

# **EXPERIENCES EN MATIERE D'EXPLOITATION ET ASPECTS DE SECURITE EN CE QUI CONCERNE LES TUNNELS A FAIBLE TRAFIC EN NORVEGE**

K. MELBY

Public Roads Administration, Norvège

karl.melby@vegvesen.no

## **RÉSUMÉ**

La Norvège est un des pays du monde qui a la plus grande longueur de tunnels sur son réseau routier. Le nombre total de tunnels est de 990, et la longueur totale de 850 km. Compte tenu de la faible population, la densité de trafic est très modeste dans la plupart des tunnels. Les tunnels norvégiens ont beaucoup moins de trafic que ceux situés dans le reste de l'Europe.

Presque tous les tunnels (environ 99%) sont propriété du gouvernement. La Public Roads Administration est l'autorité administrative pour tous les tunnels en Norvège. Les pompiers locaux sont l'organisme d'inspection pour la sécurité incendie dans les tunnels, en concordance avec la réglementation nationale. La Public Roads Administration gère également 5 centres de contrôle des tunnels en Norvège. Les centres détectent les incidents, l'écoulement du trafic et la pollution. En cas d'accident, ils sont autorisés à arrêter le trafic au moyen de signaux, de feux de circulation et de barrières.

La plupart des tunnels sont construits selon des normes relativement basses, et disposent de peu d'équipements. Malgré cela, les statistiques montrent qu'il y a peu d'accidents dans les tunnels routiers norvégiens.

L'utilisation du principe d'auto sauvetage a toujours été l'objectif principal dans les tunnels à faible trafic. Il n'y a eu jusqu'à présent aucun incendie avec des conséquences dramatiques dans les tunnels norvégiens.

Des entrepreneurs sont responsables de l'entretien des tunnels. Durant la dernière décennie, des réinvestissements et l'amélioration des installations ont représenté un très haut pourcentage des coûts annuels pour l'entretien et l'exploitation. Le besoin de renouvellement augmentera encore plus dans les 10-15 années à venir, par suite de nouvelles réglementations plus strictes.

Les directives pour la construction et l'augmentation de la sécurité sont basées sur les expériences d'exploitation et d'entretien, ainsi que sur les résultats de recherches.

## **KEY WORDS**

TUNNEL / EXPLOITATION / ACCIDENTS / ASPECTS DE SECURITE

## **1. TUNNELS EN NORVEGE**

Les tunnels ont joué un rôle important dans le système routier norvégien. En 2003, il y a au total 990 tunnels sur le réseau routier public norvégien, avec une longueur totale de 850 km.

Table 1 – Tunnels en Norvège

Longueur du tunnel	Nombre de tunnels
< 500 m	574
500 – 3000 m	358
> 3000 m	58

Pratiquement tous les tunnels routiers en Norvège ont été construits durant les 30 dernières années. Malgré cela le niveau des équipements utilisés dans la plupart des tunnels est relativement bas. La raison en est le trafic relativement faible dans la plupart des tunnels norvégiens.

Le volume de trafic dans les tunnels dans le reste de l'Europe est environ 10 fois plus élevé que celui en Norvège. Pour certains tunnels, p.e. celui de Laerdal de 24.5 km de longueur, le AADT (moyenne annuelle du trafic journalier) n'est que de 1100 véh./jour.

Presque tous les tunnels norvégiens ont été construits dans le rocher, par la méthode conventionnelle aux explosifs.

Il y a également divers tunnels sous-marins en Norvège qui ont été construits vers des petites communautés insulaires ou comme traversées de fjords. Il y a au total 24 tunnels routiers sous-marins, avec une longueur totale actuellement en service de 100 km. Le plus long mesure 7.9 km, et le plus profond se trouve à 246 m sous le niveau de la mer. Ces tunnels ont des pentes très élevées, jusqu'à 10%. L' AADT se trouve normalement entre 500 et 4000. Certains de ces tunnels ont 3 voies de circulation.

