



4. MESURES SUPPLÉMENTAIRES RECOMMANDÉES POUR AMÉLIORER LA SÉCURITÉ DES TUNNELS ROUTIERS EN CONDITIONS NORMALES DE CIRCULATION

▶ 4.1. INTRODUCTION

En 2001, le Comité des Transports Intérieurs de la CEE ONU a publié le rapport [53] d'un groupe ad-hoc d'experts de la sécurité des tunnels routiers qui contenait un grand nombre de recommandations destinées à améliorer la sécurité des tunnels. Ces recommandations ont fourni une des plus importantes contributions à la « Directive du Parlement européen et du Conseil concernant les exigences de sécurité minimales applicables aux tunnels du réseau routier transeuropéen » [18]. Cette directive européenne peut être considérée comme la première loi supranationale exhaustive relative à la sécurité des tunnels. Elle contient trois annexes dont deux sont importantes dans le cadre des objectifs du présent rapport : l'annexe I, dans laquelle sont formulées des mesures minimales que les tunnels du réseau routier européen doivent respecter, et l'annexe III relative à la signalisation. Ces annexes ont été prises comme référence pour ce rapport et seront désignées sous le terme de « mesures minimales existantes ».

Les **chapitres 4 et 5** sont destinés à donner une vue globale des mesures possibles, en complément des mesures minimales définies par la directive européenne. Certaines peuvent être appliquées à grande échelle compte tenu de leur rapport coût-efficacité, d'autres nécessiteront un examen plus détaillé. Il n'est pas toujours pertinent d'appliquer toutes les mesures. De plus, certaines mesures présentées en sont encore aux stades initiaux de développement. Il est proposé que des groupes de travail nationaux et internationaux étudient les conséquences des différentes mesures complémentaires, en particulier au travers de tests, d'expériences et d'évaluations de conceptions innovantes, et fassent des propositions pour leur mise en oeuvre.

Ce **chapitre 4** étudie des mesures destinées à améliorer la sécurité des tunnels dans des conditions normales de circulation. Chaque mesure est le résultat de la prise en compte des observations des usagers des tunnels, telles qu'elles sont décrites dans le **chapitre 2** (conduite en direction de, dans et à la sortie d'un tunnel), et des outils disponibles pour éviter les sensations de stress (sécurité subjective) et empêcher les situations dangereuses. Dans le cadre du développement des mesures, les modèles de traitement humain de l'information et de comportement humain dans les conditions normales de circulation (chapitres 1 et 2) ont joué un grand rôle.

La présentation des mesures répond au schéma suivant :

4. RECOMMENDED ADDITIONAL MEASURES TO IMPROVE ROAD TUNNEL SAFETY IN NORMAL TRAFFIC CONDITIONS

▶ 4.1. INTRODUCTION

In 2001 the Inland Transport Committee of the UN/ECE issued a report [53] of an ad-hoc group of experts on road tunnel safety which contained a great number of recommendations to improve tunnel safety. These recommendations have formed one of the most important inputs for the “Directive of the European Parliament and Council on minimum safety requirements for tunnels in the Trans-European Road Network” [18]. This EU-Directive may be considered as the first comprehensive supranational law on tunnel safety. The Directive contains three appendices of which two are important in relation to the objectives of our report: appendix I, in which minimum measures are formulated tunnels in the European Road Network have to comply with and appendix III concerning signing. These appendices have been taken as a reference for this report and will be referred to as “existing minimum measures”.

The aim of **chapters 4 and 5** is to give an overview of possible measures, additional to the minimum measures set by the EU-Directive. Some could be applied on a large scale in view of their cost-effectiveness, other measures will need closer consideration. It will not always be sensible to apply all measures. Moreover some measures are presented which are in the first stages of development. It is proposed that national and international working groups study the consequences of the various additional measures, including tests, experiments and evaluations of innovative designs, and make proposals for their implementation.

This **chapter 4** considers measures to improve tunnel safety in normal traffic conditions. Each measure is the result of considering the observations of the tunnel user as described in **chapter 2** (driving towards, into, through and out of a tunnel) and the tools that are available to prevent feelings of stress (subjective safety) and to prevent dangerous situations. In the development of the measures the models of the human information processing and human behaviour in normal traffic situations (chapters 1 and 2) have played a great role.

In the presentation of the measures the following format is followed:



- objectifs de l'outil ;
- description des mesures minimales existantes (exigées par la directive européenne) ;
- discussion du sujet, dans laquelle sont pris en compte d'autres textes et expériences (nationaux) et sont décrites de nouvelles évolutions ;
- récapitulatif des mesures complémentaires recommandées.

► 4.2. FORMATION ET INFORMATION

Objectifs

L'objectif de la formation et l'information est l'adoption d'un comportement correct dans les tunnels, en situation normale. Cela signifie non seulement qu'il faut conduire avec les phares allumés et ne pas se garer ni faire demi-tour dans les tunnels, mais également qu'il faut être conscient du risque de catastrophes : radio allumée, diminution de la vitesse maximale (si besoin est), allongement des distances par rapport aux véhicules précédents (si besoin est), attention portée aux postes de secours et aux issues de secours.

