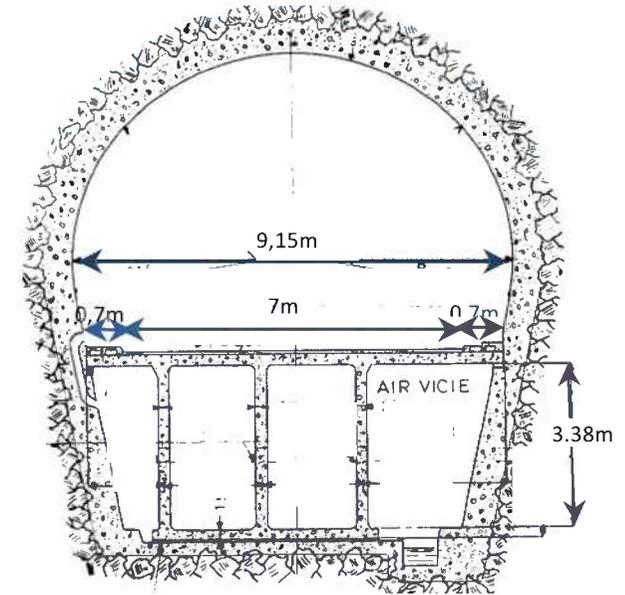
Le marouflage est assuré par des pelles électriques sur rail.

Lors de l'exécution, la température dans le tunnel a atteint 31 °C.

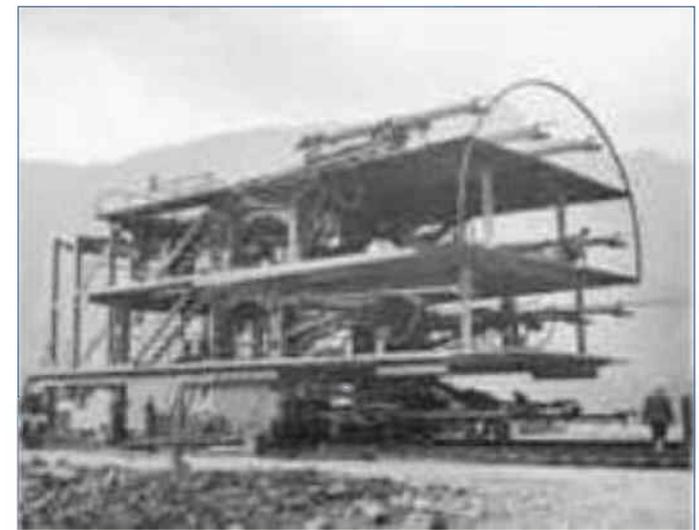
Les venues d'eau ont été limitées coté France (200 l/sec), contrairement au coté Italie où on a noté 350 l/sec et jusqu'à 600 l/sec d'eau sous forte pression.

La difficulté principale est venue de phénomènes de décompression de la roche, touchant principalement le granite (protogyne). Afin de contrecarrer les effets de cette décompression, on procéda à un intense boulonnage : boulons de 1,6 m de long équipés d'une plaque, parfois tous les 0,5 m. 180.000 boulons ont ainsi été installés.

Le bétonnage des voûtes a été réalisé par un « train bétonnier » classique, avec portique et coffrages métalliques glissants : 90.000 m³ de béton ont ainsi été mis en place.



Une coupe type du tunnel



Le Jumbo de perforation dans la section française

1965. Tunnel routier sous le Mont-Blanc. Chamonix (France)-Courmayeur (Italie) 3/4

La chaussée du tunnel sous le Mont-Blanc

La plaque apposée à l'entrée française du tunnel indique qu'il est, lors de son inauguration en 1965, " le plus grand tunnel routier du monde sous la plus haute montagne d'Europe". Il est aussi un exemple original et unique d'utilisation de la précontrainte.

La chaussée de circulation se trouve à 3,65 m au-dessus du radier du tunnel. À ce niveau, la largeur du tunnel est de 8,60 m permettant le passage d'une chaussée de 7 m de largeur à 2 voies bordée par 2 trottoirs de 0,80 m.

Le niveau de la chaussée de circulation résulte du fait que l'extraction de l'air vicié du tunnel se fait sous cette chaussée : à partir des usines de ventilation situées à l'extérieur, côté français et côté italien, l'air frais est injecté dans le tunnel et l'air vicié en est extrait par les conduits ménagés sous la chaussée. Structuellement, la chaussée de circulation constitue la table supérieure d'un caisson à plusieurs âmes verticales.

Le caisson en béton armé de 3,65 m de hauteur est constitué par une table supérieure de 8,59 m de largeur formant le support de la chaussée, une table inférieure de 5 m de largeur reposant sur le radier rocheux par des appuis glissants en néoprène et 2, 3 ou 4 âmes verticales selon leur éloignement de l'usine de ventilation. Les âmes verticales délimitent les conduits de ventilation dans le caisson. Le caisson est préfabriqué par éléments de 10 m de longueur, transportés et juxtaposés longitudinalement dans le tunnel. Les joints entre éléments sont coulés en place.

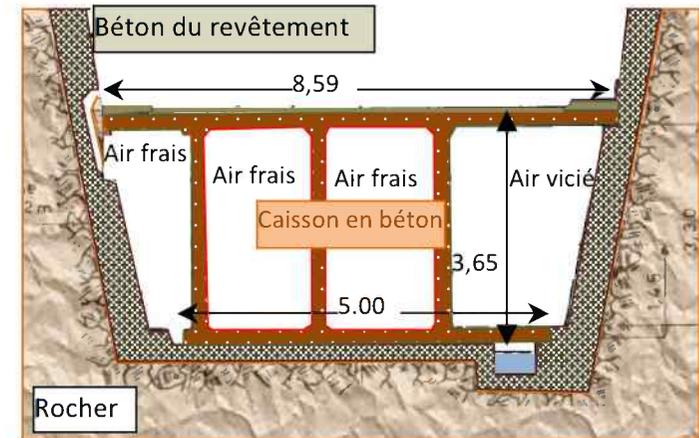
La mise en précontrainte longitudinale de l'ensemble des éléments préfabriqués permet d'éliminer la nécessité de joints de dilatation, de rendre étanches les joints et d'éviter les pertes d'air pouvant être occasionnées par une fissuration du béton due aux gradients thermiques se produisant entre les différents conduits ainsi qu'aux variations annuelles de température à l'intérieur du tunnel, estimées à 25°C entre hiver et été. Cette précontrainte permet d'éviter tout joint de dilatation sur les 11,6 km malgré l'importance des variations thermiques annuelles.

Les caissons sont précontraints longitudinalement par des vérins plats Freyssinet entre des points fixes constitués par des culées espacées de 2900 m. Ces culées sont en fait des éléments de caisson ancrés dans le rocher par des câbles de précontrainte verticaux disposés dans les âmes de ces caissons.

Les vérins plats sont mis en place dans les joints dits actifs espacés de 175 m. Ces vérins créent un raccourcissement du béton entre culées, c'est-à-dire une mise en compression du béton permettant d'éviter sa fissuration sous les effets du retrait et du fluage du béton ainsi que des gradients thermiques.

La mise en compression pérenne du béton est obtenue en créant un raccourcissement total d'environ 1.10^{-3} . Compte tenu de l'évolution de fluage dans le temps, ce raccourcissement n'a été obtenu qu'après trois campagnes annuelles successives de mise sous pression des vérins plats.

Conception et engineering STUP



1965. Tunnel routier sous le Mont-Blanc. Chamonix (France)-Courmayeur (Italie) 4/4

Ayant été le siège d'un très grave incendie le 24 mars 1999. Le tunnel sous le Mont-Blanc sera l'objet de 3 ans de travaux pour les réparations et la mise en oeuvre de très importantes mesures de sécurité.

A noter qu'il sera alors créé une société européenne, le *Groupement européen d'intérêt économique du Tunnel du Mont Blanc*, qui assure la sécurité et l'entretien de l'ensemble de l'ouvrage.

En matière de génie civil, les aménagements de sécurité ont porté sur:

- la réfection de la voute et l'installation de 116 carnaux de désenfumage,
- 37 abris pour usagers, reliés à une galerie d'évacuation indépendante sous chaussée,
- 116 niches pour usagers
- 78 niches incendie.

Ils ont nécessité 5.200 m³ de démolition de béton, 18.400 m³ d'excavations, 22.000 m³ de béton.

Les travaux ont été exécutés par le groupement Bouygues TP, Vinci (GTM Dumez et GTM construction), Freyssinet.

Le tunnel sous le Mont-Blanc a été ré-ouvert à la circulation le 9 mars 2002.

Exécution du tunnel coté italien

Les travaux, sur une longueur de 5,8 km, ont été réalisés par la *Società italiana per Condotte d'Acqua*.

Ils ont été menés, pour l'essentiel, par forages et explosif. Le premier équipement de base, monté sur rails, comporte une plateforme (jumbo) à 4 niveaux recevant de 15 à 18 marteaux perforateurs Atlas Copco.

Une seconde plateforme montée sur pneus a aussi été utilisée, avec 24 perforatrices : un creusement en pleine section nécessitait 124 trous de mine et dégagait un volume de 1.000 m³ de matériaux.

Le creusement a d'abord traversé des schistes et calcaires marneux, avec deux incidents: une venue d'eau de 350 litres par seconde et un effondrement du ciel de galerie sur 99 m.

A partir du Pk 1.304 le contact a été établi avec la protogyne (principal matériau rencontré du côté français), se traduisant par de violents « coups de terrain » conduisant à l'ovalisation de la galerie. Il a fallu procéder au boulonnage de la galerie, avec pose de plaques et de treillis métallique. Les travaux ont été poursuivis avec l'exécution d'une galerie pilote de 15 m².

Une section très dure de granite « mélonite » décomposé a nécessité la pose de cintre et la protection par gunitage.

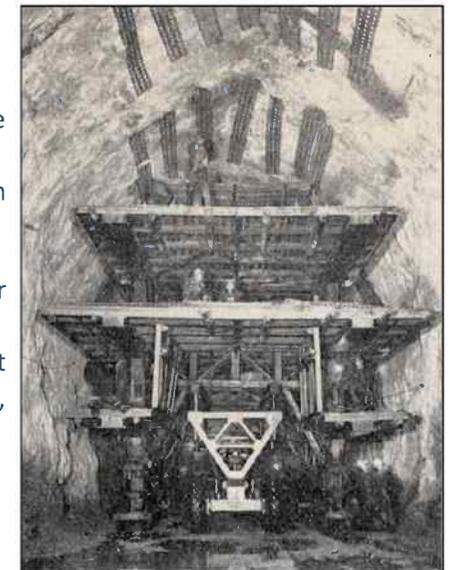
Au Pk 3.660 une venue d'eau exceptionnelle de 1.000 m³/sec a été affrontée.

Le marinage était évacué par des véhicules sur pneus.

Référence : V. Scavarda, G.C.Meschini. Le tunnel du Mont-Blanc, avancement des travaux coté italien. Travaux, avril 1962, N° 330



www.ultra-trailmb.com
Entrée du tunnel côté France
(A noter l'imposant porte à faux de la casquette)



Le jumbo sur pneus, coté Italien

1967. Pont-Tunnel Louis-Hippolyte Lafontaine, Montréal (Canada/Québec)

L'Autoroute 25 (section de la route Transcanadienne) franchit le fleuve Saint-Laurent, entre Montréal et Longueuil par un pont-tunnel long de 1391 m passant par l'île-Charron où est installé un échangeur.

Le tunnel immergé a été construit par l'entreprise Grands Travaux de Marseille (Vinci), laquelle avait réalisé de tunnel immergé de La Havane dans les années 1952-195 ».

Le tunnel, long de 1,4 km est composé de 7 caissons immergés dans le lit du fleuve (solution proposée par les ingénieurs québécois Armand Couture et Per Hall). Il comporte 3 voies de circulation dans chaque sens et un passage central pour la ventilation et les services : le trafic y est de 130.000 véhicules par jour.

Les caissons mesurent 110 m de long, 37 m de largeur et 8 m de hauteur, pesant 32.000 t chacun. Ils sont construits en cale sèche près de l'ouvrage. Ils sont transportés par flottage à leur emplacement définitif et mis en place à 24 m sous le niveau du fleuve dans une souille préparée à cet effet.