Das quasi tous les tunnels construits dans le rocher, il y a des venues d'eau. Comme la Norvège se situe de part et d'autre du cercle polaire arctique, il peut y faire très froid en hiver. Des températures inférieures à zéro peuvent se produire pendant 6 mois par an. Ceci implique que les tunnels norvégiens doivent être isolés contre le gel. Différents types d'anneaux isolés ont été utilisés pour cela. De nombreux anneaux ont un pauvre comportement vis-à-vis de l'entretien et de la sécurité incendie.

Presque tous les tunnels norvégiens font appel à la ventilation longitudinale. Des puits de ventilation sont rarement utilisés. Le tunnel de Laerdal p.e. n'en comporte qu'un seul.

## 2. EXPLOITATION ET ENTRETIEN

Presque tous les tunnels sur les routes norvégiennes (99 %) sont propriété du gouvernement. Au départ, la Public Roads Administration était chargée à la fois de l'exploitation et de l'entretien de ces tunnels. Ceci a été modifié il y a un an, et, en 2003, la responsabilité de l'exploitation a été transférée à des sociétés privées. Les autorités routières n'ont dès lors qu'une expérience limitée dans cette nouvelle façon d'organiser et de scinder le travail. Le tableau ci-dessous fournit un certain nombre de données en matière de répartition des responsabilités :

- Entretien - Entreprise
- Gestion du trafic (depuis un centre de contrôle) - Public Roads Administration
- Gestion du tunnel et des installations de trafic - Public Roads Administration

- Planning de l'entretien - Public Roads Administration
- Gestion des incidents (aide en cas d'accident) - Public Roads Administration et entreprise

La Public Roads Administration est l'autorité administrative au nom du Ministère du Transport, et établit les règlements et directives à la fois pour la construction, l'exploitation et l'entretien des tunnels routiers. Pour chaque tunnel d'une longueur supérieure à 500 m, le propriétaire du tunnel est obligé d'établir un plan de sécurité et d'urgence impliquant à la fois les pompiers, la police et les services d'urgence. Les pompiers locaux sont responsables de l'inspection de tous les équipements de sécurité dans les tunnels, en concordance avec la réglementation nationale.

Comme indiqué plus haut il y a environ 1000 tunnels en Norvège. Ces tunnels sont répartis dans tout le pays, la plupart d'entre eux se situant hors des villes et zones urbaines. Il a été décidé il y a de nombreuses années de centraliser les systèmes de surveillance et de gestion routiers dans un nombre limité de centres de contrôle. La Public Roads Administration est organisée en cinq régions. Il a été convenu qu'il y aurait un centre de contrôle dans chacune de ces régions. Un centre de contrôle est donc situé dans un des bureaux des districts routiers (sauf à Oslo) de chacune des régions. Il n'y a pas de projet de mettre en place de nouveaux centres de contrôle.



Figure 1 – 5 centres de contrôle pour tous les tunnels des routes publiques de Norvège

Il y a souvent de grandes distances entre les tunnels et le centre de contrôle, et dans certains cas ils servent uniquement de centrale d'appel. Ces centres de contrôle disposent d'une surveillance de trafic permanente. Ils suivent les incidents, l'écoulement du trafic, la pollution, etc. L'équipement et les procédures sont continuellement suivies et améliorées.

Tous les tunnels de longueur supérieure à 500 m ont en général plus de 1 des systèmes d'alarme suivants reliés à un centre de contrôle :

- Téléphones d'urgence
- Extincteurs (avec alarme automatique)
- Câbles de détection automatique d'incendie
- Caméras au droit des entrées de tunnels
- Caméras dans le tunnel (très peu de tunnels en disposent)

Lorsqu'un accident se produit et une alarme est donnée, le trafic sera arrêté depuis le centre de contrôle par des signaux, des feux de circulation ou des barrières. Les centres peuvent faire appel aux pompiers et aux services de secours, ainsi qu'à la police, si nécessaire. En répondant à un appel, la police et les pompiers sont responsables uniquement de leurs propres activités (gestion du trafic et des secours, gestion de l'extinction de l'incendie et aspect juridique des accidents.)

