

**GROUPE INTERDISCIPLINAIRE DE REFLEXION SUR LES TRAVERSEES SUD-ALPINES
ET L'AMENAGEMENT DU TERRITOIRE MARALPIN**

*SECRETARIAT : Jacques MOLINARI - 49 avenue Cernuschi - F - 06500 MENTON
Tél/Fax : (33) 0493353517*

TUNNELS 2

LES PLUS LONGS TUNNELS ROUTIERS EN SERVICE OU EN CONSTRUCTION

1. LE TUNNEL NORVEGIEN AURLAND-LAERDAL (en construction)

1.1. Situation et fonction

En juin 1992, le Parlement norvégien prenait la décision d'adopter, pour la grande liaison routière Oslo-Bergen, seconde ville du pays et plus grand port norvégien de la mer du Nord, un itinéraire (E16) entre Laerdal et Aurland en recourant à très long tunnel de 24,8 km dont la construction a débuté à l'automne 1994 et dont l'achèvement est prévu en 2001 [SV/SOF(1994 b)].

Ce projet succède à une très importante tranche de travaux réalisés, entre Aurland et Gudvangen, sur le tracé de la E68 (devenue E16), par percement, de 1980 à 1984, du tunnel de Flenja (5,0 km), et, de 1984 à 1992, du tunnel de Gudvanga (11,4 km), alors cinquième plus long tunnel du monde [LOTSBERG Gunnar (15.06.1992) ; SMITH (1989)].

Cette décision s'inscrivait dans une stratégie visant à abrégé et à sécuriser les trajets routiers dans la province de Sogn og Fjordane "le pays des fjords" (centre Ouest de la Norvège), en évitant ou en réduisant les franchissements montagneux et les parcours en ferries, par le recours à des tunnels.

L'analyse de la Direction des routes norvégiennes (SV) a, en effet, établi, qu'en dépit d'un modique trafic résultant d'une faible densité et de la grande dispersion de la population, le percement de tunnels (d'un coût sensiblement double d'un tracé à l'air libre) pouvait se justifier en regard de leur impact socio-économique. Ainsi, dans la seule province de Sogn og Fjordane (où sont implantés les ouvrages précités ainsi que le futur ouvrage), au cours de la seule période 1991-1995, 25 km de tunnels routiers autres ont été ouverts à la circulation [SV/SOF (1993 et 1994 a)].

1.2. Caractéristiques du site et tracé [KVALE Jon (05.09.96)]

Le tracé en plan, de 24780 m de longueur, est légèrement incurvé. Il relie deux branches d'un même fjord en traversant un haut plateau granitique d'altitude moyenne de l'ordre de 1500 m.

Le profil est en dos d'âne (rampe maximale : 2,7 %) ; il regagne sensiblement de part et d'autre le niveau de la mer en culminant à la cote 267 m.

Selon les constructeurs, ni la couverture rocheuse homogène (dont les contraintes sont inférieures aux valeurs prévues), ni les venues d'eau (faibles) ne posent de problèmes majeurs. La température, quant à elle, reste basse et atteint à peine 8 °C.

La particularité de l'ouvrage est sa disposition en fourche. Le tunnel dispose en effet d'un exutoire situé à son premier quart et débouchant, après un parcours d'environ 2 km en rampe de 11 %, à la cote 439 m. Cette antenne, qui offre un accès supplémentaire au chantier de percement, desservira une vallée adjacente (Tynjadalen), et, outre son rôle de cheminée de ventilation, pourra assurer celui d'issue ou d'accès de secours.

1.3. Caractéristiques de l'ouvrage [KVALE Jon (05.09.96)]

L'ouvrage est conçu dans la perspective d'un trafic journalier moyen annuel (TJMA) inférieur à 1000 véhicules/jour en 2001, année de son ouverture. Cette estimation est basée sur le trafic du tunnel de Gudvanga dont le TJMA s'est élevé à 700 véhicules/jour en 1995, avec un maximum observé de 2500 véhicules/jour.

La section adoptée pour l'ouvrage principal est la section type T8,5 , de 46,9 m² d'ouverture libre, à deux voies de 3,25 m bordées de deux trottoirs de 1 m. C'est ce même gabarit T8,5 qui serait retenu s'il fallait entreprendre aujourd'hui le percement du tunnel de Gudvanga, réalisé de 1984 à 1991 au gabarit T8, de 43,78 m² d'ouverture libre (à deux voies de 3 m également bordées de deux trottoirs de 1 m).

