

12 ANNEXES

12.1 Statistiques norvégiennes d'incidents et d'accidents

Les études sur la sécurité du trafic effectuées dans les tunnels routiers norvégiens montrent que les tunnels sont aussi sûrs que les autoroutes à double chaussée. Elle est malgré cela souvent remise en question. Les accidents qui se produisent dans les tunnels routiers, en particulier ceux impliquant des blessés graves, attirent particulièrement l'attention. A l'entrée d'un tunnel, nombreux sont les usagers qui se sentent mal à l'aise et anxieux et craignent sans doute pour leur sécurité personnelle. Le comportement du conducteur est donc un facteur important dans la conception des tunnels routiers et la révision des directives de conception des tunnels.

Les causes des accidents en tunnel sont intéressantes et leur analyse peut être utile dans le choix des mesures de prévention. Il est important également de savoir quels effets les conditions météorologiques et routières, les volumes de circulation et les longueurs de tunnel peuvent avoir sur les types d'accident et leur localisation par rapport à l'entrée, à la zone de transition et à la sortie du tunnel.

Des études récentes ont montré que les résultats suivants :

- les accidents impliquant un seul véhicule constituent environ 52 % de l'ensemble des accidents,
- les collisions frontales constituent environ 20 % de l'ensemble des accidents,
- les collisions par l'arrière constituent environ 13 % de l'ensemble des accidents.

Les accidents par l'arrière se produisent le plus souvent dans des tunnels larges, avec des volumes de circulation importants, alors que les collisions frontales sont plus courantes dans les tunnels étroits. Les tunnels à deux voies (avec une largeur de chaussée de 6 à 7 m) présentent le plus grand nombre d'accidents lors du dépassement.

Les taux d'accident (A_r) ont été estimés sur la base de la longueur et du trafic moyen journalier annuel (TMJA) (en accidents annuels avec blessés par million de véhicules-kilomètres) :

- Section d'étude totale (étendue à 100 m après le tunnel) $A_r = 0,52$
- Zones de transition (50 m de chaque côté des deux têtes) $A_r = 0,86$
- Zone médiane (longueur restante du tunnel) $A_r = 0,17$

12 APPENDICES

12.1 Norwegian Incident and Accident Statistics

Traffic safety studies that have been conducted on Norwegian road tunnels show the tunnels to be as safe as two carriageway motorways. In spite of this, safety in road tunnels is often questioned. Road tunnel accidents, particularly those involving serious personal injury, draw a great deal of attention. As they enter a tunnel portal, many motorists are uneasy and apprehensive and perhaps concerned with their personal safety. Therefore, driver behaviour is an important factor in the design of road tunnels and the revision of tunnel design guidelines.

The causes of tunnel accidents are of interest and could perhaps be useful in the selection of accident prevention measures. It is also important to learn what effects weather and road conditions, traffic volumes and tunnel lengths could have on accident types and accident locations relative to tunnel entrance, transition and exit zones.

Recent studies revealed the following results:

- Single vehicle accidents constitute about 52% of total accidents
- Head-on collisions constitute about 20% of total accidents
- Rear-end collisions constitute about 13% of total accidents

Rear-end accidents occur most frequently in wide tunnels with high traffic volumes, while front collisions are more common in narrow tunnels. Two-lane tunnels (with carriageway widths of 6 m to 7 m) have the largest number of passing accidents.

Accident rates (Ar) were estimated based on length and average annual daily traffic (AADT) (in annual person injury accidents per million vehicle-kilometers):

- The entire study section (extending 100 m beyond tunnel) Ar = 0.52
- Transition zones (50 m on both sides of both tunnel portals) Ar = 0.86
- Mid-zone (remaining tunnel length) Ar = 0.17

Le taux d'accident dans les zones de transition est cinq fois supérieur à celui de la zone médiane. Un certain nombre d'études internationales documentées montrent des résultats similaires.

Les données sur les accidents et leur localisation ont été divisées en quatre catégories :

- Zone 1 premiers 50 m à l'extérieur des têtes Ar = 0,30
- Zone 2 premiers 50 m à l'intérieur du tunnel Ar = 0,23
- Zone 3 100 m suivants à l'intérieur du tunnel Ar = 0,16
- Zone 4 zone médiane (section restante du tunnel) Ar = 0,10

Le taux d'accidents dans la zone 1 est trois fois supérieur à celui de la zone 4, et celui de la zone 3 pratiquement la moitié de celui de la zone 1. Cela indique que la zone de transition se prolonge en réalité de 75 à 100 m à l'intérieur des tunnels.