Dans un contexte d'entretien, les tunnels sont divisés en structure du tunnel, infrastructure routière, revêtement routier et systèmes mécaniques et électriques.

L'exploitation et l'entretien sont, autant que possible, basés sur des routines systématiques à des intervalles réguliers. La prise en compte des cycles de vie est utilisée comme base pour l'entretien des structures et des installations. L'optimisation de la fréquence de l'entretien devrait réduire la probabilité de remplacements indésirables de pièces. L'entretien systématique est basé sur une des méthodes suivantes :

- Entretien basé sur le calendrier
- Entretien basé sur la durée de fonctionnement
- Entretien basé sur l'état technique

Dans les tunnels il y a divers systèmes mécaniques et électriques qui doivent être remplacés périodiquement, en entier ou en partie. Parmi elles se trouvent les installations électriques, les systèmes de contrôle par ordinateur, ainsi que les venues d'eau et la protection contre le gel. Dans les tunnels sous-marins il est particulièrement important de remplacer et d'améliorer les pompes et les systèmes de drainage. Dans certains tunnels, ayant des trafics particulièrement faibles, des portes sont prévues pour la protection contre le gel. Celles-ci demandent un entretien régulier, mais sont de moins en moins utilisées.

Le réinvestissement et l'amélioration des installations pour répondre à de nouvelles normes (en particulier des normes de sécurité) constituent un pourcentage très élevé des coûts annuels d'entretien. Ces coûts de renouvellement seront même plus élevés durant la décennie suivante par suite des nouvelles directives de sécurité plus strictes.

Les coûts d'électricité sont de l'ordre de 25 à 50% des coûts annuels d'exploitation dans la plupart des tunnels. La consommation d'électricité se situe essentiellement aux niveaux de l'éclairage et de la ventilation. Dans les longs tunnels, les coûts d'énergie pour la ventilation dominent. Certains des autres coûts encourus incluent du personnel pour l'inspection et la surveillance, le nettoyage, la formation et les exercices, les systèmes de téléphonie et d'information. Par suite de la forte croissance des prix de l'électricité, les coûts d'exploitation des tunnels augmenteront en proportion.

Les coûts principaux d'exploitation sont l'électricité pour l'éclairage et la ventilation. Les coûts de ventilation dominent dans les longs tunnels.

### 3. TRAFIC ET SECURITE INCENDIE

Une large enquête concernant les accidents a eu lieu en 1997 dans les tunnels norvégiens (Amundsen, 1997).

L'enquête montre que le taux d'accidents dans la zone d'entrée est 3 fois plus élevé que dans le reste du tunnel. Le taux d'accident est réduit en proportion de la longueur et de la largeur du tunnel. Lorsque les accidents en tunnel sont comparés à ceux à l'air libre, il y a un nombre plus grand d'accidents entre véhicules roulant dans la même direction. Dans les tunnels à circulation à double sens il y a relativement plus d'accidents frontaux qu'en surface.

Les données relatives aux accidents et leur localisation proviennent de la banque de données routières pour les années 1992 à 1996, et sont groupées selon les 4 catégories suivantes :

- Zone 1 - Les 50 premiers m avant le portique du tunnel
- Zone 2 - Les 50 premiers m dans le tunnel
- Zone 3 - Les 100 m suivants dans le tunnel
- Zone 4 - La zone centrale, c.à.d. le reste du tunnel (jusqu'à l'autre zone 3)