Le pont associé à ce tunnel mesure 476 m de long. C'est un ouvrage à poutres



Photographie Transports Québec et Histoire Montréal



Photographie Transports Québec (?) et Héritage Montréal

Cale sèche pour la construction des caissons



Photographie Ministère des Transports. Le Devoir 8.12.2014

Construction du radier, des piliers et des cloisons



Photographie Flickr/Héritage Montréal

Construction en voie d'achèvement

1976. Tunnel Aragnouet-Bielsa. France-Espagne

Ce tunnel routier franchit les Pyrénées, à l'est du tunnel du Somport, et il donne accès, au nord, à l'autoroute Bayonne-Narbonne.

Il présente l'originalité d'avoir été réalisé sous initiatives régionales : il a été financé par le Conseil Général des Hautes Pyrénées et par le Gouvernement d'Aragon.

Ouvert à 1821 m d'altitude au portail français et à 1.664 m en Espagne, il mesure 3.070 m de long, dont 1.772 m en France. Il livre passage à la route départementale 173 et à la route A 138. Commencé en 1967, il sera achevé en 1976.

Il a été construit par la Société Auxiliaire d'Entreprises (SAE) pour la partie française et par la société Técnicas Especiales de Construcción (TECSO) pour la partie espagnole, sous mandat unique de la SAE.

Il comporte un seul tube et il mesure 7,50 m de largeur accueillant une chaussée de 6 m de largeur et 2 trottoirs de 0,75 m. Sa hauteur au plafond est de 5,38 m, avec une hauteur utile de 4,30 m. A sa construction, seuls 8 anneaux de la voûte étaient revêtue en raison de la fragilité des matériaux rencontrés.

Par la suite, la voûte a été entièrement revêtue, l'éclairage et la ventilation ont été installés, et un dispositif de surveillance a été mis en place (caméras et centrale de contrôle).



Intérieur du tunnel



Entrée nord du tunnel (côté France)

1980. Tunnel routier du Fréjus. France-Italie 1/2

Ce tunnel routier franchit les Alpes, de Modane en France à Bardonecchia en Italie, sur l'axe Lyon-Turin. C'est la deuxième traversée routière des Alpes du nord entre ces deux pays, après le tunnel sous le Mont-Blanc construit en 1965.

Il comporte un seul tube, bidirectionnel, long de 12.870 m, en pente longitudinale de 0,56 % au monde. Il est partiellement parallèle au tunnel ferroviaire construit en 1871.

Il a été réalisé sous la maîtrise d'ouvrage de la Société Française du Tunnel Routier du Fréjus pour la partie de l'ouvrage en France, et de la Società italiana per il traforo autostradale del Fréjus pour la partie en Italie.

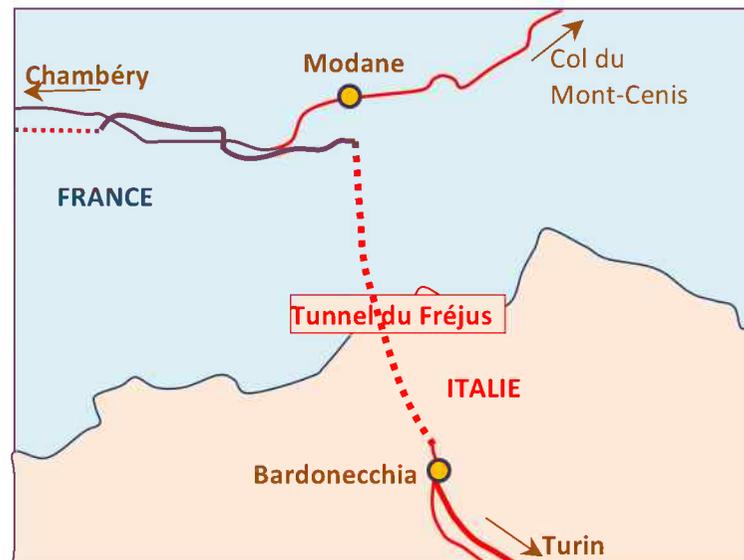
Coté français la maîtrise d'œuvre a été assurée par la SETEC TPI.

La réalisation de la section du tunnel coté français est due au groupement d'entreprises SGE TPI, Fougerolles, SFETDTP, Omnium d'entreprises Dumesnil et Chapelle, PP Setrac, avec la sous-traitance d'Intrafor-Cofor.

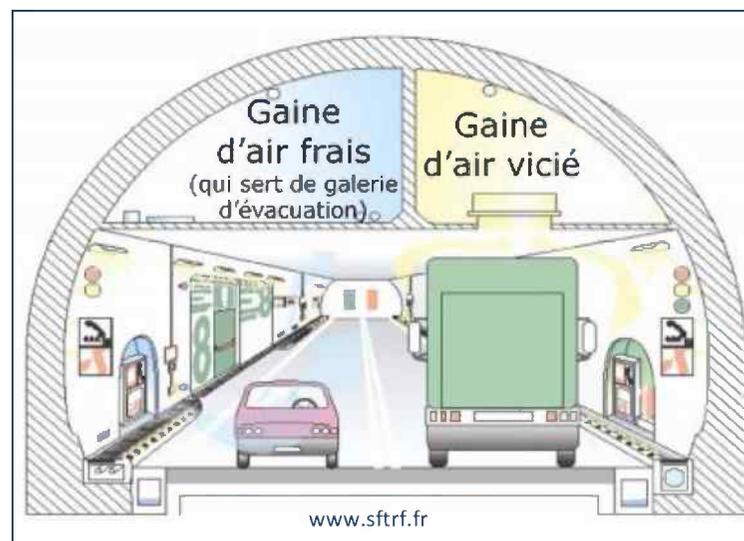
Le tunnel présente une section approximativement semi-elliptique, avec une voie large de 9 m comportant les deux chaussées unidirectionnelles de 3,5 m de largeur, les deux trottoirs et les systèmes de sécurité.

Du côté français, le percement du tube a essentiellement rencontré des schistes lustrés. Il a été réalisé à l'explosif avec un jumbo perceur.

La calotte du tunnel comporte deux galeries, l'une pour l'évacuation de l'air vicié, l'autre pour l'alimentation en air frais. Cette dernière constitue également la galerie d'évacuation de sécurité.



D'après www.viamichelin.fr



1980. Tunnel routier du Fréjus. France-Italie 2/2

La ventilation comporte 6 usines, une à chaque extrémité du tunnel, 2 doubles en souterrain et 3 puits de ventilation dont un coté français Cet ouvrage exceptionnel mesure 700 m de haut et 7,4 m de diamètre intérieur (Il a été exécuté à l'explosif).

« Le tunnel comporte de nombreux dispositifs de sécurité :

- . 5 garages et 5 galeries de retournement situées en vis-à-vis tous les 2.100 m, permettant l'arrêt d'urgence et l'évacuation des véhicules en panne,
- . boutons d'appel SOS tous les 20 m, 100 niches d'appel tous les 265 m, poteaux incendie tous les 130m, 2 réservoirs incendie, côté France et côté Italie, 11 abris pressurisés reliés à la galerie de ventilation.
- . trappes de désenfumages en cas d'incendie, situées tous les 130 m.

Document sfrtf »

1988 Second tube du tunnel de Fréjus

La nouvelle réglementation sur la sécurité des tunnels routiers (1999) a conduit à la construction d'un nouveau tunnel, long de 12,875 km, parallèle au premier, de 8 m de diamètre. La maîtrise d'œuvre est assurée par un groupement dont le mandataire est INEXIA.

Les deux ouvrages sont distants de 50 m et ils sont reliés entre eux par 34 abris de sécurité, ainsi que par 5 passages inter-tubes pour les véhicules de secours et de sécurité.

Le percement de l'ouvrage, réalisé complètement par le groupement Razel-Bec/ Bilfinger-Berger, a été achevé en 2014. Sa mise en service, dans le sens Italie-France est prévue pour 2019.

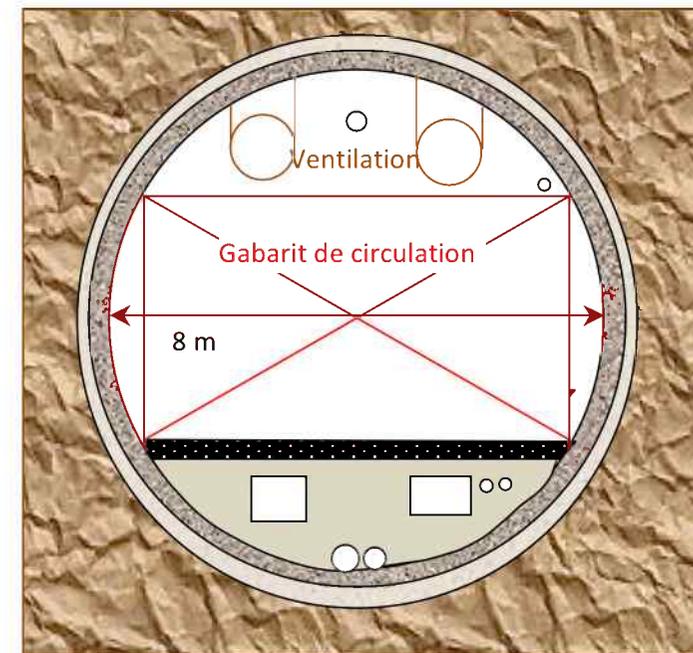
Ce nouveau tube a été foré par un tunnelier Herrenknecht à bouclier simple jupe, avec mise en place automatique des voussoirs en béton armé.

Le marinage est évacué par un système de convoyeurs via une galerie longue de 485 m qui permet d'accéder directement au lieu de dépôt.

Il comportera 2 stations de ventilation et 8 stations techniques. En termes de sécurité il verra sa surveillance vidéo renforcée et il sera doté d'un dispositif de détection automatique d'incident.



tête du puits de ventilation. www.sfrtf.fr



1994. Tunnel ferroviaire sous la Manche. France Royaume-Uni. 1/11

Le tunnel ferroviaire sous la Manche, « *l'ouvrage du siècle* », mis en service le 1^{er} juin 1994, a été réalisé entre 1987 et 1993. Cet ouvrage historique long de 50,45 km, dont 37,9 km sous la mer, était, à l'époque de sa construction le plus long au monde.

Il a été foré par tunneliers dans la « craie bleue », à 40 m de profondeur sous de mer. Il avait à faire face à un triple défi: politique et émotionnel du fait des relations franco-britanniques particulières, technique par la nouveauté et l'ampleur des technologies à mettre en place, financier puisque construit avec des fonds privés,

Il relie les deux installations terminales de Folkestone en Grande-Bretagne et de Coquelles en France. Il accueille notamment le transit des Trains à Grande Vitesse vers Londres d'une part, vers Paris (et au delà), Lille et Bruxelles (et au delà) d'autre part. Des convois comportent des voitures spécifiques pour le transport de véhicules terrestres (Véhicules légers et poids lourds) : de l'ordre de 400 convois par jour. En 2014 le tunnel a été emprunté par 21 millions de passagers, dont 10 millions par l'Eurostar, tandis que les navettes ont transporté 2,5 millions de cars et autres véhicules de tourisme et 1,4 million de camions.

Il comporte 3 tunnels parallèles : deux tubes à voie unique (de 7,6 m de diamètre) pour les convois, espacés de 30 m et un tube central (de 4,8 m de diamètre) destiné à l'entretien et à la sécurité. Il comporte également des sections de croisement des voies (2 cross-over), des rameaux de communication entre les tunnels principaux et le tunnel de sécurité tous les 375m, et des rameaux de « pistonement » tous les 250 m.

Les études du projet ont été menées par la Setec du côté français et Atkins côté anglais. Ce projet est réalisé dans le cadre d'une concession, la société concessionnaire étant Eurotunnel.