On constate une nette diminution du taux d'accident au fur et à mesure que l'on avance dans le tunnel depuis l'extérieur jusque dans la partie médiane.

Dans les tunnels unidirectionnels à deux voies, le pourcentage d'accidents entre des véhicules se déplaçant dans le même sens domine et représente 62 % du nombre total d'accidents. L'autre groupe important dans ce type de tunnel est celui des accidents impliquant un seul véhicule, qui constitue 23 % du total.

Dans les tunnels bidirectionnels, les accidents entre des véhicules se déplaçant dans le même sens et ceux avec un seul véhicule constituent respectivement 33 % et 34 %. Les accidents frontaux constituent 21 %.

Pour les deux types de tunnels, la proportion des accidents entre véhicules se déplaçant dans le même sens augmente avec le volume de circulation. Avec un trafic bidirectionnel, le pourcentage passe de 16 % pour un trafic inférieur à 2 000 TMJA à 50 % pour un trafic dépassant 5 000 TMJA, alors qu'avec un trafic unidirectionnel ce pourcentage passe de 48 % pour un trafic inférieur à 30 000 TMJA à 79 % pour un trafic dépassant 50 000 TMJA.

Les taux d'accidents diminuent avec une longueur croissante de tunnel. Ce qui est normal, puisque les taux d'accident en zone d'entrée sont supérieurs à ceux des zones médianes. Les résultats des études montrent que les taux d'accident sont plus élevés dans les tunnels ayant un TMJA inférieur à 1 000. Mais ces tunnels sont aussi ceux, selon toute vraisemblance, qui sont construits selon des normes minimales. En Norvège, les tunnels étroits ont un taux d'accident supérieur aux tunnels plus larges. Comme il existe une relation étroite entre la largeur du tunnel et les normes de dimensionnement, on peut difficilement déterminer quel est le facteur le plus important. Quoiqu'il en soit, cela permet de supposer raisonnablement que la largeur du tunnel affecte le taux d'accident. La différence entre les tunnels à deux voies et les tunnels à voies multiples est négligeable.

The accident rate in the transition zones is five times that of the accident rate in the mid-zone. A number of documented international studies show similar findings.

Data on accidents and location were grouped into the following four categories:

- Zone 1 the first 50 m outside the tunnel portals Ar = 0.30
- Zone 2 the first 50 m inside the tunnel Ar = 0.23
- Zone 3 the next 100 m inside the tunnel Ar = 0.16
- Zone 4 the mid-zone (remaining tunnel section) Ar = 0.10

The accident rate in Zone 1 is three times higher than that of Zone 4, and the accident rate in Zone 3 is nearly half of that of Zone 1. This is an indication that the transition zone actually extends from 75 to 100 m into the tunnels.

There is a clear decline in the accident rate when proceeding into the tunnels from the outside to the inner part.

For one-way, two-lane tunnels, the percentage of accidents between vehicles moving in the same direction predominates and represents 62% of the total number of accidents. The other major group in this type of tunnel is single-vehicle accidents that make up 23% of the total.

For tunnels with two-way traffic, accidents between vehicles moving in the same direction and single vehicle accidents constitute 33% and 34%, respectively, of the total number of accidents. Frontal accidents constitute 21%.

For both tunnel types, the proportion of accidents between vehicles moving in the same direction increases with traffic volume. With two-way traffic, the percentage increases from 16% for traffic below 2,000 AADT to 50% for traffic exceeding 5,000 AADT, while with one-way traffic the percentage increases from 48% for traffic below 30,000 AADT to 79% for traffic exceeding 50,000 AADT.

Accident rates decline with increasing tunnel length. This is to be expected, as entrance zone accident rates are higher than those for mid-zones. Study results show that accident rates are highest in tunnels with an AADT below 1,000. However, these tunnels are also most likely to be built to the lowest standards. In Norway, narrow tunnels have a higher accident rate than wider ones. Since there is a close relationship between tunnel width and design standards, it is unclear which is the most important factor. Anyway, there is good reason to assume that tunnel widths will affect accident rates. The difference between two-lane and multi-lane tunnels is negligible.