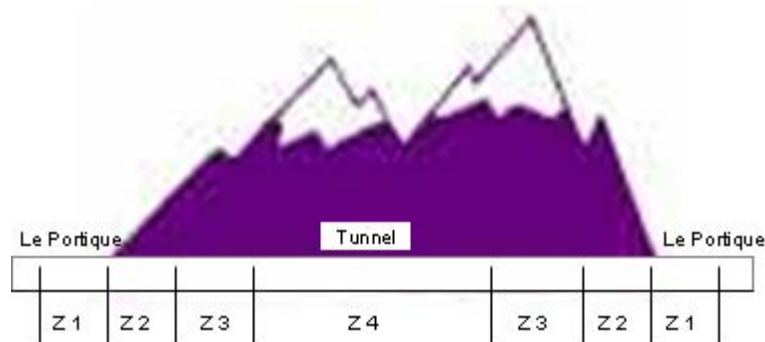


Figure 2 – Localisation des zones d'accident

L'enquête a couvert 588 tunnels ouverts à la circulation en ou avant 1992. Le trafic AADT moyen de ces tunnels était de 3500 véhicules.. Au total, 499 accidents comportant des blessés ont été enregistrés durant 5 ans dans seulement un tiers des tunnels. En d'autres mots, il n'y a pas eu d'accident dans deux tiers des tunnels.

Table 2 - Accidents

	Accidents avec lésions corporelles	Fréquence d'accidents (Accidents par million veh. km par an)
Zone 1	127	0,30
Zone 2	94	0,23
Zone 3	97	0,16
Zone 4	181	0,10

Dans le tunnel (zones 2+3+4)	372	0,13
Routes nationales à l'air libre (moyenne pour deux voies)		0,25

La recherche a montré que la fréquence d'accident dans la zone 1 était trois fois plus grande que celle dans la zone 4 (zone centrale). La fréquence d'accident est réduite proportionnellement à l'augmentation de la longueur et de la largeur du tunnel. Lorsque des accidents en tunnel sont comparés avec ceux en surface, il y a davantage d'accidents entre véhicules roulant dans la même direction. Dans les tunnels à circulation à double sens, il y a proportionnellement plus d'accidents frontaux que en surface.

Un total de 745 personnes ont été blessées dans les 499 accidents de cette étude. Le degré de sévérité des blessures dans les divers tunnels est indiqué ci-dessous (moyenne pour les années 1992-1996).

Table 3 – Tués ou blessés

Sévérité	Zone 1	Zone 2	Zone 3	Zone 4	Total	Dans le tunnel (2+3+4)	Routes nationales à l'air libre
Tués	6	1	2	17	26	20 (3.6%)	185 (2.8%)
Blessés très graves	1	5	2	5	13	12 (2.1%)	118 (1.8%)
Blessés graves	21	15	20	30	86	65 (11.6%)	655 (9.9%)
Blessés légers	155	121	123	221	620	465 (82.7%)	5 643 (85.5%)
<b>Nbre tués ou blessés</b>	<b>183</b>	<b>142</b>	<b>147</b>	<b>273</b>	<b>745</b>	<b>562</b>	<b>6 601</b>

La proportion de blessés graves dans des accidents en tunnel est plus élevée que pour des accidents sur les routes à l'air libre.

D'autres enquêtes montrent qu'il y a une augmentation sensible du nombre d'accidents dans les zones d'entrée lorsque le revêtement routier est humide, ou lorsqu'il y a de la neige et de la glace dans la zone d'entrée du tunnel.

Une enquête a été réalisée en 2001 sur les incendies de voitures en tunnel durant les 10 dernières années (Amundsen, 2001). 67 incendies de voitures en tunnel ont été recensés durant cette période. Les poids lourds sont intervenus pour plus de leur part normale dans les incendies, représentant 30 %. La plupart des incendies ont commencé dans le moteur ou les installations électriques des véhicules. Des blessés ont été notés dans 6 cas où la collision a conduit à un incendie.

Il est probable que le nombre réel d'incendies est quelque peu plus élevé que celui de l'étude. Si nous supposons un total de 100 incendies de voitures en 10 ans, la moyenne sera de 10 incendies par an. Avec au total 1000 tunnels en Norvège, ceci correspond à un incendie de voiture par an par 100 tunnels. Statistiquement il s'écoule donc 100 ans entre deux incendies de voitures dans un tunnel norvégien moyen. Il reste malgré tout nécessaire d'être préparé à un incendie de voiture qui se passera demain dans chaque tunnel.