1.4. Ventilation [KVALE Jon (05.09.96)]

Le mode de ventilation adopté est du type longitudinal. L'air frais est admis à chaque extrémité du tunnel, le refoulement s'effectuant par la bretelle secondaire débouchant en altitude et jouant ainsi le rôle de cheminée d'aération.

Du fait de la dissymétrie des branches principales dont les longueurs sont dans le rapport 3/1, la plus longue des deux sections sera pourvue, à mi-longueur, d'une installation de désenfumage et de dépoussiérage électrostatique où serait également installé "un équipement nouveau d'épuration des NOx".

L'installation de ventilation est conçue pour un trafic horaire maximum de 400 véhicules/heure (en pointe estivale dont 90 % seraient alors des véhicules légers). Son implantation est prévue au carrefour de la bretelle de Tynjadalen. Ce mode de ventilation diffère de celui adopté pour les ouvrages de Gudvangen et d'Aurland équipés de batteries suspendues de ventilateurs régulièrement échelonnées le long des tunnels.

Selon les concepteurs, la puissance installée totale (ventilation et éclairage) ne devrait pas dépasser 1000 kW, alors que la puissance installée du tunnel de Gudvanga est de l'ordre de 1400 kW. Cette réduction escomptée de puissance reposerait sur :

- l'existence du débouché intermédiaire,
- l'implantation de la station de dépoussiérage-épuration, laquelle autoriserait une réduction de moitié du taux de renouvellement d'air,
- l'amélioration des performances des équipements de ventilation.

1.5. Installations de sécurité [KVALE Jon (05.09.96)]

L'existence d'un accès intermédiaire confère à l'ouvrage une configuration de deux tunnels en série, de longueurs respectives 6505 m et 18275 m..

Aux installations de sécurité de règle pour la classe C de trafic à laquelle ressortit l'ouvrage, à savoir :

- emplacements de stationnement (niches) d'urgence pour les véhicules légers tous les 500 m [caractéristiques des niches : longueur 12 m, largeur 3 m],
- emplacements de rebroussement et de stationnement pour poids-lourds tous les 1500 m [caractéristiques de la galerie de rebroussement : profondeur 16 m, largeur 6 m ; caractéristiques de la niche correspondante : longueur 28 m, largeur 3 m],

se surimposent :

- à 500 m de chacune des entrées, un emplacement de rebroussement et de stationnement pour chasse-neige ou engin de terrassement (afin notamment de débarrasser les entrées de tunnel de la glace susceptible de s'y former),
- trois rond-points (de 25 m de diamètre axial) autorisant un demi-tour rapide et partageant l'ensemble du tunnel principal en quatre sections de longueur équivalentes (de l'ordre de 6000 m).

1.6. Volume excavé

Le volume de roches à excaver devrait dépasser 2,5 millions de m³ [STROM (1996) ; SV/SOF(1994 b)].

1.7. Coût

Le coût de l'ouvrage est estimé à 800 millions de Couronnes norvégiennes [STROM (1996)].

2. LE TUNNEL ROUTIER DU SAINT-GOTHARD (en service depuis 1980)

2.1. Situation et fonctions [RUCKLI (1974)]

L'ouvrage, situé entièrement en territoire suisse, a été réalisé par décision du Conseil Fédéral et du parlement suisse du 15 juin 1965, afin d'assurer, en toutes saisons, la continuité routière de l'itinéraire N2

Bâle-Chiasso interrompue en hiver et palliée alors par transbordement sur la voie ferrée (dont le tunnel ferroviaire de 14,9 km fut mis en service en 1881).

2.2. Caractéristiques du site et tracé

Les portails de l'ouvrage se situent à Göschenen (Canton d'Uri) et à Airolo (Canton du Tessin) à 1145 m, à proximité de ceux du tunnel ferroviaire et sensiblement aux mêmes altitudes que ceux-ci.

En revanche, le tracé du tunnel routier décrit une vaste courbe vers l'ouest pour suivre dans ses grandes lignes l'échancrure du col du Gothard. Ce tracé, qui est cause d'un allongement de 870 m par rapport à un tracé rectiligne reliant les deux têtes, a été dicté, à la fois par des considérations géologiques (afin de bénéficier de conditions plus favorables que celles rencontrées lors du percement du tunnel ferroviaire, lequel avait eu à traverser dans sa partie centrale une alternance interminable de roches dures et tendres) et topographiques (afin de bénéficier d'une couverture moins importante pour le percement des cheminées de ventilation) [TRAVAUX (1972)].