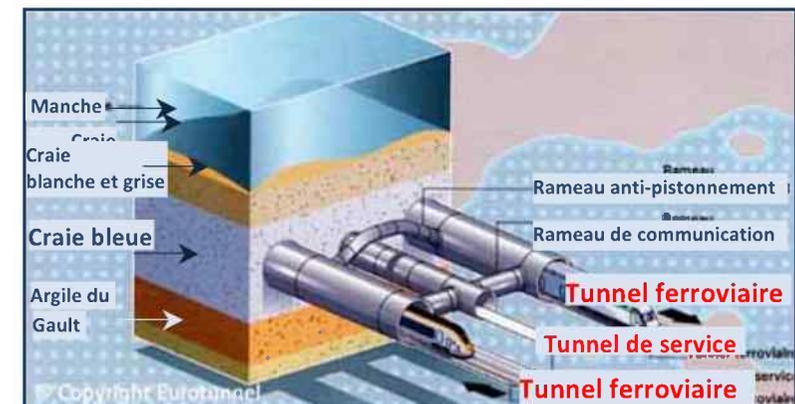
La Maîtrise d'œuvre est assurée par le groupement Atkins-Setec.

La construction est réalisée par le consortium Transmanche Link (TML) des dix entreprises suivantes : Balfour Beatty Construction, Bouygues Construction, Costain Tarmac, Dumez, SAE International, SGE Société Générale d'Entreprises, Spie Batignolles TP, Taylor Woodrow, Wimpey. Construction-France constitue la structure de management de l'ensemble des travaux coté France.

Chaque groupe de cinq entreprises de chaque pays réalise les travaux, respectivement de chaque coté. Ce document ne traite des activités menées par les entreprises françaises.



Plan sommaire du tunnel sous la Manche



Coupe transversale du tunnel et du système de transport. Document Eurotunnel

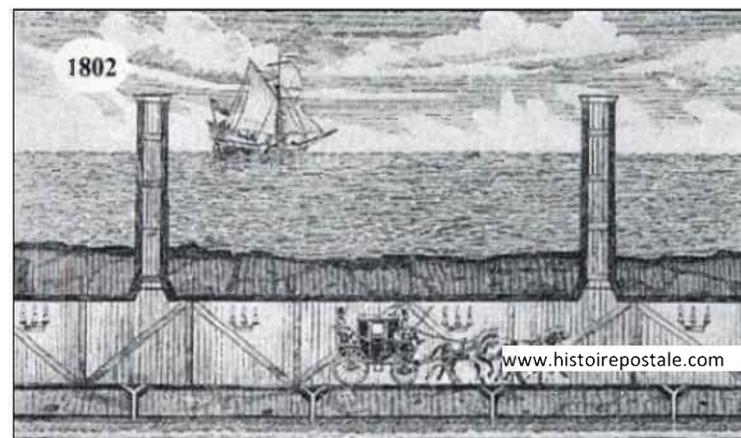
1994. Tunnel ferroviaire sous la Manche. France Royaume-Uni. 2/11

Principaux faits historiques

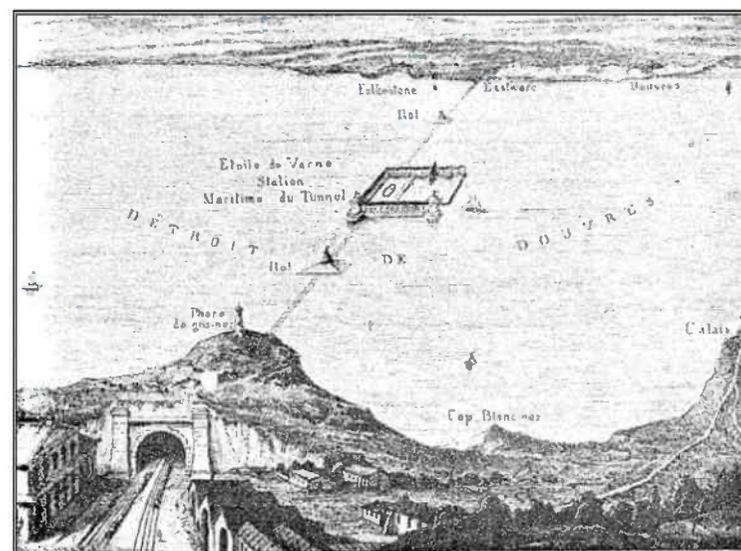
Cette construction concrétiste près de 2 siècles de rêves, de projets, de discussions, de disputes, de renoncements, d'amorces de travaux, et de procédures entre les deux pays: Près de 140 projets auraient été présentés, marquant la persévérance des auteurs de projets, le soutien politique à épisodes des deux pays, les progrès techniques et l'intérêt des financiers

Certains faits historiques marquent cette période :

- **1751.** Le géographe Nicolas **Desmarest** étudie la géographie entre la France et l'Angleterre. En 1753 il reçoit le prix de l'Académie des Sciences et des Arts d'Amiens pour sa *Discussion sur l'ancienne jonction continentale de la France et de l'Angleterre*.
- **1802.** **Albert Mathieu Favier**, ingénieur des mines, présente le premier projet de tunnel, entre Douvres et Calais: il s'agit de deux tubes superposés, l'un pavé et éclairé, dévolu au passage des voitures cheval et l'autre pour la collecte et l'évacuation des eaux. La ventilation de l'ouvrage est assurée par des cheminées à travers les sols et la Manche, tandis qu'une île artificielle aurait été édifée sur le banc de Varnes, à mi-chemin entre les deux villes.
- **1855.** **Aimé Thomé de Gamont**, Ingénieur (Pays-Bas), a consacré 30 ans de sa vie à la liaison fixe entre la France et la Grande Bretagne. Après avoir successivement étudié des projets du tunnel immergé avec des tubes en tôle (1834), un pont (1836), un bac flottant (1837), et une jetée (1840), il propose un tunnel foré (1855) entre Gris-Nez et Easterwear-Point (projet appuyé par des reconnaissances géologiques en fond de mer menées par son auteur) comportant une station maritime à mi-chemin, sur le banc de sable de Varnes. Le projet est présenté à l'Exposition Universelle de 1867 et approuvé par Napoléon III et la Reine Victoria : un Comité franco-britannique est alors créé pour des études détaillées et la mise au point d'un contrat de concession. La guerre de 1870 mettra un terme à ces initiatives. En 1856, le Britannique William Austin présente un projet ferroviaire avec 3 galeries.
- **Le projet de 1875.** Un projet de tunnel est relancé en 1868 par la création franco-britannique du *Channel Tunnel Committee*, puis par la création de la *Société du tunnel sous-marin entre la* En 1874, une concession de 99 ans est accordée à l'*Association française du tunnel sous-marin* et à la *Channel Tunnel Company*. Les études géologiques et les forages (Labrousse, Potier et Lapparent) mettent en évidence les capacités de la couche de craie bleue dans laquelle un tracé de 54 km de long est élaboré. Un puits (descenderie) est foré à Sangatte en 1876 (Ingénieur Ludovic Breton), d'où commence le creusement coté français : la galerie atteindra 1839 m, tandis qu'une galerie de 2026 m est forée coté anglais....lorsque le gouvernement britannique met fin à ces travaux en 1883 en raison des menaces stratégiques présentées par le tunnel.



Projet d'Albert Mathieu Favier



Projet de Aimé Thomé de Gamond. (Dessin ancien de Thomas Whiteside).

1994. Tunnel ferroviaire sous la Manche. France Royaume-Uni. 3/11

- 1957. le Groupement d'études du tunnel sous la Manche.

Louis Armand crée le GETM comprenant : l'Association française du tunnel sous la Manche, the Channel Tunnel Company, la Compagnie financière de Suez, la Société Technical Studies Inc.

Le GETM dépose en 1960 un rapport d'études de Malcor, Harding et Ribeyre (et de nombreux experts) dans lequel sont étudiées les solutions de lien fixe : tunnels forés, tunnels immergés, pont, ouvrage mixte pont-tunnel immergé, tandis que sont prises en considération les modes de transport ferroviaire, routier et mixte.

La conclusion des études géologiques, techniques, économiques et financières est en faveur d'un ouvrage ferroviaire (deux tubes pour le transport, un pour la sécurité et l'entretien), ouvert à des navettes.

Cette étude comporte une étude géologique détaillée des sols, avec un intérêt particulier pour la couche de marnes bleues du Cénomaniens.

- Evolutions de 1972 à 1985

1971 Mise au point d'un nouveau projet de tunnel tritube, foré entre Frethun et Folkestone, avec la convention de **1972** entre la Société française du tunnel sous la Manche et le British Channel Tunnel Group. Il est concrétisé par le **Traité des Chequers en 1973** (Georges Pompidou et Edward Heath). En 1975 les britanniques (Harold Wilson) renoncent en raison de la crise financière.

1981. Sommet franco-britannique (M. Thatcher et F. Mitterand) en faveur d'un lien Transmanche

1982. Ministres de transports : nouvelles études pour une liaison ferroviaire ferrée

1984. Sommet franco Britannique. Accord de principe sur la liaison transmanche.

2 avril 1985. Ouverture de l'appel d'offres. Accord de principe pour la consultation de promoteurs privés.

Quatre projets ont été remis à cet appel d'offres :

- Projet franco- britannique **France-Manche/CTG** pour un tunnel ferroviaire foré avec deux galeries à voie unique (diamètre de 7,3 m) et une galerie de service (diamètre de 4,50m).

- Projet mixte mené par les **Grands Travaux de Marseille** pour un groupement d'entreprises : un tunnel ferroviaire à double voies et un tunnel routier immergé, entourés de ponts à haubans; avec îles artificielles.

- Projet de ponts routiers (deux niveaux de 6 voies), **Europont-Eurobridge**, comprenant des ponts suspendus à longue portées, utilisant des matériaux innovants.

- Projet mixte de **TransManchExpress** de British Ferries. Il comporte des tunnels forés de 11.30 de diamètre : deux tunnels ferroviaires et deux tunnels routiers.

- Les dispositions finales de 1986

- **20 janvier.** Traité franco-britannique à Lille et sélection du projet de tunnel ferroviaire foré **France-Manche/CTG** (Margaret Thatcher François- Mitterand)

- **12 février.** Traité franco-britannique de Canterbury sur les conditions de la concession, en particulier sur le financement privé (Roland Dumas et Geoffroy How). Création de la Commission intergouvernementale qui suivra la construction, la sécurité, etc.

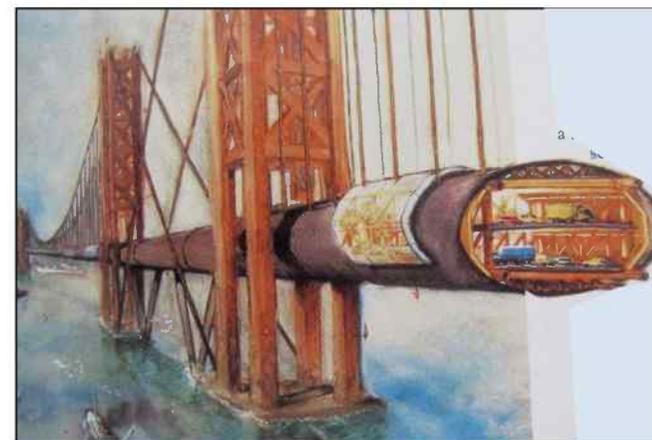
- **14 mars** : convention entre les deux gouvernements, France-Manche et The Channel Tunnel Group Limited, qui accorde aux deux groupes la concession (55 ans) pour toutes les actions.

- **13 Aout** : signature du contrat de construction entre Eurotunnel et le consortium de 10 entreprises Transmanche Link (TML).

Les parlements des deux pays agréeront les Traités en 1987



Puits de Sangatte (vers 1876) : 1839 m de tunnel seront forés



Projet d'ouvrage « Europont-Eurobridge »

1994. Tunnel ferroviaire sous la Manche. France Royaume-Uni. 4/11

Profil géologique du Pas de Calais dans la zone du tunnel.

Les études géologiques et géotechniques ont joué un rôle déterminant pour la détermination du niveau d'implantation du tunnel. Les multiples prospections effectuées montrent que des formations de l'ère secondaire du Crétacé et du Jurassique occupent toute la largeur du Pas de Calais sur les lieux favorables à l'implantation du tunnel.