Mesures minimales existantes

Les Etats Membres de l'Union européenne doivent organiser régulièrement des campagnes d'information en association avec les parties concernées et fournir, dans des lieux pratiques, des informations au sujet des équipements de sécurité et du comportement à adopter.

Discussion

En 2006, les automobiles-clubs de différents pays européens (Fédération Internationale de l'Automobile) ont lancé une Campagne de Sensibilisation à la Sécurité des Tunnels. Des dépliants, des DVD interactifs, des liens sur le site web des clubs automobiles, des articles dans des magazines et des guides de voyages contribuent à faire prendre conscience aux usagers des tunnels que la conduite dans les tunnels nécessite une attention particulière.

En août 2006, le propriétaire du tunnel du Gothard a installé des bornes d'information mystérieuses destinées aux usagers sur les parkings et dans les boutiques et toilettes des deux têtes du tunnel (*figure 7*).

Un dépliant (*figure 8*) et un porte-carte spéciaux ont été conçus pour les conducteurs de poids lourds qui empruntent souvent les tunnels du Mont Blanc et du Fréjus. Le porte-carte peut servir à insérer la carte de péage ou une carte de crédit. Les consignes applicables aux tunnels figurent sur le porte-carte. Le dépliant et le porte-carte ne contiennent que des icônes pour surmonter les obstacles de la langue.

- the objectives of the tool;
- a description of the existing minimum measures (required by the EU-Directive);
- a discussion on the subject in which other (national) guidelines and experiences are included, as well as new developments are described;
- the summing up of recommended additional measures.

► 4.2. EDUCATION AND INFORMATION

Objectives

The objective of education and information is to achieve correct behaviour in tunnels in normal situations. This not only means: driving with lights on, no parking and no turning in tunnels, but also being aware of the risk of disasters: radio on, lower maximum speed (if required), greater distances to vehicles ahead (if required), attention for emergency stations and emergency exits.

Existing minimum measures

The member states of the EU have to regularly organise information campaigns in conjunction with interested parties as well as to provide information on safety equipment and correct behaviour in convenient places.

Discussion

In 2006 the automobile clubs of various European countries (Fédération Internationale de l'Automobile) launched a Safe Tunnels Awareness Campaign. Leaflets, interactive DVD's, links on the website of the automobile clubs, articles in magazines and handbooks for travelling all contribute to the awareness of tunnel users that driving in tunnels requires special attention.

In August 2006 the owner of the Gotthard tunnel installed intriguing info-tracks for users on the parking places and at shops and toilets at both portals of the tunnel (*figure 7*).

For HGV drivers, frequently passing the Mont Blanc and Fréjus tunnels a specific leaflet (*figure 8*) and a specific card holder have been designed. The card holder can be used to insert the toll card or credit card. The instructions applicable to the tunnels are printed on the card holder. Both leaflet and card holder use solely icons to overcome the language problems.



Des enquêtes et l'étude sur simulateur de conduite UPTUN [28] ont toutefois montré que les effets des dépliants d'information fournis sur les aires de repos et aux entrées des tunnels sont limités. La lecture d'articles et de DVD interactifs reste une activité volontaire. L'intégration du comportement correct à adopter pour la conduite dans les tunnels dans les leçons de conduite et dans l'examen de passage du permis de conduire serait probablement plus efficace.

Enquiries and the UPTUN driving simulator study [28] however have shown that the effect of information leaflets provided at rest areas and at tunnel entrances is limited. The reading of articles and the playing of interactive DVD's remains a voluntary activity. If incorporation of the correct behaviour for driving in tunnels was included in driving lessons and was necessary for obtaining a driving license the effects are likely to be higher.

Le groupe d'experts CEE ONU sur la sécurité des tunnels routiers a recommandé dans son rapport final [53] d'inclure dans les leçons de conduite le comportement correct à adopter pour la conduite dans les tunnels. En Espagne par exemple, la conduite dans les tunnels est comprise dans la formation au permis de conduire.

The UN-ECE group of experts on tunnel safety in road tunnels recommended in their final report [53] to incorporate the correct behaviour for driving in tunnels into driving lessons. For example in Spain driving in tunnels is included in the driving education.

Dans la deuxième phase du projet français ACTEURS, 35 questions relatives au comportement dans les tunnels ont été formulées pour être utilisées dans les leçons de conduite destinées aux nouveaux conducteurs. Des aides pédagogiques destinées aux moniteurs d'auto-écoles sont également en cours de développement. Les conducteurs de camions qui empruntent les tunnels du Mont Blanc et du Fréjus sont invités à participer à des séances spéciales de formation.

In the second phase of the ACTEURS project in France 35 questions on behaviour in tunnels have been formulated, for use in driving lessons for new drivers. Teaching aids for instructors of driving schools are also being developed. Truck drivers passing the Mont Blanc and Fréjus Tunnels are invited to join special training sessions.