Après une étude comparée de tracés pourvus respectivement de 2 et 4 puits de ventilation, la solution à 4 puits, jugée plus économique, a prévalu. Le débouché dans le tunnel des galeries de ventilation, dont deux sont constituées de puits verticaux et deux sont biaises, découpent 5 sections inégales de longueurs respectives (du Nord au Sud) :

2558 m, 2558 m, 3194 m, 5658 m, 2354 m.

Le profil en long est en dos d'âne culminant à 1175 m. La rampe Nord (6807 m) présente une rampe continue de 1,4 %, la rampe Sud une déclivité de 0,3 % seulement (qui doit être considérée comme un minimum admissible) [BOURQUIN (1972)].

La couverture maximale (1500 m) est observée dans la partie sud de l'ouvrage.

Un aperçu des difficultés et des péripéties de percement (notamment venues d'eau à un débit de 0,2 m³/s à 32 °C) est donné par [BTSR (1976)].

2.3. Caractéristiques de l'ouvrage

L'ouvrage est conçu pour un trafic double sens de 1800 véhicules/heure dont 10 % de camions ou cars à moteur Diesel, ou 1600 véh./h dont 16 % de camions ou cars à moteur Diesel [TRAVAUX (1972)].

La chaussée a été dimensionnée de manière à ce que deux véhicules puissent encore se croiser au droit d'un véhicule immobilisé par une panne [RUCKLI (1974)].

Le profil transversal du tunnel se caractérise par une chaussée de circulation de 7,80 m de largeur et de 4,50 m de haut.

De part et d'autre a été prévue une banquette de 1,10 m de large réservant un passage pour piétons de 0,70 m de large, l'espace intercalaire en double paroi étant réservé à la gaine technique et de ventilation [TRAVAUX (1972)].

L'espace ménagé au dessus de la chaussée, entre la calotte du tunnel et le plafond intermédiaire, est compartimenté en deux gaines, l'une pour l'alimentation en air frais, l'autre pour l'évacuation de l'air vicié. La section des canaux variant selon la longueur des sections de ventilation, le front de taille de la section sud est plus important (83 à 96 m²) que celui de la partie nord (69 à 86 m²), les sections théoriques d'excavation étant respectivement de 68 m² pour le nord et de 82 m² pour le sud [BOURQUIN (1972)].

2.4. Ventilation

La ventilation artificielle est réalisée selon le système transversal où le transport de l'air frais et de l'air vicié s'effectue le long de canaux longitudinaux distincts de la zone de circulation et suspendus en voûte du tunnel.

L'air frais est injecté par des bouches situées au voisinage de la chaussée, tandis que l'air vicié est aspiré au travers d'ouvertures spéciales disposées dans la dalle supérieure. Cette disposition plus coûteuse évite la formation de courants transversaux qui, dans le cas d'accidents et d'incendie, pourraient favoriser la propagation de gaz toxiques et de fumées [TRAVAUX (1972)].

La ventilation générale est assurée, à partir des quatre puits et des deux portails, par six installations d'aspiration-extraction d'une puissance totale de 24 255 kw, répartie en fonction des débits à assurer sur chacun des intervalles [TRSG (1980)].

Chacun des puits est divisé par une cloison longitudinale séparant deux canaux, l'un d'air frais, l'autre d'air vicié. La section d'excavation de ces puits, dont deux sont verticaux et deux sont inclinés (selon une pente à 80 %), varie entre 25 et 42 m² (avec des diamètres respectifs de 6,60 m² et de 7,30 m²), leur longueur entre 300 m et 870 m [TRAVAUX (1972)].

2.5. Installations de sécurité

(a) La galerie de sécurité [TRSG (1980)]

la galerie de sécurité, dont les buts sont d'assurer aux usagers du tunnel une plus grande sécurité et de faciliter l'exploitation et l'entretien du tunnel principal, est implantée à 30 m à l'Est du tunnel principal. sa section varie entre 6 m² (section minimale) et 12 m², avec une largeur d'environ 2,60 m et une hauteur compris entre 2,40 m et 3,10 m. Son radier est bétonné et de petits véhicules peuvent y circuler. La galerie de sécurité est reliée au tunnel principal, tous les 250 m, par des galeries transversales dites de protection abritant des refuges.