A partir du fond de mer, le Crétacé comporte, sous 40 m d'épaisseur d'eau :

Craie blanche à silex (Sénonien), d'épaisseur très variable
Craie grise (Turonien).

Craie bleue (Cénomanién) 65 à 75 m, sur 3 à 5 m de craie glauconieuse (Tourtia).

Argiles du Gault et sables verts (Albien),

La craie bleue présente les meilleures caractéristiques (épaisseur, consistance, faible perméabilité, peu de failles, aptitude au creusement par tunneliers) pour accueillir un tunnel foré. Le tiers inférieur est le plus favorable.

La craie bleue est réputée plus faillée coté français que coté anglais, ce qui conduira à choisir des tunneliers spécifiques pour chaque partie du tunnel.

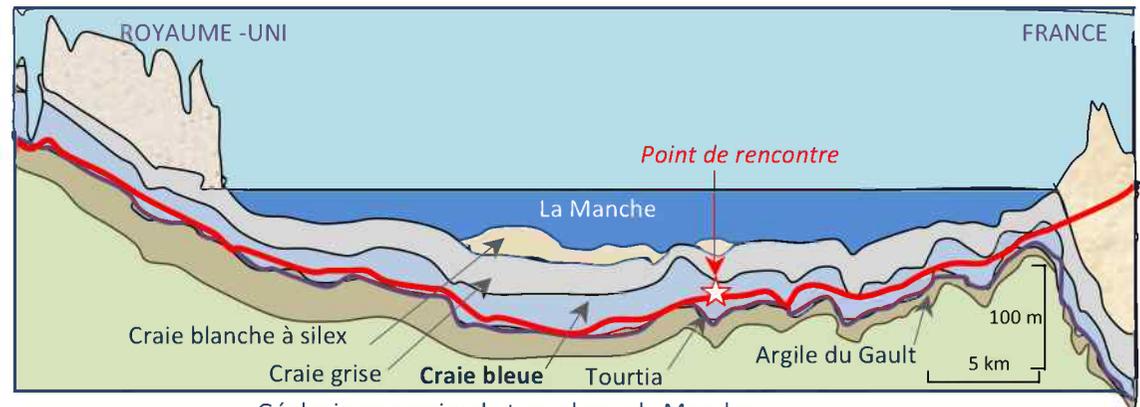
Les reconnaissances seront suffisamment précises pour déterminer le meilleur tracé, en plan et en altitude (localisation par rapport aux formations géologiques proches, contraintes de pentes et de rayon de courbure).

Les reconnaissances et les études

Ce n'est qu'avec les projets de Thomé de Gamond (..) que commence la connaissance des sols : Il pratique lui-même des plongées périlleuses de 33 m de profondeur afin de préciser la nature du fond de la mer et Il fait exécuter 3 forages à terre.

A partir des projets de 1872 les reconnaissances se font plus précises : premiers sondages en 1874, puis campagne de la Société du tunnel du tunnel sous la Manche (Lapparent et Larousse) avec de nombreux sondages, complétée en 1876 par une autre série de sondages. La présence de la couche de craie bleue est affirmée sur l'ensemble du site, avec une épaisseur évaluée jusqu'à 60 m.

La réalisation du puits d'accès de Sangatte, en 1878, confirme le bien fondé du choix de cette couche de craie bleue pour le creusement du tunnel.



Géologie sommaire du tunnel sous la Manche

D'après CJ Kirland, *engineering of the Channel tunnel, 1985, p77* et C Kienan. Wikipédia, Creation commons

En 1877, le Service de la carte géologique établit la première carte géologique du fond de mer.

De 1957 à 1959, puis en 1964-65, sous l'égide du Groupement d'Etude pour le Tunnel sous la Manche, des reconnaissances géologiques approfondies sont menées, sous la direction de Goguel et Brackshaw.

Elles comprennent la reconnaissance précise du fond de mer, la reconnaissance des anciennes galeries, des prospections sismiques et des sondages à terre et en mer, des essais : l'épaisseur de craie bleue va de 65 m (France) à 80 m (coté britannique).

En 1972-1975, des levés géophysiques et des sondages à terre et en mer confirment les conclusions des campagnes précédentes.

En 1985, pour la préparation de l'offre de réalisation du tunnel foré, un rapport de synthèse est présenté.

Après la sélection (1986) de la solution du tunnel foré, le tracé est affiné dans la craie bleue: demeurer au moins 5 m sous la craie grise, demeurer au moins 5 m au dessus de l'argile du Gault, demeurer à moins de 100 m de profondeur sous le niveau de la mer par respect du fonctionnement des tunneliers.

En cours de creusement des tunnels, des reconnaissances minutieuses ont été réalisées, à l'avancement et dans les zones avoisinant l'ouvrage.

1994. Tunnel ferroviaire sous la Manche. France Royaume-Uni. 5/11

Les travaux de génie civil

Les travaux de génie civil commencés en 1987 se sont terminés en 1991

Ils comportent principalement :

- L'exécution des puits d'accès
- Le creusement des tunnels et la création d'un dépôt des déblais au « Fond Pignon »
- La pose des voussoirs du revêtement
- La constitution des terminaux : Coquelles en France, Cheridon en Grande-Bretagne.

Afin de faciliter le creusement des tunnels et de respecter les délais contractuels, la réalisation de l'ouvrage a débuté par la réalisation de deux puits d'accès, l'un à Sangatte en France, l'autre à Shakespeare Cliff en Grande-Bretagne. Ainsi ce seront 11 tunneliers qui seront en service.

Les puits d'accès.

Coté France, le puits a été creusé à Sangatte, près du puits réalisé en 1878, à partir duquel une galerie de 1839 m de long avait été creusée.

Ce nouveau puits constitue la véritable « plaque tournante » pour l'exécution des tunnels : descente des éléments du train-tunnelier, mouvement des personnels, descente des voussoirs, évacuation des déblais et des eaux d'exhaure, alimentation en électricité et en fluides, constitutions de « gares » dans les 50 premiers m de chaque tube pour le montage des trains-tunneliers et les mouvements des trains.

Le puits est un ouvrage de 57/55 m de diamètre et 65 m de profondeur, réalisé en 1987.

Afin d'éviter les problèmes hydrauliques (la nappe est à 15 m de profondeur), il est réalisé, en partie supérieure, à l'abri d'une paroi moulée ancrée dans la marne bleue peu perméable. En dessous, il est constitué d'anneaux en béton armé coulé en place

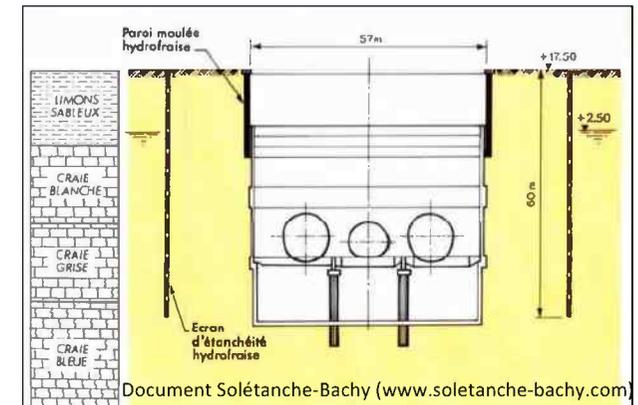
C'est une paroi circulaire bétonnée de 21 m de profondeur et 1 m d'épaisseur, réalisée à l'hydrofraise.

Le puits est entouré par un écran d'étanchéité au coulis, d'une longueur développée de 482 m (198 m de long, 97 m de largeur, 60 m de profondeur et 0,60 m d'épaisseur), qui met hors d'eau la zone d'attaque des tunneliers avant l'atteinte de la marne bleue, ainsi que les « gares ». Cette enceinte est réalisée à l'hydrofraise. Toutes ces parois ont été réalisées par l'entreprise Solétanche-Bachy

Au niveau de l'entrée des tunnels, il est construit une dalle en béton armé de 1 m d'épaisseur et un platelage métallique, soutenu par 4 pieux de 2 m de diamètre.

En surface, le puits est équipé de poutres et de ponts roulants qui assurent les transferts avec le fond.

Nota: Coté britannique l'accès au tunnel se fait par une descenderie, à partir d'une plateforme off shore.



Document Solétanche-Bachy (www.solétanche-bachy.com)

Coupe schématique du puits de Sangatte



Document Solétanche-Bachy (www.solétanche-bachy.com)

Terrassement du puits



<http://tunnel-sous-la-manche.overblog.com>

Débouché des tunnels dans le puits

1994. Tunnel ferroviaire sous la Manche. France Royaume-Uni. 6/11

Creusement des tunnels

Le tunnel sous la Manche (Eurotunnel) comporte le creusement de :

- 3 tubes parallèles, longs chacun de 50 km : les 2 tubes de circulation (espacés de 30 m) de 7,8 m de diamètre et le tube pour l'entretien et la sécurité, de 4,8 m de diamètre,
- deux sections de croisement (cross-over), obtenues par élargissement entre les tubes principaux, où se font d'éventuels changements de voie des convois.
- les rameaux de jonction entre les trois tubes (306), pour l'entretien et sécurité,
- les rameaux de « pistonnement » (119), entre les tubes principaux.

Tous ces ouvrages sont creusés, à peu près, dans la couche de craie bleue cénomaniennne.

Les trois tubes sont creusés par des tunneliers, les ouvrages par moyens mécaniques (perforatrices, machines rotatives ponctuelles).

Ce sont en tout 11 tunneliers qui effectueront le creusement des 3 galeries. Il y a simultanément 3 tunneliers en actions, un dans chaque tube.

Cinq tunneliers en action coté France sont plus spécifiques. En effet les failles dans la marne bleue sont plus nombreuses coté France, aussi les tunneliers de ce coté ci sont-ils de type fermé (confinement de terre) afin de faire face à de fortes pressions d'eau. Ils peuvent également fonctionner en équipement ouvert dans la section centrale du tunnel où les failles sont rares.

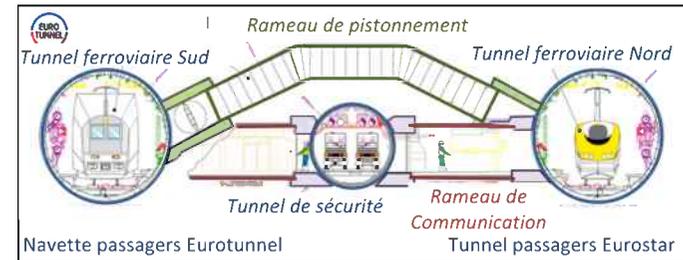
A noter que le chantier coté britannique a parfois connu de sérieuses inondations.

Les tunneliers sont mis en place par le puits de Sangatte, ainsi que les éléments du train tunnelier qui sera assemblé dans les chambres des tunnels

Coté mer, les tunneliers ont foré entre 13 et 20 km de long chacun.

Ce sont les suivants :

- le T1, *Brigitte*, pour le tunnel de service, construit par Robbins, assurant un diamètre de creusement de 5,77 m. Le bouclier mesure 11 m de long et il pèse 470 t. Le train suiveur pèse 600 t. les vitesses sont de l'ordre de 3 m par heure.
- le T2, *Europa*, pour le tunnel nord, construit par Robbins et Kawasaki, assurant un diamètre de creusement de 8,78 m. Le bouclier mesure 13,75 m de long et il pèse 1.250 t. Le train suiveur pèse 800 t
- le T3, *Catherine*, pour le tunnel sud a les mêmes caractéristiques que le T2,



Tunnelier Robbins pour le tunnel de sécurité et de service



Tunnelier Kawasaki pour le tunnel ferroviaire

1994. Tunnel ferroviaire sous la Manche. France Royaume-Uni. 7/11

Creusement des tunnels

Coté terre, 3 tunneliers ont été utilisés, forant chacun environ 3. 260 m.