7a

7a

Figure 7a/b : éléments d'information sur les aires de service destinées aux usagers du tunnel du Gothard



7b

Figure 7a/b: Some items of the info-track at the service areas for users of the Gotthard tunnel



Figure 8 : exemple de dépliant spécial distribué aux conducteurs professionnels de poids lourds (projet ACTEURS pour les tunnels du Mont Blanc et du Fréjus)



Figure 8: Example of the specific leaflet disseminated to professional truck drivers (ACTEURS project Mont Blanc and Fréjus tunnels)

Mesures complémentaires recommandées

- Utiliser des moyens innovants pour informer les usagers des tunnels ;
- Evaluer l'effet des campagnes d'information engagées par les automobile-clubs européens ;
- Lors des leçons de conduite et pour l'examen du permis de conduire, inclure la connaissance, par les conducteurs, du comportement à adopter dans les tunnels et la nécessité de prêter une attention particulière aux panneaux routiers à l'approche d'un tunnel. Il faudrait également inclure la recherche systématique des issues de secours ou des équipements de sécurité, même en l'absence d'accident ou d'incendie ;
- Organiser des séances spéciales de formation pour les conducteurs professionnels de poids lourds (en particulier pour certains tunnels, fréquentés par de nombreux camions internationaux) ;

Recommended additional measures

- Use innovative means to inform tunnel users;
- Evaluate the effect of the information campaigns performed by the European automobile clubs;
- In car driving lessons and driving license tests include that drivers know how to drive in tunnels and that they take notice particularly of the road signs when approaching a tunnel. It should also include that they always look for emergency exits or safety equipment, even if there is no accident or fire;
- Organise specific training sessions for professional truck drivers (especially for specific tunnels, frequented by many international trucks);



- Promouvoir l'inclusion d'applications multimédia (vidéos interactives, simulateurs) dans les leçons de conduite, permettant à l'auto-école de familiariser les conducteurs avec les aspects particuliers des tunnels et de leur enseigner le comportement qu'il convient d'adopter.

► 4.3. INFORMER LES CONDUCTEURS QU'ILS APPROCHENT DE LA DERNIÈRE SORTIE AVANT UN TUNNEL

Objectifs

Fournir en temps utile aux conducteurs une indication de l'approche d'un tunnel, de la hauteur maximale autorisée des véhicules et d'éventuelles restrictions au passage des marchandises dangereuses afin que les conducteurs concernés aient une solution alternative acceptable.

Mesures minimales existantes relatives à l'indication d'un tunnel sur la section de route suivante

Il n'existe aucune réglementation de ce type. En ce qui concerne ce point, la seule obligation des maîtres d'ouvrage des tunnels est d'informer les usagers des tunnels de l'existence d'itinéraires de déviation en cas de fermeture d'un tunnel.

Discussion

Généralement, les routes comportant des tunnels sont construites de manière à soulager les routes et itinéraires régionaux existants traversant des zones construites, si bien que des itinéraires de remplacement sont rarement privilégiés. Néanmoins, il semble intéressant de prévenir les personnes souffrant de phobie des tunnels de l'existence d'un tunnel sur la section de route suivante et de la possibilité d'emprunter un autre itinéraire.

Dans certains pays, des panneaux permanents indiquant des itinéraires de remplacement en cas de fermeture des autoroutes ont été installés. Ce type de panneau pourrait aussi être conçu pour indiquer des itinéraires de remplacement pour les personnes qui préfèrent les routes sans tunnel.

Mesures complémentaires recommandées

Il est recommandé de concevoir un panneau routier international indiquant la dernière sortie de la route avant une section comportant un tunnel ou une série de tunnels. Ce panneau devrait être précédé d'un ou deux panneaux identiques avec des panneaux supplémentaires indiquant la distance jusqu'à la dernière sortie. Il est possible de combiner ces panneaux avec une signalisation directionnelle.

Mesures minimales existantes concernant l'indication d'une hauteur limitée

Il n'existe aucune réglementation de ce type.

- Promote the inclusion of multi media applications (interactive video's, simulators) in car driving lessons, enabling the driving school to familiarize drivers with the relevant aspects of tunnels, and learn the appropriate behaviour.

► 4.3. INFORMING DRIVERS APPROACHING THE LAST EXIT BEFORE A TUNNEL

Objectives

To provide timely indication that drivers are approaching a tunnel, the maximum permitted vehicle height and of any restrictions on the passage of hazardous loads so that affected drivers are offered an acceptable alternative.

Existing minimum measures concerning indication of a tunnel on the next road section

There are no such regulations. With respect to this item the only duty of tunnel owners is to inform tunnel users about alternative itineraries in the event of a tunnel closure.

Discussion

Generally roads with tunnels are built to relieve existing regional roads or routes through built up areas, thus alternative routes are hardly ever preferred. Nevertheless it seems worthwhile to warn people with a fear of tunnel that there is a tunnel on the next road section and that they might take another route.