Tous les tunnels sont construits pour obtenir une résistance au feu de la structure et des équipements. Les tunnels avec un trafic inférieur à 10 000 véhicules/jour sont calculés pour résister à un feu de 5 MW, et les autres tunnels un feu de 20 MW. Des essais

incendie en vraie grandeur sont très rarement réalisés pour vérifier les procédures d'urgence et le système de contrôle des fumées.

Les véhicules transportant des marchandises dangereuses ont accès à presque tous les tunnels norvégiens. Il y a à ce jour moins de 10 tunnels fermés pour de tels véhicules. Une analyse de risque est en général effectuée avant une réglementation sur le trafic dans le tunnel.

Des enquêtes ont également été effectuées en ce qui concerne la cause des pannes en tunnel. Ces arrêts causent autant de gêne au trafic, et sont une cause d'au moins autant d'accidents que les incendies de voitures. Une recherche a montré que la vaste majorité des pannes sont dues à des arrêts de moteur. La deuxième cause est un réservoir à essence vide. Ensemble ces situations représentent environ 75% des causes de pannes.

Une grande partie des tunnels se trouvent loin des postes de pompiers et d'autres services d'urgence. Si quelque chose se passe dans les tunnels ou sur la route en dehors du tunnel, les gens sont habitués à tenter de se sauver eux-mêmes. La philosophie principale de la planification de la sécurité dans les tunnels norvégiens a été pendant longtemps le principe d'auto sauvetage. Et il n'y a jamais eu à ce jour d'incendies avec des conséquences dramatiques.

#### **4. DIRECTIVES "TUNNEL" POUR LES EQUIPEMENTS DE SECURITE**

De nouvelles directives pour la construction, l'exploitation et l'entretien des tunnels routiers norvégiens, incluant des recommandations pour l'amélioration de tunnels existants, ont été publiées en 2002. Les directives sont basées sur l'expérience issue des tunnels routiers norvégiens dans le courant des dernières années, ainsi que des résultats de recherches et que de l'expérience d'autres pays.

Les tunnels sont divisés en classes qui déterminent le dimensionnement géométrique et le niveau d'installation technique. Les niveaux croissent avec la densité de trafic et la longueur des tunnels.

La densité du trafic est normalement mesurée en AADT, et est définie comme la somme des volumes dans les 2 directions. La classe de tunnel est choisie à partir du volume de trafic attendu 20 années après l'ouverture du tunnel.

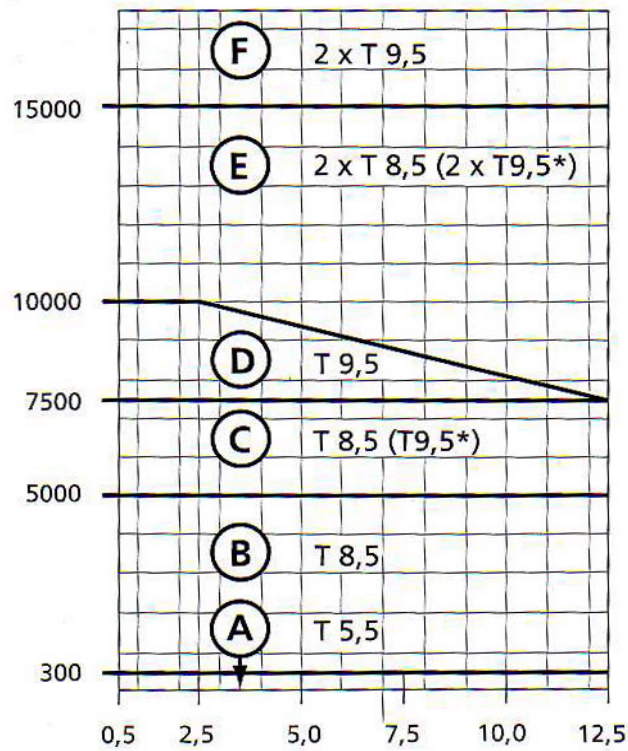


Figure 3 - Classes de tunnels (AADT et longueur du tunnel)

Des exemples de sections transversales sont montrés dans la figure ci-dessous.