Compte tenu de la nature faillée des terrains qui sont rencontrés, ils fonctionnaient en mode fermé. Fabriqués par Mitsubishi, ce sont :

- le T4, *Virginie*, pour le tunnel de service, assurant un diamètre de creusement de 5,61 m. Le bouclier mesure 10,6 m de long et il pèse 350 t. Le train suiveur pèse 400 t,
- le T5, *Pascaline*, pour le tunnel nord assurant un diamètre de creusement de 12 m. Le bouclier mesure 12 m de long et il pèse 600 t. Le train suiveur pèse 400 t
- le T6, *Séverine*, pour le tunnel sud. En fait il s'agit du T5 remis en service.

Le train tunnelier, dont la longueur peut atteindre 318 m, compte jusqu'à 19 remorques. On y trouve : la cabine de pilotage et les dispositifs de creusement et d'évacuation, le dispositif de mise en place des voussoirs, les pompes, les dispositifs électriques, le dispositif de ventilation, le transport des voussoirs et les matériaux de scellement, etc.

Le transport dans les tunnels s'est effectué sur des voies provisoires de 1 m d'écartement.

La première jonction entre équipes est réalisée entre les tunnels de service le 1er décembre 1990.

Après exécution des travaux, les tunneliers ont été abandonnés, soit après dérivation et enfouissement sur place coté britannique, soit après démontage sur place coté français.

Evacuation des déblais

Ce sont 3,3 millions de m³ de déblais qui seront extraits des tunnels. Evacués du tunnelier par un système à vis, ils sont transportés par convoyeurs et berlines jusqu'au puits de Sangatte ou ils sont broyés puis malaxés avec de l'eau. La boue épaisse est alors pompée par des huit pompes à piston et des conduites de 250 mm jusqu'au Fond Pignon situé à 2 km du puits. La digue de 50 m de haut, réalisée en craie avec cheminée et tapis drainants recevra 5,7 millions m³ de matériaux.

Topographie

La rencontre des deux parties du tunnel de service sous la mer s'est faite avec un décalage de 58 mm en altimétrie et de 358 mm en alignement. Coté terre, la sortie du tunnel a été assurée à moins de 20 mm de la prévision.

La topographique était d'une extrême importance : calage géographique, repérage géotechnique, respect géométrique. Partant de deux points distants de 38 km, sans repérage intermédiaire de surface, cette opération a mis en œuvre les technologies les plus modernes : cartographie de précision à système unique, géodésie spatiale, GPS, gyrothéodolites.

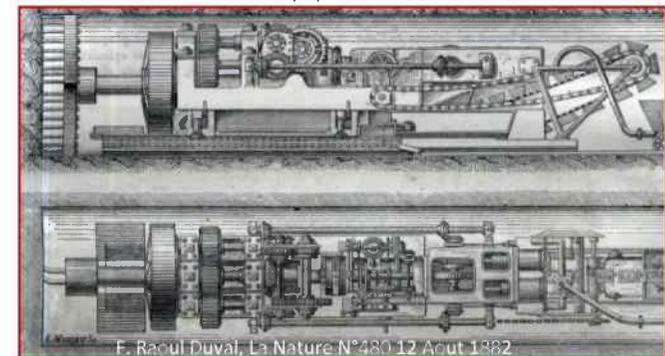
Auparavant, en 1882-83, des galeries longues de 1.839 m et 2.026 m, respectivement côté français et côté anglais, avaient été également creusées par un tunnelier, celui de Frederick de Beaumont. Construite par la Société des Batignolles, cette machine de 9 m de long était mue par air comprimé fourni par l'équipement de Colladon. A l'aide de bras tournants avec lames métalliques, elle creusait un tunnel de 2,14 m de diamètre.



Tunnelier Mitsubishi pour le tunnel de service et de sécurité



Tunnel ferroviaire avant équipement final et entrée en service



La machine perforatrice de Frederick de Beaumont

1994. Tunnel ferroviaire sous la Manche. France Royaume-Uni. 8/11

Le **revêtement** des trois tunnels, très généralement en contact avec la craie bleue, est essentiellement constitué de voussoirs en béton armé à très haute résistance. Ces voussoirs sont réalisés dans une usine installée près du puits de Sangatte par lequel ils atteignent les tubes en construction.

Des voussoirs en fonte ne sont mis en place qu'aux intersections avec les rameaux.

Un voussoir courant de tube ferroviaire mesure 1,60 m de long, 1m de large et 0,40 m d'épaisseur. Ainsi chaque anneau comporte 6 voussoirs de 3 types différents, dont un voussoir de clé : 720.000 voussoirs seront mis en place.

Les voussoirs sont installés à l'avancement dans la jupe du tunnelier, peu après le bouclier.

A cet effet, le train suiveur comporte un convoyeur à voussoirs et un alimentateur.

Les anneaux servent d'appui aux vérins qui assurent l'avancement de ce bouclier.

La préparation des voussoirs est assez complexe car les tubes ne sont pas droits. Ils présentent des ondulations en plan et en altitude afin d'éviter une trop grande proximité avec l'argile du Gault sous-jacente, plus déformable que la craie bleue. Ainsi les voussoirs présentent-ils des variations de dimensions, le pincement, qui permet à l'ouvrage de suivre le tracé projeté, avec une précision moyenne de 3 cm. Cela nécessite un guidage précis afin d'éviter le coincement des anneaux dans la jupe du tunnelier : mesures au laser et au théodolite.

Le contact entre les voussoirs et la craie bleue est assuré par des injections de bourrage au mortier réalisées aussitôt après mise en place. Par ailleurs les voussoirs sont boulonnés entre eux.

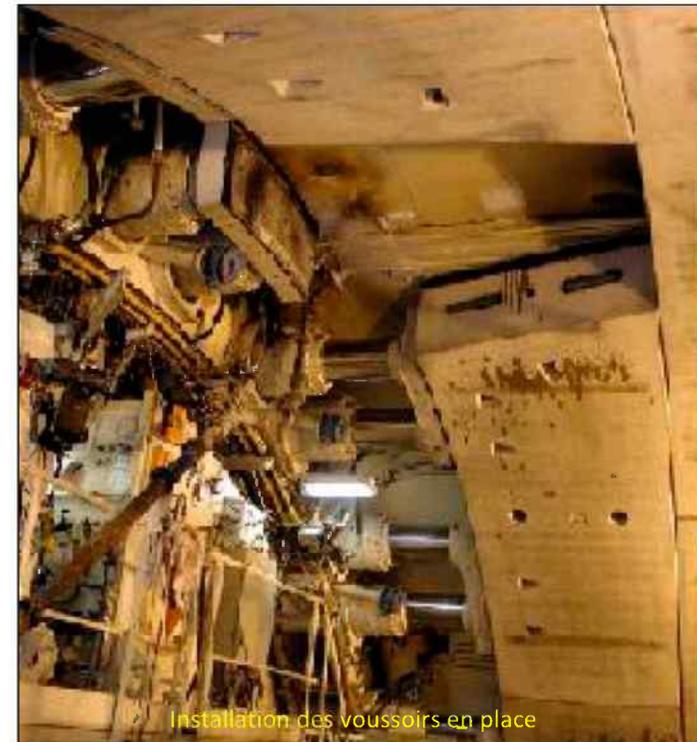
Afin de résister à la forte poussée hydraulique, le revêtement doit être étanche : les voussoirs sont équipés d'une couche imperméable et des joints au néoprène collés sont installés entre les voussoirs. Les voussoirs sont en béton armé avec armatures métalliques, de cinq types différentes.

Ainsi ce sont 72 types différents de voussoirs qui sont assemblés dans les tubes.

Le revêtement a fait l'objet d'études très approfondies. La méthode de convergence – confinement en contraintes effectives a été utilisée eu égard aux fortes pressions hydrauliques afin de déterminer l'épaisseur des voussoirs. On a notamment étudié le risque d'interaction entre les tubes lors de leur creusement, l'effet de la proximité de l'argile du Gault et le rôle de l'injection de bourrage.



Voussoir en cours d'essai



Installation des voussoirs en place

1994. Tunnel ferroviaire sous la Manche. France Royaume-Uni. 9/11

Le terminal de Coquelles (France)

Le tunnel sous la Manche sort de terre au terminal de Coquelles (près de Calais) par la tranchée de Beussingue en France et à Folkestone en Angleterre. C'est là que se font les raccordements aux voies de transport de surface (rail, route), les opérations d'embarquement-débarquement, ainsi que les formalités d'accès à bord. Cela concerne particulièrement les navettes dévolues aux véhicules routiers (automobiles, cars poids lourds). On y trouve les zones spécifiques suivantes : terminal de tourisme (y compris les contrôles), zone commerciale, terminal des poids lourds (y compris les contrôles), quais de chargement/déchargement, bâtiments d'entretien, installations de secours.

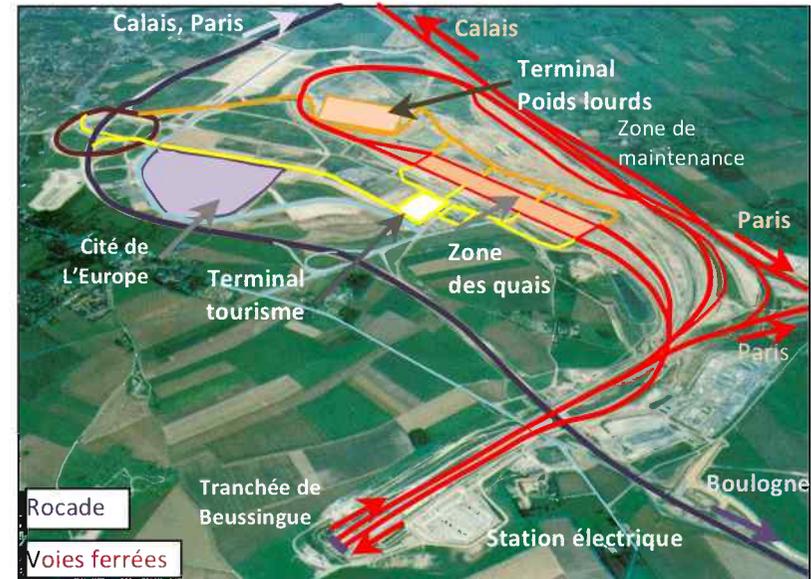
Le terminal de Coquelles, le plus vaste des deux terminaux s'étend sur 700 ha : c'est comparable à la surface d'un grand aéroport européen.

Sa réalisation a nécessité des terrassements très importants, environ 12 millions de m³. 70% de la surface du terminal est édifiée sur des sols compressibles comportant de la tourbe (jusqu'à 3 m d'épaisseur) et des limons (jusqu'à 10 m d'épaisseur) surmontant la craie. L'accélération de la consolidation des sols compressibles a été obtenue grâce à la mise en œuvre de drains verticaux plats à âme plastique et entourés en géotextile, espacés de 1,8 à 2,5 m. Les zones ainsi traitées sont surmontées d'un préchargement temporaire assurant la consolidation des couches sous-jacentes : 6 m d'épaisseur en tout comprenant une couche de sable 1 million de m³ assurant le drainage des eaux, ainsi que de la craie.

Les matériaux locaux ont été utilisés autant que possible, limons traités à la chaux, craie sélectionnée, mais il a aussi fallu recourir à des sables régionaux (carrières de Salines de Coquelles et de Wissant).

La conception et la réalisation du terminal de Coquelles sont dues à la SETEC. Les travaux de terrassement ont été exécutés par les entreprises Deschiron, Guidoli, Dragage TP, Beugnet, STPV.

L'agrandissement du terminal de Coquelles est en cours, visant notamment le parking à camions, de nouvelles lignes de péage et des files de délestage.



Terminal de Coquelles : principales installations



Tranchée de Beussingue (A droite la voie de service)

1994. Tunnel ferroviaire sous la Manche. France Royaume-Uni 10/11

Financement, Coût des travaux

Le financement est entièrement privé, sans subvention ni garantie des Etats.

En 1987 le coût total des travaux (y compris terminaux, équipements électromécaniques et matériel roulant) est estimé à 27 milliards F, auquel il convient d'ajouter les frais d'Eurotunnel, les frais financiers et des provisions pour inflation et aléas. Ce qui conduit à un besoin en financement de 60 milliards F, couverts par 10 milliards F de capital et 50 milliards F de prêts bancaires.