In some countries, permanent signs to indicate alternative routes in case of closed motorways have been installed. This kind of sign could be designed to also indicate alternative routes for people who prefer routes without a tunnel.

Recommended additional measures

It is recommended to design an international road sign indicating the last exit from the road before a road section with a tunnel or a chain of tunnels. This sign should be preceded by one or two identical signs with additional panels indicating the distance to the last exit. These signs could be combined with direction signing.

Existing minimum measures concerning indication of limited height

There are no specific regulations.



Discussion

Le panneau C6 de la convention de Vienne relative aux panneaux et signaux routiers peut servir à indiquer l'interdiction de circulation des véhicules dont la hauteur est supérieure à la valeur indiquée. Cependant, tous les pays ne l'appliquent pas, comme le montre la *figure 9*.

Mesures complémentaires recommandées

- Bien que la convention de Vienne relative aux panneaux et signaux routiers autorise une différence entre les panneaux nationaux et les panneaux de la convention, l'harmonisation internationale des panneaux routiers empêcherait les erreurs de compréhension des panneaux différents.



- Les panneaux devraient être implantés à une distance suffisante avant la dernière sortie de la route qui mène au tunnel et devraient être précédés des mêmes panneaux avec panneaux supplémentaires indiquant la distance jusqu'à la dernière sortie. Ils peuvent être inclus avec les panneaux directionnels.



Figure 10 : panneaux internationaux C3h utilisés dans différents pays

Discussion

The sign C6 of the Vienna Convention on Road signs and Signals may be used to indicate the prohibition of vehicles higher than the measure indicated. However not all countries apply it, as is shown in *figure 9*.

Recommended additional measures

- Although the Vienna Convention on Road Signs and Signals allows for national signs deviating from the signs of the Convention international harmonisation of traffic signs would prevent misunderstanding of deviating signs.



Figure 9: The international sign C6 (above) prohibiting over height vehicles and the sign used in the UK (below)

- The signs should be situated at sufficient distance prior to the last exit from the road leading to the tunnel and should be preceded by the same signs with additional panels indicating the distance to the last exit. They might be incorporated with direction signs.



Figure 10: The international signs C3h as used in various countries



Mesures minimales existantes relatives à l'indication de tunnels comportant des restrictions au transport de marchandises dangereuses

La directive européenne prescrit les mesures suivantes :

- réaliser une analyse des risques pour fixer les restrictions au transport de marchandises dangereuses
- installer les panneaux qui conviennent avant la dernière sortie précédant le tunnel et à l'entrée du tunnel
- prendre en compte des mesures spéciales d'exploitation

Discussion

Les panneaux européens interdisant aux véhicules transportant des marchandises dangereuses d'emprunter un tunnel sont présentés sur la **figure 10**. Comme on peut le voir, il existe de nombreux panneaux différents indiquant tous la même chose, ce qui peut entraîner une confusion. Selon l'avenant à l'accord européen relatif au transport international de marchandises dangereuses par la route (ADR) qui est entré en vigueur le 1er janvier 2007, tous les tunnels seront répartis en 5 catégories : A, B, C, D et E, en fonction des restrictions imposées pour le transport de marchandises dangereuses. Pour indiquer la catégorie à laquelle appartient un tunnel, le panneau C3h sera équipé d'un panneau supplémentaire portant la lettre B, C, D ou E. Aucun panneau ne sera nécessaire pour les tunnels de la catégorie A (absence de restriction).

Mesures complémentaires recommandées

- Bien que la convention de Vienne relative aux panneaux et signaux routiers autorise une différence entre les panneaux nationaux et les panneaux de la convention, l'harmonisation internationale des panneaux routiers empêcherait les erreurs de compréhension des panneaux différents.
- Les panneaux devraient être installés à la dernière jonction et être précédés des mêmes panneaux avec panneaux supplémentaires indiquant la distance jusqu'à la dernière jonction. Ils peuvent être inclus avec les panneaux directionnels.
- Les itinéraires alternatifs devraient être de préférence indiqués (**figure 11**).



Figure 11 : panneau indiquant un itinéraire de remplacement pour le transport de marchandises dangereuses

Existing minimum measures concerning indication of tunnels with restrictions concerning carriage of dangerous goods

The EU-directive prescribes the following measures:

- perform a risk analysis to decide on limitations to the transport of dangerous goods
- place appropriate signs before the last exit before the tunnel and at the tunnel entrance
- consider specific operation measures

Discussion

European signs prohibiting vehicles carrying dangerous goods from entering a tunnel are shown in **figure 10**. As can be noted, there are many different signs all indicating the same. This leads to confusion. According to the amendment to the European Agreement concerning the international carriage of Dangerous Goods by road (ADR), which entered into force on 1 January 2007, all tunnels will be categorized into 5 categories: A, B, C, D and E, depending on the restrictions imposed to the carriage of dangerous goods. To indicate what category a tunnel belongs to the sign C3h will be provided with an additional panel bearing one of the letters B, C, D or E. Tunnels belonging to category A (no restrictions) will not have to be signed.