Une petite centrale de ventilation indépendante, située au niveau du puits central, lui fournit l'air frais nécessaire et assure une pression d'air supérieure à celle du tunnel principal afin d'éviter, en cas d'incendie, l'intrusion éventuelle de fumées.

(b) Autres dispositions

Outre les susdites galeries de sécurité aménagées en refuges tous les 250 m du côté Est, sont aménagés tous les 125 m du côté Ouest des niches spéciales. Refuges et niches, pourvus d'extincteurs et de dispositifs d'alarme, sont qualifiés de stations SOS.

A intervalles réguliers de 750 m, et alternativement de chaque côté du tunnel, sont aménagées des niches de stationnement de 3 m de largeur et de 42 m de longueur.

Au niveau de chacune des quatre centrales de ventilation souterraines, sont aménagées des galeries de retournement, d'une largeur de 9 m et d'une profondeur de 25 m, perpendiculaires à l'axes du tunnel [TRAVAUX (1972)].

La puissance électrique du système d'éclairage est de 1000 kw [TRSG (1980)].

2.6. Volume excavé

2.7. Coût

En 1968, le coût prévisionnel de l'ouvrage (y compris installations électromécaniques) avait été estimé à 306 millions de Francs Suisses. Une nouvelle estimation établie en 1973 élevait ce coût à 560 millions de FS [BTSR (1976)].

3. REFERENCES

3.1. Références relatives au tunnel de Aurland-Lauerdal

KVALE Jon (05.09.1996)

Technical information about the Laerdal and Gudvangen tunnels

lettre à J. Molinari en réponse à son courrier du 08.08.1996.

2 pages accompagnées de reproductions de plans et de caractéristiques d'ouvrages, ainsi que de pièces annexes (notamment des extraits des normes norvégiennes de construction des tunnels routiers).

LOTSBERG Gunnar (15.06.1992)

Gudvangen-Aurland

Fiche récapitulative des caractéristiques des tunnels Gudvangen et Flenja, 1 page.

SMITH Mike (1989)

Economy at Gudvangen

World Tunneling and Subsurface Excavation, February 1989, 4 pages (reprint).

STROM Knut (1996)

Verdens lengste veitunnel i godt driv

Teknisk Ukeblad, Teknisk 143, Årg. nr. 20, 23 mai 1996, pp. 39-40.

SV/SOF (1993)

National highway construction - Toll road projects
Statens vegvesen (Public Roads Administration), Sogn og Fjordane
Plaquette recto-verso, 1993.

SV/SOF (1994 a)

Betre vegar - Stam vegutbygging bompeneprosjekt fram mot ar 2000
Statens vegvesen (Public Roads Administration), Sogn og Fjordane
Plaquette 16 pages, 1994.

SV/SOF (1994 b)

Information about Aurland-Laerdal, the construction of the world's longest road tunnel
Statens vegvesen (Public Roads Administration), Sogn og Fjordane
Plaquette 4 pages, 1994.

3.2. Références relatives au tunnel du Saint-Gothard

BOURQUIN M. (1972)

Saint-Gothard 1972 - Le plus long tunnel routier du monde en construction sous le Gothard
Chantiers, août 1972, tiré à part précédé d'une introduction de P. JOSEPH ; 14 pages.

BTSR (1976)

Percement de la galerie de sécurité du tunnel routier du Saint-Gothard
Bulletin technique de la Suisse romande, 102ème année, n° 9, 29 avril 1976, pp. 181-183.

RUCKLI Rob. [Dr.] (1974)

Planification et construction du tunnel routier du Gothard
Université de Liège, Centre d'études, de recherches et d'essais scientifiques du génie civil, extrait de
Mémoires C.E.R.E.S. (nouvelle série, n° 47, juin 1974, 18 pages.

TRAVAUX (1972)

Le projet de tunnel routier du Saint-Gothard
Travaux, n° 447-448, juin-juillet 1972, pp. 3-20.

TRSG (1980)

Le tunnel routier du Saint-Gothard. Les installations sur la sécurité du trafic
Plaquette d'information (extraits), année de diffusion présumée : 1980, pp.77-95.

*Document rédigé par Jacques Molinari en complément du Document "TUNNELS 1 -
Ce que l'on cache ou que l'on omet de préciser au sujet du tunnel du Mercantour"*