A la mise en service le montant des travaux s'élève à 47 milliards (hors inflation) et le coût total de l'opération à 100 milliards F, ce coût supplémentaire ayant été couvert par des augmentations en capital de 15 milliards F et en prêts de 25 milliards F.

Les recettes à l'ouverture sont largement inférieures aux prévisions et ne permettent pas de payer les intérêts de la dette, ce qui conduit à de nouveaux prêts puis à des négociations avec les banques pour une restructuration de la dette.

L'essentiel du capital avait été introduit en bourse en 1987 sur une valeur de 35 F. En 2007, en raison des difficultés financières persistantes, il est procédé à un regroupement d'actions (1 nouvelle = 40 anciennes) et à une nouvelle restructuration de la dette. Vingt ans après la mise en service, la dette bancaire a ainsi été divisée par plus de 3 par les restructurations successives et la valeur de l'action ne représente plus que 5% de la valeur d'introduction en bourse de 1987. La société semble désormais être sur des bases plus saines.

Contribution de Jean-Paul Teyssandier



6 mai 1994. Inauguration du tunnel. François Mitterrand Elisabeth II

Galerie Windows life VVT2RQ6



1986. Traité de Canterbury. François Mitterrand, Margaret Thatcher



1^{er} décembre 1990. Jonction. Philippe Cozette, Graham Fagg

Georges Pilot. IESF. Comité génie civil. Novembre 2015

1994. Tunnel ferroviaire sous la Manche. France Royaume-Uni. 11/11

Travaux de remise en état après incendies dans le tunnel.

Le Tunnel sous la Manche a connu, à ce jour, quatre incendies d'importances variées : 18 novembre 1996, 11 septembre 2008, 29 novembre 2012, 17 janvier 2015. Les deux premiers ont provoqué des dommages significatifs (toutefois sans effondrement de la voûte) et entraîné des travaux importants qui sont rapportés ci-dessous.

L'incendie du 18 novembre 1996

Un train-navette de poids lourd venant de France, siège d'un incendie, s'est immobilisé à 19 km du portail coté France, le 18 novembre 1996 ; il a été éteint le 19 novembre et 7 personnes ont été indisposées.

Une section longue de 480 m a été affectée par le feu avec d'importants écaillages du revêtement de béton.

Après leur élimination et repiquage des zones affectées, le revêtement a été reconstitué par projection de béton par voie sèche (1.300 tonnes).

Sous la maîtrise d'oeuvre de la Setec, les travaux de génie civil ont été exécutés par l'entreprise Freyssinet (avec Eurovia et Vinci). Le trafic a repris le 17 mai 1997.

L'incendie du 11 septembre 2008

C'est un train navette de poids lourds qui a été affecté par cet incendie, lequel a endommagé une longueur de 760 m de l'ouvrage. Le béton des voussoirs a été très dégradé par écaillage, avec des pertes d'épaisseur atteignant 34 cm, portée à 40 cm après hydro-démolition, soit l'épaisseur totale du revêtement. Localement, la craie bleue a été mise à découvert.

Des études très approfondies ont été menées sur le comportement du béton dégradé, sur le béton demeuré en place, sur la craie et sur les armatures.

Les travaux de génie ont comporté la mise en sécurité de la zone (1072 boulons de 3 m), la réalisation d'une piste de surveillance, l'hydro décapage du béton endommagé, la remise en état de la voûte : 49 tonnes d'armatures et 4.000 tonnes de béton projeté par voie sèche ont été mis en place.

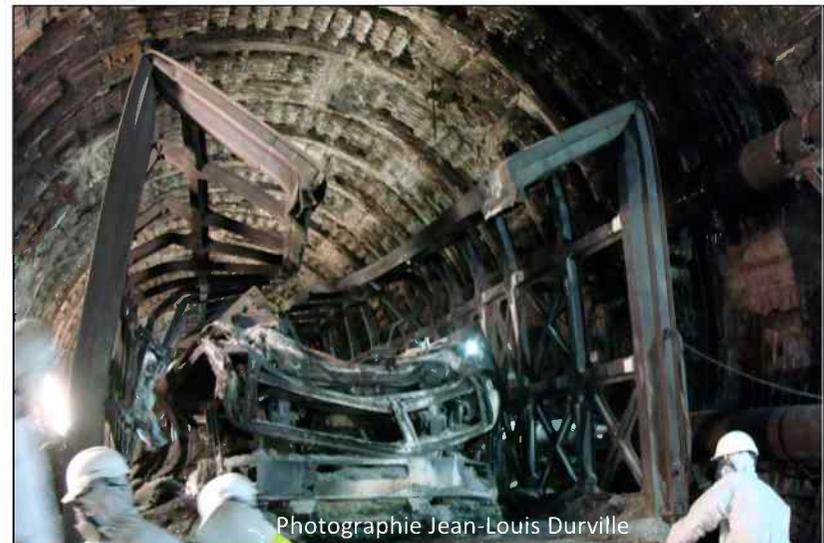
Par ailleurs, quatre stations de lutte contre le feu (SAFE) ont été réalisées, impliquant le creusement de nouvelles chambres dans la craie.

Sous la maîtrise d'oeuvre de la Setec, ces travaux ont été exécutés en moins de quatre mois par l'entreprise Freyssinet (avec Eurovia et Vinci).

Ainsi le trafic a repris dans le quatre mois après l'incendie.



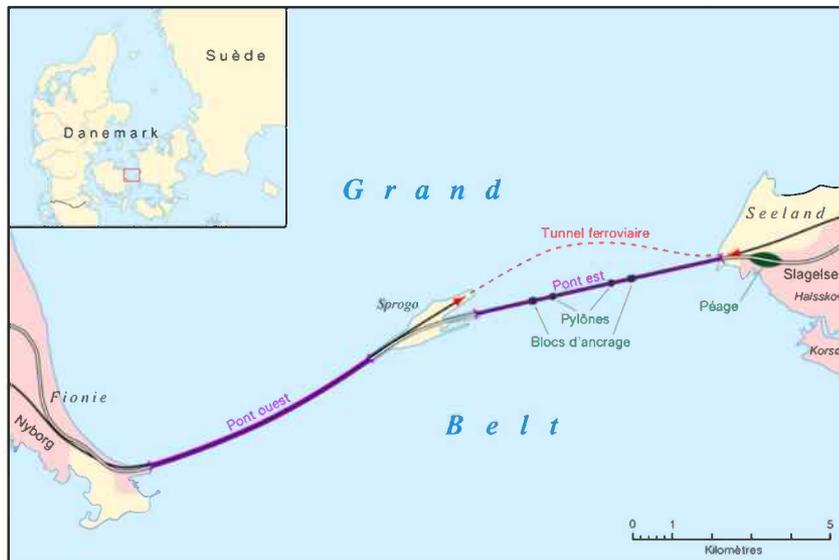
Incendie de 1996. Vue générale des dommages dans le tunnel



Incendie de 2008. Vue des dommages dans le tunnel après l'incendie

1996. Tunnel ferroviaire du Storebelt. Danemark

La liaison du Storebelt est un ensemble de ponts et de tunnel reliant par voie routière et ferroviaire les îles Fionie et Seeland, constituant ainsi un lien fixe entre Copenhague et le continent.



La liaison ferroviaire dans sa partie Est est formée de deux tunnels forés sous-marins parallèles de 7,4 km présentant un diamètre intérieur de 7,70 m, avec une rampe d'accès à chaque extrémité en tranchée ouverte de 655 m. Ils se situent à 75 m au-dessous du niveau de la mer, de 10 à 40 m sous les fonds marins. Ils sont reliés entre eux tous les 250 m par une galerie de 4,5 m de diamètre. Le revêtement des tunnels est constitué de voussoirs en béton armé de 0,40 m d'épaisseur et de 1,65 m de largeur. Celui des galeries est constitué de voussoirs en fonte.

Les tunnels ont été forés par quatre tunneliers à pression de terre de 8,78 m de diamètre. Les sols sont constitués de moraines glaciaires comprenant argile, silt, sable, gravier et blocs granitiques.

Quantités : 900 000 m³ d'excavation en souterrain, 150 000 m³ de béton de voussoirs

Montant des travaux : 870 millions €. Durée des travaux : 8 ans

Maîtrise d'œuvre : Cowiconsult et Mott Mac Donald

Entreprises : SGE (Vinci), Monberg & Thorsen, Dyckerhoff & Widmann, Kiewit Construction



Vue des tunneliers

Photo : Photothèque Vinci et filiales

1997. Tunnel Piet Hein. Pays-Pas

Ce tunnel immergé, passant sous un bassin du port d'Amsterdam, permet de relier le centre de la ville à la rocade A 10 . Il donne passage à deux chaussées de deux voies.

Il se compose de 8 éléments préfabriqués en béton précontraint de 158 m de long et de 31.6 m de large. La longueur totale du projet, avec rampes d'accès, s'élève à 1900 m.

Les éléments du tunnel ont été préfabriqués dans un bassin à Anvers puis remorqués jusqu'à leur emplacement définitif.

Volume de béton : 160 000 m³

Volume des dragages : 500 000 m³

Montant des travaux : 115 millions €

Travaux réalisés par un groupement CFE (Vinci), Besix

En 2005 a été rajouté un tunnel immergé parallèle pour une ligne de tram desservant la gare centrale d'Amsterdam.

Photo : photothèque Vinci et Filiales



2013 . Tunnel de Liefkenshoek . Belgique

Ce tunnel ferroviaire permet de relier les rives nord et sud du port d'Anvers en passant sous l'Escaut et le Kanaaldock . Il comporte deux tubes forés de 6 km de long chacun et de nombreux ouvrages annexes : 13 rameaux de connexion entre les tubes, 8 puits d'accès et 15 rameaux entre les tubes et les puits.

Les tubes ont été forés dans les sables et argiles par deux tunnels à pression de boue de 8.4 m de diamètre. La plupart des ouvrages annexes ont été construits après congélation du sol. La très faible couverture (3 m) sous le Kanaaldock a nécessité un traitement spécial : avant forage , le fond du canal a été dragué à l'abri d'un batardeau de palplanches puis rempli de mortier, qui a ainsi servi de couverture aux tunnels et de protection contre les ancres .

Volume de béton : 400 000 m³

Montant des travaux : 700 000 millions €

Travaux réalisés par le groupement Vinci , CFE, Royal BAM

Photo : Govin Sorel / photothèque Vinci et Filiales



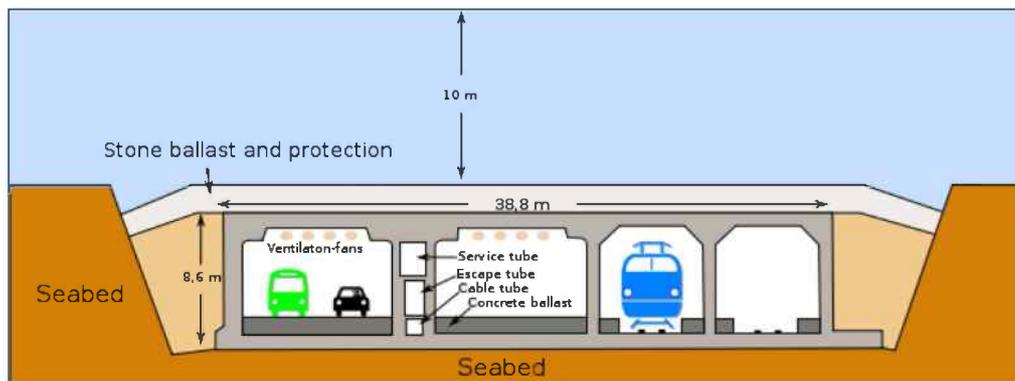
2000. Tunnel de l'Oresund. Danemark et Suède

La liaison de l'Oresund, à la fois routière et ferroviaire, relie le Danemark et la Suède à travers le bras de mer du même nom. Elle part de l'aéroport de Copenhague pour aboutir au sud de Malmö. Longue de 16 km elle comporte, d'ouest en est, un tunnel immergé, une île artificielle et un pont.



Vue de l'île artificielle, aboutissement du tunnel, et du pont en direction de la Suède

Le tunnel immergé présente une longueur de 3510 m et comporte des rampes d'accès, de 650 m côté danois et 1100 m côté suédois. Il est formé de 20 caissons préfabriqués en béton de 41,7 m de largeur et 176 m de longueur, chacun pesant 55 000 t.