Recommended additional measures

- Although the Vienna Convention on Road Signs and Signals allows for national signs deviating from the signs of the Convention international harmonisation of traffic signs would prevent misunderstanding of deviating signs.
- The signs should be placed at the last junction and be preceded by the same signs with additional panels indicating the distance to the last junction. They might be incorporated with direction signs.



- Preferably alternative routes should be indicated (**figure 11**).

Figure 11: Panel showing alternative route for carriage of dangerous goods



► 4.4. SIGNALISATION DIRECTIONNELLE

Objectifs

Empêcher une hésitation ou un comportement incorrect des usagers des tunnels en les informant à l'avance de l'existence de sorties juste après (voire parfois dans) le tunnel avant qu'ils entrent dans le tunnel.

Mesures minimales existantes

Il n'existe aucune réglementation particulière en matière de signalisation directionnelle liée aux tunnels

Mesures complémentaires recommandées

La publication de l'AIPCR relative à la signalisation directionnelle sur un itinéraire comprenant des tunnels contient des recommandations [40]. Elle explique qu'il faut élaborer un plan de signalisation routière pendant les premières phases d'un projet de tunnel. Cela peut parfois entraîner des modifications de la configuration du tunnel ou même des choix d'aménagement routier. Par exemple, il peut être possible de réimplanter la sortie finale plus en aval sur la route pour permettre la signalisation nécessaire.

► 4.5. INFORMATION DES CONDUCTEURS APPROCHANT D'UN TUNNEL DANS DES CONDITIONS NORMALES DE CIRCULATION

Objectifs

Les conducteurs doivent être prévenus :

- de l'existence d'un tunnel en aval, de sa longueur et, si on le juge nécessaire, de son nom ;
- des éventuelles réglementations spéciales, comme la réduction de la vitesse, le respect de la distance de sécurité par rapport aux véhicules qui précèdent, l'interdiction de circulation des camions, les dépassements etc. ;
- des restrictions ou du contrôle de la vitesse sur la section à venir ;
- des éventuelles fréquences de rediffusion de la radio ;
- de la possibilité de formation de buée sur les vitres ;
- de la possibilité de présence de brouillard à l'intérieur du tunnel.

Mesures minimales existantes concernant l'indication d'un tunnel en aval

La directive européenne prescrit l'emploi du panneau «tunnel» E11a (conformément à la convention de Vienne relative aux panneaux et signaux routiers) (*figure 12*) pour tous les tunnels du réseau transeuropéen dont la longueur est supérieure à 500 m. Le panneau doit être implanté à l'entrée du tunnel et la longueur du tunnel doit figurer soit sur la partie inférieure du panneau soit sur un panneau

► 4.4. DIRECTION SIGNING

Objectives

To prevent behavioural uncertainty or incorrect behaviour by tunnel users by providing advanced notice to them about possible exits just after (sometimes even inside) the tunnel before they enter the tunnel.

Existing minimum measures

There are no special regulations for direction signing related to tunnels

Recommended additional measures

The PIARC publication on direction signing on a route incorporating tunnels contains recommendations [40]. It is made clear that a plan for route signing has to be made during the early stages of a tunnel project. This may sometimes lead to changes in the lay-out of the tunnel or even to the road planning. For example, it may be possible to relocate the final exit to a point further back down the road to enable the requisite signage.

► 4.5. INFORMING DRIVERS APPROACHING A TUNNEL IN NORMAL TRAFFIC SITUATIONS

Objectives

Drivers have to be forewarned about:

- a tunnel ahead, its length and, if deemed necessary, its name;
- any special regulations, such as speed reduction, keeping distance to vehicles ahead, prohibition of trucks, overtaking etc. ;
- section speed restrictions or control;
- radio rebroadcast frequencies, if any;
- possibility of misted up windows;
- possibility of fog inside the tunnel.

Existing minimum measures concerning indication of an upcoming tunnel

The EU-Directive prescribes the use of the tunnel sign E11a (according to the Vienna Convention on Road Signs and Signals) (*figure 12*) for all tunnels in the Trans European Network longer than 500 m. The sign shall be posted at the tunnel entrance and the tunnel length shall be included either in the lower part of the panel or on an additional panel. The name of the tunnel may also be indicated. (In



supplémentaire. Le nom du tunnel peut également être indiqué. (Aux Etats Unis, de nombreux maîtres d'ouvrages de tunnels ont installé sur les têtes de tunnel des panneaux indiquant le nom du tunnel.)

Figure 12 : panneau international « tunnel » E11a



Signification du panneau « tunnel »

Selon la convention de Vienne relative à la circulation routière et ses avenants entrés en vigueur le 28 mars 2006, le panneau «tunnel» signifie que :

- il est interdit à tous les conducteurs de faire marche arrière et de faire demi-tour ;
- même si le tunnel est éclairé, tous les conducteurs doivent allumer leurs feux de route ou de croisement ;
- les conducteurs n'ont le droit d'arrêter ou de garer leur véhicule qu'en cas d'urgence ou de danger. Dans ce cas, ils doivent, dans la mesure du possible, utiliser les endroits indiqués prévus à cet effet ;
- en cas d'arrêt prolongé, le conducteur doit couper le moteur.