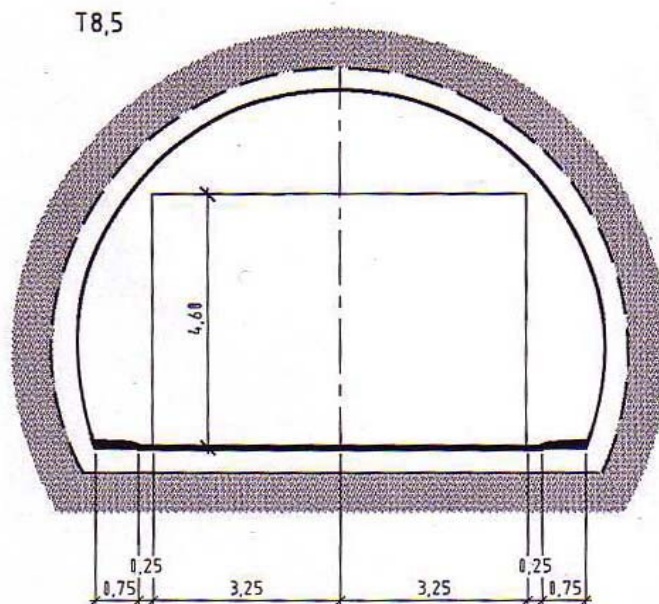


Figure 4 - Section transversale typique pour un tunnel à un tube à trafic bidirectionnel

Il y a au total 6 classes de tunnels, où la classe F dispose du plus nombre le plus élevé d'équipements de sécurité.



Table 4 - Equipement de sécurité dans différentes classes de tunnels

EQUIPEMENT	CLASSES DE TUNNELS						COMMENTAIRES
	A	B	C	D	E	F	
Niches de pannes		●	●	●	●	●	
Niches de demi-tour		●	●	●			
Possibilités de fuite des piétons					●	●	Liaison entre tunnels tous les 250
Alimentation électrique "no-break" – g&nrateurs de secours		●	●	●	●	●	Eclairage du tunnel pendant les coupures de courant
Eclairage d'évacuation			○	●	●	●	Environ 62.5 m d'entredistance
Signaux relatifs aux sorties de secours					●	●	Doit être respecté dans les autres tunnels qui ont des sorties alternatives.
Téléphones de secours		●	●	●	●	●	Classe B: tous les 500 m Classe C: tous les 375 m Classe D: tous les 250 m Classe E: tous les 500 m Classe F: tous les 250 m
Extincteurs	○	●	●	●	●	●	Classe B: tous les 250 m Classes C, D: tous les 125 m Classe E: tous les 125 m Classe F: tous les 62.5 m
Eau pour la lutte incendie		●	●	●	●	●	
Feu rouge d'arrêt		●	●	●	●	●	
Barrières commandées à distance pour la fermeture du tunnel		○	○	○	○	●	A évaluer, au départ de la fréquence d'utilisation attendue.
Signalisation variable commandée à distance		○	○	○	○	○	
Signalisation par voie					○	○	
Surveillance par TV interne					○	○	
Equipement de communication et de retransmission radio		●	●	●	●	●	
Téléphones portables		○	○	○	○	○	A vérifier avec l'opérateur de téléphone
Contrôle de la hauteur libre	●	●	●	●	●	●	

● = obligatoire

○ = à évaluer

## REFERENCES

- Amundsen et al. (1997) An analysis of traffic accidents and car fires in road tunnels  
 Amundsen et al. (2001) Car fires and breakdowns in Norwegian road tunnels  
 Melby et al. (2002) Subsea road tunnels in Norway  
 Public Roads Administration (2002) Handbook 21, Road tunnels