On constate de façon typique une concentration des accidents à l'extérieur des têtes de tunnel sur les routes à circulation unidirectionnelle. Les collisions par l'arrière dominent dans ce cas, souvent liées au volume élevé de circulation, et renforcées parfois par l'éblouissement dû au soleil et la position trop rapprochée des panneaux de circulation.

Actuellement, 25 % environ de l'ensemble des accidents étudiés se situent dans les 50 premiers mètres, 25 % environ dans les 100 m suivants, et les 50 % restants dans la zone médiane.

D'une façon générale, les accidents sont un peu plus graves dans les tunnels que sur le réseau routier national dans son ensemble. Cela est le cas plus particulièrement pour la zone médiane du tunnel et peut résulter du taux plus élevé d'accidents frontaux, qui sont plus graves.

Les accidents impliquant plusieurs véhicules se déplaçant dans le même sens (par l'arrière et changement de voie) sont sur-représentés dans les tunnels routiers. C'est particulièrement vrai pour les tunnels unidirectionnels à deux voies. Les tunnels bidirectionnels à un seul tube présentent plus d'accidents frontaux ou impliquant un seul véhicule que le réseau routier national, dans l'ensemble.

Les taux d'accident diminuent de façon notable avec une longueur croissante de tunnel, des chaussées plus larges et des volumes de circulation plus élevés. Cela est probablement dû au fait que les accidents dans la zone d'entrée dominent dans les tunnels courts. Les tunnels à fort volume de circulation sont normalement construits selon des normes supérieures de dimensionnement et d'équipement.

12.2 La rénovation du tunnel du Mont-Blanc

12.2.1 Introduction

Le tunnel du Mont Blanc était auparavant d'un système de ventilation semi-transversal réparti sur huit cantons d'injection d'air frais. L'extraction des fumées (et de l'air vicié) se faisait par des bouches situées tous les 300 m. Ces bouches étaient reliées à deux conduites : l'une sur le versant français et l'autre sur le versant italien.

Le 24 mars 1999, un incendie catastrophique s'est produit dans le tunnel du Mont-Blanc, provoquant la mort de 39 personnes, ainsi que des dommages considérables sur l'ouvrage.

Le tunnel a été rénové avant d'être de nouveau ouvert au trafic. Le système de ventilation constituait une partie importante des travaux de réhabilitation, le système d'origine ayant été trouvé inadapté, tant en capacité qu'en possibilités opérationnelles en cas d'incendie majeur.

There is typically a concentration of accidents outside tunnel openings on roads with one-way traffic. In such cases rear-end collisions predominate, often related to high traffic volumes and sometimes exacerbated by blinding sunlight and closely located traffic signs.

At present, about 25% of all tunnel accidents studied took place in the first 50 m, about 25% in the next 100 m and the remaining 50% in the mid-zone.

In general, accident severity is somewhat higher in tunnels than on the national road network. This is especially the case for the tunnel mid-zone. This might be the result of the higher accident rate of the more severe, head-on accidents.

Multi-vehicle accidents with vehicles moving in the same direction (rear-end and lane change) are overrepresented in road tunnels. This is especially true for one-way, dual-tube tunnels. Two-way, single tube tunnels have more head-on and single vehicle accidents than the national road network, as a whole.

Accident rates decline noticeably with increasing tunnel lengths, wider roadways and higher traffic volumes. This is probably related to the fact that entrance zone accidents predominate in shorter tunnels. High traffic volume tunnels will normally be built to higher design and equipment standards.

12.2 The Mont Blanc Tunnel Renovation

12.2.1 Introduction

The former Mont Blanc tunnel ventilation system was a semi-transverse system including eight fresh air injection sections. Extraction of smoke (and polluted air) was performed through open vents located every 300 m. These vents were connected to two ducts: one on the French side and one on the Italian side.

On March 24, 1999, a catastrophic fire in the Mont Blanc Tunnel caused the death of 39 people, as well as very significant structural damage.

The tunnel was renovated before it was reopened to traffic. The ventilation system comprised a significant portion of the rehabilitation design work, since the original system was found to be inadequate in capacity and operational ability during a major fire.