Application du panneau « tunnel »

Selon l'annexe I de la convention de Vienne relative aux panneaux et signaux routiers et ses avenants, entrés en vigueur le 28 mars 2006, le panneau «tunnel» indique une section de route traversant un tunnel et les règles particulières de circulation qui s'appliquent. Ce panneau est implanté au point à partir duquel s'appliquent ces règles.

Discussion

Premièrement le panneau « tunnel » n'est utilisé que dans un nombre limité de pays. L'Italie utilise le panneau présenté sur la **figure 13**. De nombreux pays utilisent des panneaux simplement pour demander aux conducteurs d'allumer leurs phares (**figure 14**).

Figure 13 : panneau italien signalant un tunnel



Figure 14 : panneau utilisé aux Pays Bas pour demander l'allumage des phares

- Le panneau « tunnel » de la convention de Vienne suggère un tunnel ancien.
- La signification du panneau « tunnel » est connue de très peu de monde.

the USA many tunnel owners have installed lettering with the tunnel name at the portals.)

Figure 12: The international tunnel sign E11a



Meaning of the tunnel sign

According to the Vienna Convention on Road Traffic and the amendments to it entered into force 28 March 2006 the meaning of the tunnel sign is that:

- All drivers are forbidden to reverse or to make a U-turn;
- Even if the tunnel is lit, all drivers must switch on the driving or passing lamps;
- Drivers are permitted to stop or park their vehicle only in case of emergency or danger. In doing so, they must, where possible, use the places special indicated;
- In case of a prolonged stoppage the driver must switch off the engine.

Application of the tunnel sign

According to Annex I of the Vienna Convention on Road Signs and Signals and the amendments to it, entered into force 28 March 2006, the tunnel sign indicates a section of road passing through a tunnel and on which special traffic rules apply. It is placed at the point from which these rules apply.

Discussion

Firstly the tunnel sign is used only in a limited number of countries. In Italy the sign shown in **figure 13** is used. Many countries only use signs to instruct the drivers to turn on their lights (**figure 14**).

Figure 13: The Italian sign to indicate a tunnel



Figure 14: Signs used in the Netherlands ordering to switch on the lights

- The Vienna tunnel sign suggests old-fashioned tunnels.
- The meaning of the tunnel sign is hardly known to anybody.



- La signification officielle du panneau « tunnel » est très limitée. Du point de vue des facteurs humains et de la sécurité des tunnels, il serait préférable que la signification soit mieux mise en valeur si elle comprenait : le comportement à adopter lors de l'entrée dans un tunnel et de la traversée de ce tunnel (allumage de la radio, retrait des lunettes de soleil, arrêt de toute conversation au téléphone portable, recherche des postes de secours et des issues de secours). La mention du comportement nécessaire dans les situations critiques serait également intéressante.
- Le panneau « tunnel » ne devrait toutefois pas être implanté à l'entrée, avec la longueur du tunnel et, si on le souhaite, le nom du tunnel etc. En effet, dans ce cas, un trop grand nombre d'informations pour les conducteurs sont données trop tard car ceux-ci doivent se concentrer sur la conduite.

Mesures complémentaires recommandées

- Mettre au point un panneau « tunnel » moderne applicable dans tous les pays.
- Elargir la signification du panneau international « tunnel » avec le comportement recommandé dans les dépliants de l'Union européenne relatifs au comportement dans les tunnels.
- Prendre des mesures pour garantir que les usagers connaissent la signification du panneau « tunnel ».
- Pour donner aux conducteurs le temps de se préparer à entrer dans le tunnel (retrait des lunettes de soleil, allumage de la radio, etc.), il est préférable que les informations pertinentes (tunnel en aval avec la longueur et le nom du tunnel) soient placées à une distance suffisante (si possible 200 m) avant la tête du tunnel. Il est souhaitable de répéter le panneau afin d'augmenter la probabilité que les conducteurs le remarquent.
- Pour implanter le panneau « tunnel » à une distance supérieure à 200 m de l'entrée du tunnel, il est nécessaire de modifier la convention de Vienne en ce qui concerne l'utilisation du panneau « tunnel » (paragraphe 13).

L'utilisation du panneau devrait être la suivante :

- (a) Le panneau E11a 'TUNNEL' indique une section de route **aboutissant à** et traversant un tunnel et sur laquelle s'appliquent des règles particulières de circulation. Il est suffisamment **éloigné de la tête du tunnel**.
- (b) Afin de prévenir les usagers de la route, le panneau E11a **doit (obligation et non recommandation)** être en outre implanté à une distance suffisante avant le point où s'appliquent les règles particulières ; ces panneaux doivent indiquer, soit dans leur partie inférieure soit sur un panneau supplémentaire H, 1, tel qu'il est décrit dans la section H de cette annexe, la distance entre le point où ils sont implantés et le point à partir duquel s'appliquent ces règles particulières de circulation.