Ces caissons ont été préfabriqués dans une forme du port de Copenhague. Chacun d'eux est constitué de 8 voussoirs de 22 m de long réalisés sur le principe des ponts poussés : chaque fois qu'un voussoir est coulé, l'ensemble est poussé pour permettre la réalisation du voussoir suivant au même poste de travail. Les caissons une fois achevés sont mis en flottaison puis posés sur des vérins pour régler leur position définitive. Du sable est alors injecté pour servir d'assise.

Quantités : excavations 900 000 m³, béton : 700 000 m³, aciers : 56 000 t.

Montant des travaux : 520 millions € Durée des travaux : 5 ans

Entrepreneurs : Dumez (Vinci), Pihl & Son, John Laing, NCC, Boskalis

Etudes : Symonds Travers Morgan

2005. HSL Thalys 4. Pays-Bas

Ce projet porte sur la conception et la construction d'une ligne TGV de 16 km au sud de Rotterdam comprenant deux tunnels immergés, des tranchées couvertes, des ponts et 8 km de dalles support de voies ferrées fondées sur pieux.

Chacun des tunnels avec ses tranchées d'accès présente une longueur de 2,6 km environ.

Leur largeur intérieure est de 2 x 7.35 m et leur profondeur maximale est de 21 m.

Ils sont formés de tronçons en béton précontraint longs de 134 à 150 m, préfabriqués dans une darse voisine. L'un des problèmes les plus délicats était la maîtrise des tassements différentiels entre éléments qui ne devaient pas dépasser 2 mm

Volume total de béton : 400 000 m³, volume de terrassements sous l'eau : 1,6 millions m³

Montant des travaux : 610 millions €. Durée des travaux : 5 ans

Travaux réalisés par le groupement Vinci (VCGP, CFE), TBI, Ballast Nedam, Van Hattum, Struckton, HBG Civiel .

Photo : Luc Benevello / Photothèque Vinci et Filiales



2013. 2^{ème} Coentunnel . Pays-Bas

Cet ouvrage permet le doublement des voies de l'autoroute A10 (partie nord-ouest du périphérique d'Amsterdam). Il comporte un tunnel immergé en béton de 715 m de long et de 30 m de large à une profondeur maximale de 23,50m. L'opération comprend également la rénovation du tunnel immergé existant ainsi que 12 ponts à élargir et 13 ponts à rénover.

Une des difficultés majeures du projet était la proximité immédiate du tunnel immergé existant avec le risque de tassement lors de l'excavation de la fouille, ce qui a conduit à réaliser un ouvrage temporaire sous-marin de soutènement.

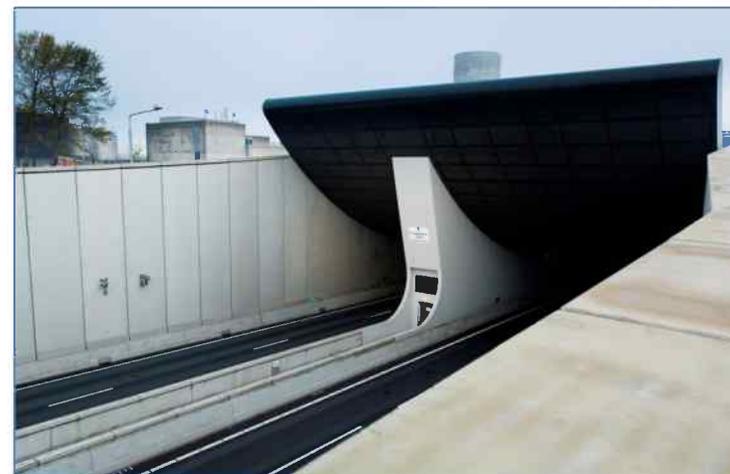
Volume de béton du tunnel immergé : 75 000 m³.

Montant des travaux : 600 millions €. Durée des travaux : 5 ans.

Travaux réalisés dans le cadre d'une concession par le groupement Vinci (VCGP, CFE, Dredging Int.), Dura Vermeer, TBI Bouw, Besix.

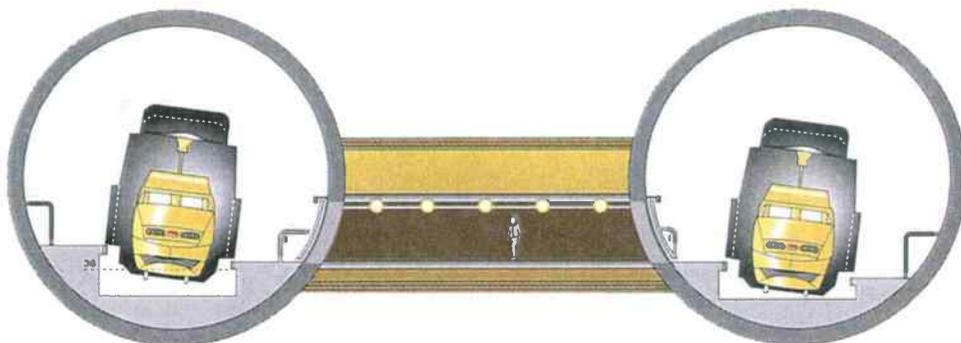
Conception : Arcadis

Photo : Aeroview – Dick Selle / Photothèque Vinci et Filiales



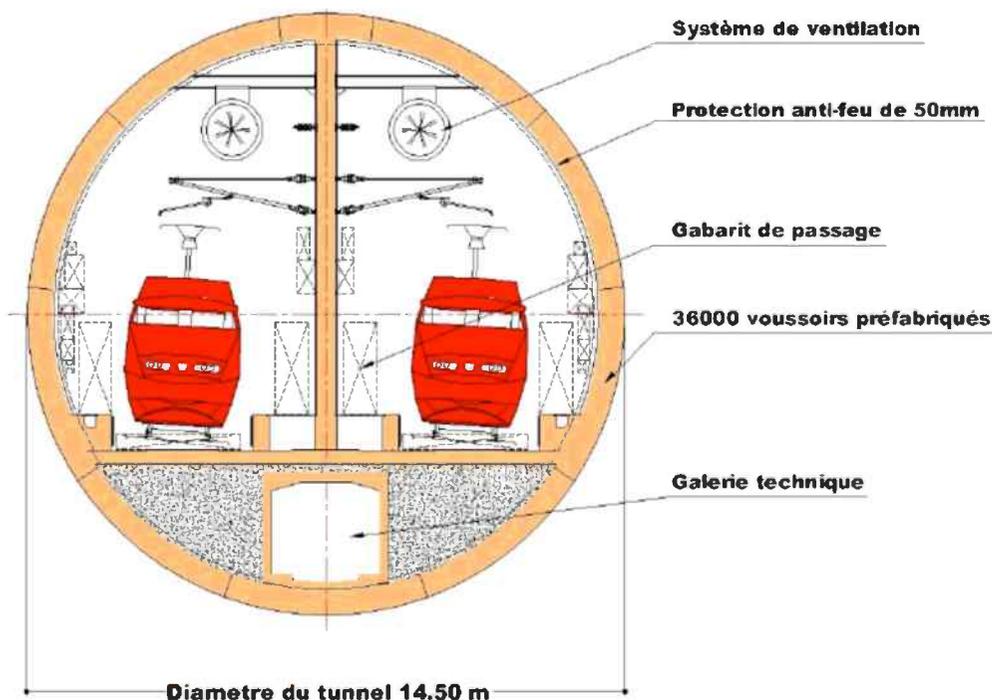
2005. Tunnel de Groene Hart. Pays Bas

DESIGN DE REFERENCE DU CLIENT



Origine du dessin : Bouygues Construction

SOLUTION MONOTUBE PROPOSEE PAR BOUYGUES TRAVAUX PUBLICS



Origine du dessin : Bouygues Construction

Un tunnel pour l'écologie.

Le prolongement de la ligne de TGV entre Rotterdam et Amsterdam nécessitait de traverser la région de Groene Hart (*cœur vert* en néerlandais), réserve ornithologique dans un site de verdure, de canaux et de moulins à vent. Le respect de cet espace naturel s'imposait tout naturellement et cela a conduit le ministère des transports néerlandais à décider de la mise en tunnel de la ligne sur une longueur de plus de 7 kilomètres.

Le projet se situe dans un contexte géologique très difficile : une zone de polders sous le niveau de la mer, dans des argiles molles et de la tourbe, avec une nappe en communication avec la mer.

La solution initiale proposée par le ministère des transports consistait à construire deux tubes reliés par plusieurs rameaux de connexion, ces derniers ne pouvant être réalisés que par congélation du sol. Les entreprises étaient libres de proposer des variantes.

Le marché a été attribué au groupement d'entreprises franco-néerlandais Bouygues Travaux Publics (90%) / Koop (10%), qui avait présenté une solution innovante basée sur l'utilisation d'un tunnelier à pression de boue de 14,87 mètres de diamètre, diamètre qui allait au-delà de tout ce qui avait pu être fait auparavant. L'intérêt de cette solution qui permettait de réduire les délais et qui ramenait le coût à 430 millions d'euros, tenait à la suppression des rameaux de connexion du projet initial.

Le tunnelier construit au Creusot par NFM Technologie (Neyrpic-Framatome-Mécanique, Groupe Wirth) développait une puissance électrique de 9,54 MW, avait une masse de 3520 tonnes et s'étirait sur 120 mètres de longueur.

En ajoutant la puissance consommée par le marinage la puissance électrique totale installée atteignait 14,580 MW.

Les travaux qui ont débuté en 2001 ont été achevés en 2005.

2007. Tunnel de base ferroviaire du Lötschberg. Suisse (1/4)

Afin de favoriser le transfert du trafic de poids lourds routiers vers la voie ferrée, la Suisse a engagé la réalisation du projet des Nouvelles Lignes Ferroviaires à travers les Alpes (NFLA), dont ce tunnel.

Ce projet NFLA comporte notamment la construction de trois grands tunnels ferroviaires :

- Le tunnel de base du Lötschberg (mis en service en 2007), franchit les Alpes bernoises. Associé au tunnel du Simplon, situé plus au sud, il constitue l'ossature ferroviaire nord-sud de l'axe européen Rotterdam-Gènes et il entraîne une amélioration très importante de la desserte Berne-Milan. Ce nouveau tunnel bitube mesure 34,6 km de long, avec construction de 91,8 km d'excavations
- Le tunnel de base du Saint-Gothard (à mettre en exploitation en 2016), constitue également un axe Nord Sud. Cet ouvrage bitube, le plus long du monde, mesurera 57 km.
- Le tunnel de base du Ceneri (à mettre en service en 2019) constitue le prolongement sud du tunnel du Gothard Cet ouvrage bitube mesurera 15,4 km de long.

Le lancement de ce projet n'été possible qu'après une *votation populaire* en 1992, favorable à ce concept NFLA. Le coût du projet, évalué en 1992 est de 21,4 Md de Francs suisses : l'acceptation des mesures de financement correspondantes a également fait l'objet d'une *votation populaire* en 1992.

Le financement est assuré par trois mesures : la redevance sur le trafic des poids lourds lié aux prestations (RPLP), la taxe sur les huiles minérales, un prélèvement sur la TVA.

Le tunnel de base du Lötschberg se situe entre Frütiguen (dans le canton de Berne) et Rarogne (dans le Canton du Valais). Au sud, il débouche sur le Rhône avec un viaduc long de 820 m sur sa branche nord. Il double le tunnel de faite du Lötschberg long de 14 km, mis en service en 1913. Le tunnel de base peut recevoir des véhicules de 40 t et il accueille aussi des trains à grande vitesse, jusqu'à 250 km/h.