- The official meaning of the tunnel sign is very limited. From a human factors and tunnel safety perspective it would be better if the meaning could be enhanced by including: the correct behaviour when entering the tunnel and driving through it (turn on the radio, take off your sun glasses, stop conversation over mobile phone, look for emergency stations and emergency exits). Inclusion of the required behaviour during critical situations would also be of benefit.
- However it is wrong for the tunnel sign to be placed at the entrance, with the length of the tunnel and, if desired, the name of the tunnel etc. This is too much information for the drivers and is given too late as they have to concentrate on the driving task at hand.

Recommended additional measures

- Develop a modern tunnel sign to be applied in all countries.
- Extend the meaning of the international tunnel sign with the behaviour recommended in the EU-leaflets on behaviour in tunnels.
- Take steps to ensure that users know the meaning of the tunnel sign.
- In order to give drivers enough time to prepare themselves to enter the tunnel (take off sun glasses, turn on radio, etc.) it is best if the relevant information (upcoming tunnel with length and name of the tunnel(s)) is placed at sufficient distance (if possible 200 m) before the tunnel portal. Preferably the sign must be repeated to increase the chance that drivers notice them.
- In order to place the tunnel sign at a distance of more than 200 m from the tunnel entrance it is necessary to change the Vienna Convention concerning the use of the tunnel sign (paragraph 13).

The use of the sign should be:

- (a) Sign E11a 'TUNNEL' indicates a section of road **leading to** and passing through a tunnel and on which special traffic rules apply. It is placed at a **sufficient distance from the tunnel portal**.
- (b) In order to warn road users in advance, sign E11a **should** be placed in addition at a suitable distance before the point where the special rules apply; such signs shall show, either in their lower part, or on an additional panel H1, as described in section H of this Annex, the distance between the point at which it is set up and the point from which these special rules apply.



Mesures minimales existantes concernant les autres informations avant l'entrée dans un tunnel

Réduction de la vitesse, respect de la distance de sécurité par rapport aux véhicules précédents, interdiction de dépasser pour les camions : la directive européenne contient des recommandations (analyse des risques, prise en compte de réductions de la vitesse et respect des distances de sécurité (règle des deux secondes et, en cas de circulation arrêtée, distance minimale de 5 m) mais ne précise pas comment l'utilisateur doit être informé.

Fréquences radio : la directive européenne stipule que des panneaux adaptés doivent être installés pour informer les usagers des tunnels sur la manière dont ils peuvent capter la radio. Aucun exemple de panneaux n'est proposé.

Discussion

Compte tenu de la capacité limitée des conducteurs à percevoir un trop grand nombre de panneaux routiers et à appliquer les consignes qu'ils fournissent, le système tunnel devrait être conçu de manière à ce qu'un minimum de panneaux supplémentaires soit nécessaire. En France, un des thèmes étudiés est la restructuration des informations routières présentées sur le contournement de Nice qui compte 8 tunnels. Des options sont en cours d'étude en coopération entre les exploitants des routes et des tunnels et les usagers des tunnels.

La discussion ci-dessous porte sur les éléments mentionnés avec les puces dans le paragraphe ci-avant sur les objectifs de l'information avant l'entrée dans un tunnel (début du § 4.5).

Réduction de la vitesse et contrôle automatique de la vitesse moyenne sur une section : le panneau C14 de la convention de Vienne sert normalement à indiquer la vitesse maximale autorisée (*figure 15*). Le contrôle-sanction de la vitesse maximale est un point de préoccupation. L'expérience montre que l'installation de radars entraîne souvent un freinage brutal. Les voitures suivantes sont surprises, ce qui provoque un risque accru de collisions en queue de bouchon.



Figure 15 : Panneau C14 de la convention de Vienne indiquant une limite de vitesse

Une mesure envisageable consiste à installer un système de mesure de la vitesse qui détecte les vitesses excessives et affiche une mise en garde : « Vous roulez à xx km/h » ou « Vous roulez trop vite » (*figure 16*).



Figure 16 : message à diodes électroluminescentes signifiant : vous roulez trop vite

Existing minimum measures concerning other information before entering a tunnel

Speed reduction, keeping distance to vehicles ahead, prohibition for trucks to overtake: The EU-Directive contains recommendations (risk analysis, consider speed reductions and maintaining distances (the two seconds rule, and in case of stopped traffic a distance of at least 5 m), but does not prescribe how to inform the users.

Radio frequencies: The EU-Directive says that appropriate signs shall be placed to inform tunnel users how to receive the radio. No examples for appropriate signs are proposed.

Discussion

In view of the limited capacity of drivers to perceive too great number of road signs and to execute the instructions given by them, the tunnel system should be designed such that a minimum of additional signs will be required. In France one of the themes under investigation is the restructuring of the road information presented on the Nice bypass, where there are 8 tunnels. Options are investigated in cooperation between road and tunnel operators and tunnel users.