Afin d'étaler les dépenses dans le temps, le tunnel de base du Lötschberg est réalisé en 3 phases :

- première phase : exécution complète du tunnel est (34,6 km) avec tous les équipements, exécution complète du tunnel ouest entre Rarogne et Ferden, gros œuvre entre Ferden et Mitholz. Cette section du tube ouest et la galerie de reconnaissance de Kanderstal constituent l'ouvrage de sécurité et d'entretien. Cette réalisation achevée en 2007 a permis la mise en exploitation de l'ouvrage.
- deuxième phase : équipement du tube ouest entre Ferden et Mitholz (15,3 km) et d'une autre section de 3 km
- troisième phase : exécution et équipement du tube ouest entre Mitholz et Frütiguen (7,6 km). réalisation du raccordement vers Steg. Construction du viaduc sur le Rhône.

La construction de la première phase a mobilisé une trentaine d'entreprises, parmi lesquelles :

- Bouygues, impliqué dans les travaux de la section centrale de Ferden
- Vinci, impliqué dans les travaux de la section Mitholz-nord.

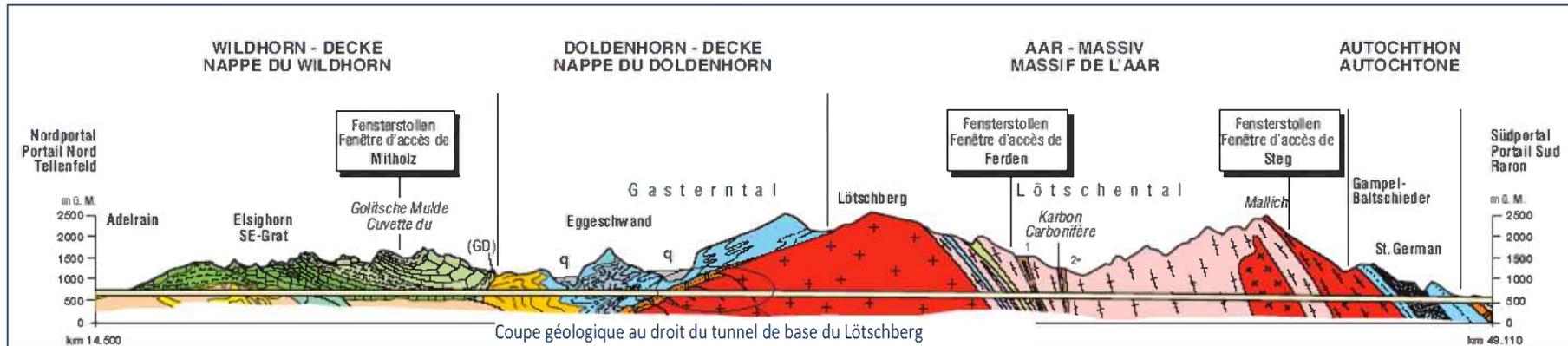


Plan sommaire du tunnel du Lötschberg



Tunnel du Lötschberg entièrement équipé

2007 Suisse. Tunnel ferroviaire de base du Lötschberg. Suisse (2/4)



Les formations devant être rencontrées par le tunnel de base du Lötschberg ont été reconnues par la galerie de reconnaissance nord du Kandertal longue de 9,3 km (exécutée au tunnelier), 27 sondages profonds, ainsi que par d'autres tunnels : le tunnel de faite du Lötschberg et des tunnels d'aménagements hydroélectriques.

Les principales formations rencontrées, (coupe ci-dessus), sont les suivantes :

- 4,5 km de flysch
- 5 km de successions de schistes et de calcaires (nappe du Wildhorn),
- 1,5 km de schistes et calcaires de la nappe du Gellihorn,
- 2 km de flysch de la nappe du Doldenhorn,
- 9 km de formations cristallines du massif de l'Aar (dôme du Lötschberg), avec la particularité d'une rencontre de formations sédimentaires inattendues (grès, schistes, carbonifère) sur 2 km
- 8 km de gneiss et schistes du massif de l'Aar (« vieux cristallin »)
- 2,5 km de la formation dite autochtone, comprenant notamment des couches calcaires faiblement karstiques.

Les venues d'eau ont été assez faibles et facilement contenues, avec toutefois d'importants travaux de colmatage pour prévenir l'assèchement des eaux thermales de la station de Loèche-les-bains.

Des températures élevées ont été détectées, de l'ordre de 45°C, appelant des mesures de ventilation énergiques.

L'importante épaisseur de recouvrement, jusqu'à 2.000m, dans la massif de l'Aar, laissent prévoir des phénomènes de décompression qui se sont d'ailleurs produits.

Les reconnaissances se sont poursuivies à l'avancement des travaux par des forages de front de 50 à 300 m de profondeur.

Une conclusion essentielle de ces études vise les modes d'exécution du tunnel :

- une longueur de 20% sera réalisée en tunnelier (9,6 m de diamètre) en partie sud : 10,2 km du tube est entre Rarogne et la fenêtre de Felden, 8,5 km du tube ouest de la fenêtre de Steg à la fenêtre de Felden.
- une longueur de 80% du tunnel a été exécutée à l'explosif.

Les travaux ont été engagés en cinq points : deux accès par les portails nord (Frutingen) et sud (Rarogne), 3 accès par les fenêtres de Mitholz (1,5 km de long), Ferden (4,1 km) et Steg (3 km).

2007. Tunnel ferroviaire de base du Lötschberg. Suisse (3/4)

Les travaux ont été réalisés sous la maîtrise d'œuvre de BLS Alptransit AG. Ils ont été exécutés par 27 entreprises européennes constituées en groupements.

Deux entreprises françaises, Bouygues Construction et Vinci Construction Grands Projets ont participé à deux de ces groupements.

Réalisation du lot de Mitholtz au nord du tunnel

Cette importante section est réalisée par le groupement SATCO (Schweitzer Alptransit Consortium) comprenant Strabag, **Vinci** Construction Grands Projets, Skanska, Rothpletz-Lienhard, Walo-Bertschinger.

Les travaux exécutés par VINCI portent principalement sur :

- le creusement à l'explosif de trois sections de tunnel, de 8 km chacune,
- exécution de « cavernes », d'excavations complémentaires et revêtement des ouvrages précédemment réalisés,
- Revêtement des nouvelles sections de tunnel (activités de Vinci) avec des matériaux extraits du tunnel :

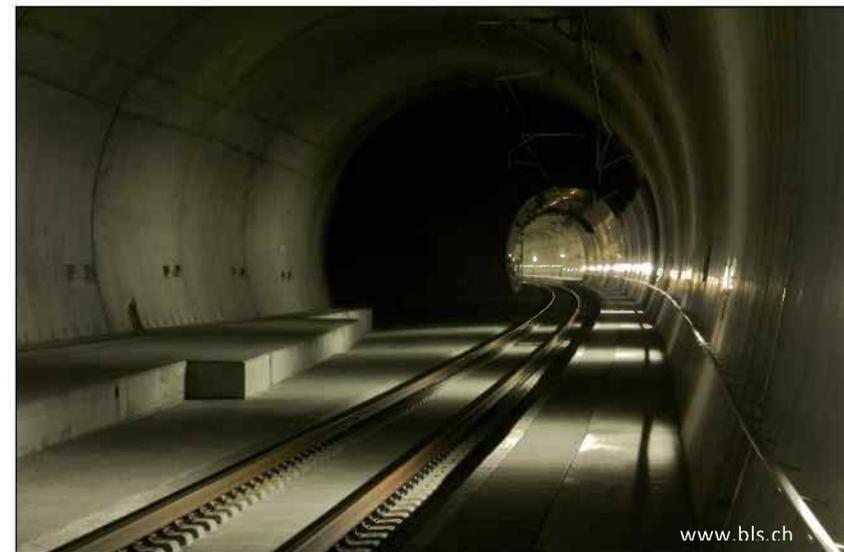
En référence au dossier Vinci de 2004 « Le tunnel reçoit un revêtement en béton d'épaisseur théorique égale à 25 cm. En premier lieu, un radier est bétonné... Un complexe d'étanchéité est mis en place systématiquement à l'avancement sur tout le périmètre de l'arche du tunnel : géotextile et membrane PVC sur couche de béton projeté ; puis bétonnage au moyen de coffrages Novaform et BMTI-MCT. Ces outils pesant 120 t avancent à la vitesse d'un plot de 12,5 m par jour : la moyenne journalière de béton mis en place est de 1.200 m³. Les banquettes définitives sont mises en œuvre des deux cotés du tunnel... »

Dans ce lot de Mitholtz ont été mis en place 200.000 m³ le béton projeté et 400.000 m³ de béton coulé

Ces travaux ont été exécutés sous la direction de François Pogu (Ingénieur de l'ESTP), Directeur adjoint du projet, Directeur des travaux béton.



Travaux de drainage dans le tunnel en construction



Arrêt de service de Mitholtz

2007. Tunnel de base ferroviaire du Lötschberg. Suisse (4/4)

Réalisation du lot de Ferden, au centre du tunnel.

Cette importante section est exécutée par le groupement **Bouygues Travaux Publics**, Losinger Sion, Prader, U Imboden, Theler, Evequoz, Deneriaz Sion.

74 % des travaux ont été réalisés par Bouygues et ses filiales suisses Losinger et Prader.

Bouygues travaux publics a principalement oeuvré dans le creusement de tunnels, effectués à l'explosif :

- tunnel d'accès de Ferden au tunnel du Lötschberg, long de 4 km,
- tunnel principal à deux tubes, portant sur une longueur de 1.500 m vers le nord et 5.550 m vers le sud. Les tubes présentent une section du lot sud.
- les matériaux d'excavation sont évacués par bandes transbordeuses, et recyclés, en particulier pour les bétons de l'ouvrage.
- section spéciale de tunnel de 1.300 m de long.



Creusement du tunnel par perforation et explosif



L'un des tunnels réalisés par Bouygues Travaux Publics



Le viaduc sur le Rhône à Rarogne

2013. Galerie de câbles électriques. France-Espagne

Afin de renforcer l'interconnexion électrique entre la France et l'Espagne, les deux pays ont ratifié en 1908, à Saragosse, un accord intergouvernemental pour la construction d'une ligne électrique enterrée, comportant une galerie souterraine entre La Jonquera et Montesquieu-des-Albères.

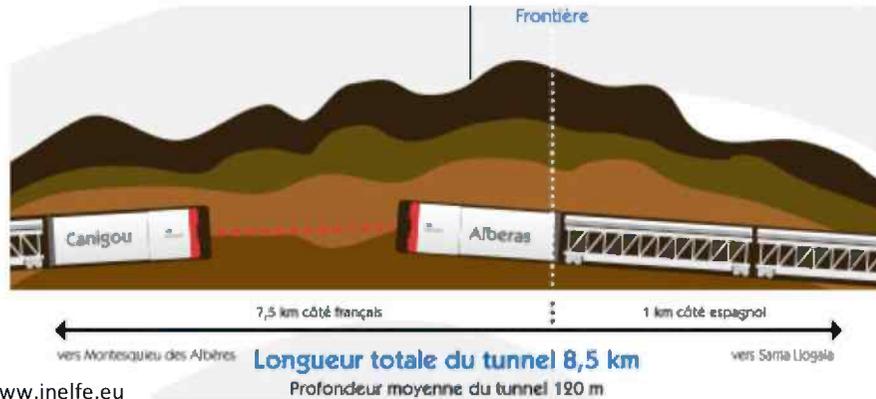
A cet effet, il a été créé, entre Réseau de Transport d'électricité (RTE) et Red Eléctrica de España (REE) la société commune Interconnexion Électrique France-Espagne (INELFE).

La liaison mesure 65 km de long, incluant un tunnel de 8,5 km pour le franchissement des Pyrénées, placée très près du tunnel ferroviaire de la ligne à grande vitesse. Elle comporte des câbles électriques fonctionnant en courant continu à très haute tension sous 320.000 volts.

La réalisation de l'ouvrage a été confiée par INELFE à un GIE comprenant Eiffage TP, Dragados, Setec, Arcadis, Sener.

La galerie, construite par Eiffage TP et Dragados se situe 7,5 km en France, et 1 km en Espagne. Sous un recouvrement moyen de 120 m, elle est réalisée par deux tunneliers Herrenknecht partant à chaque extrémité, forant un tunnel de 4,3 m de diamètre.

Sa construction s'est achevée en avril 2013, avec une entrée en service de l'ouvrage début 2014.



Installation du tunnelier côté espagnol



Vue de la galerie terminée