The discussion below concerns the items mentioned under the bullets in the paragraph on the objectives of information before entering a tunnel (beginning of § 4.5).

Speed reduction and section speed control: The sign C14 of the Vienna Convention normally is used to indicate the maximum allowed speed (*figure 15*). The enforcement of maximum speed is a point of concern. Experience shows that when radar stations are installed this often leads to sudden braking. The following cars do not expect this to occur resulting in an increased likelihood of tail-back collisions.



Figure 15 : Sign C14 of the Vienna Convention indicating a speed limit

A possible measure is to install a speed measuring system that detects too high speeds and gives a warning sign: "You are driving xx km/h" or "You are driving too fast" (*figure 16*).



Figure 16: LED message meaning: You are driving too fast



Des expériences réalisées avec un contrôle automatique de la vitesse moyenne sur une section (sur laquelle la vitesse moyenne est calculée à partir du temps de trajet du véhicule entre deux caméras qui identifient la plaque d'immatriculation), à la fois sur routes à l'air libre et dans des tunnels, montrent que la plupart des conducteurs respectent la vitesse maximale et que la sécurité de la circulation est favorisée.



Figure 17 : exemple de panneaux avertissant les conducteurs de l'existence d'un contrôle automatique de la vitesse moyenne sur une section

Pour informer les conducteurs que leur voiture est identifiée à deux endroits de la route et que leur vitesse est établie par la mesure du temps de trajet entre ces points (la section), il faut installer des panneaux routiers spéciaux. La **figure 17** présente des exemples en Autriche et aux Pays Bas

Respect des distances de sécurité

La bibliographie référencée [45] donne une vue d'ensemble des réglementations et pratiques en matière de distances de sécurité en France et dans les pays européens. Il ressort des conclusions que les besoins des réglementations diffèrent d'un pays à l'autre. La plupart du temps, le choix est conditionné davantage par un équilibre entre des considérations de sécurité et de gestion de la circulation que par un calcul de la protection des usagers en cas d'incendie. Les moyens suivants pour faire appliquer le respect des distances de sécurité sont énumérés :

1. Panneaux d'information

- Mettre en place le panneau C10 de la convention de Vienne (**figure 18**).
- Utiliser des chevrons peints sur les voies de circulation ou des signes peints sur le marquage des voies.
- Utiliser des lumières bleues tous les x m lorsque la distance à respecter est de x m (**figure 6**).

Experiments with section or trajectory control (where the average driving speed is derived from the time span between the passages by a vehicle of two cameras, which identify the license plate), both on open roads and in tunnels show that most drivers obey the maximum speed limit and that traffic safety is promoted.



Figure 17: Examples of signs to warn drivers that there is section (TRAJECTORY) control

To make clear to the drivers that their car is identified at two points of the road and their speed is determined by means of measuring travelling times between these points (the section) special road signs have to be placed. **Figure 17** presents examples from Austria and from the Netherlands

Keeping distances when driving

In [45] an overview is presented concerning the interdistance regulations and practices in France and European countries. The conclusions are that the needs for regulations are differing from country to country. Most of the time the choice is determined more by a balance between considerations of safety and traffic management than by a calculation about users' protection in case of fire. The following means to enforce keeping distances are listed:

1. Information signs

- Present the sign C10 of the Vienna Convention (**figure 18**).
- Use chevrons painted on the traffic lanes or signs painted in the lane markings.
- Use blue lights every x m when the distance to be kept is x m (**figure 6**).



Figure 18 : panneau C10 de la convention de Vienne servant à indiquer la distance à respecter entre véhicules

2. Information et formation à l'aide de :

- dépliants distribués aux cabines de péage,
- messages de sécurité diffusés à la radio du tunnel,
- campagnes d'information.

3. Systèmes d'assistance des conducteurs comme :

- des systèmes de « passage au goutte à goutte » visant à laisser passer les véhicules un par un, espacés d'un intervalle de temps donné pour garantir une distance minimale entre les véhicules. Ces systèmes sont en particulier utilisés dans les tunnels avec cabines de péage, mais dans le tunnel du Gothard, un système de « passage au goutte à goutte » est aussi appliqué en particulier pour espacer le passage des poids lourds. Pour les tunnels du Mont Blanc et du Fréjus, un programme informatique sera mis au point pour tenir compte des différences de capacités d'accélération des camions et des voitures particulières ;
- (Futurs) systèmes embarqués comme le contrôle électronique de trajectoire ou le contrôle automatique de la conduite.

4. Systèmes de contrôle-sanction utilisant différentes technologies de caméras.

Fréquences radio

L'utilisation du panneau F14 est prévue par la convention de Vienne (figure 19). La figure 20 montre un autre panneau utilisé dans certains pays pour indiquer les fréquences radio des stations qui diffusent des informations sur la circulation.



Figure 19 : panneau F14 de la convention de Vienne indiquant la fréquence qui peut être captée dans le tunnel



Figure 20 : autre panneau utilisé pour indiquer les fréquences radio

Bien que ce problème puisse paraître mineur, il illustre le manque d'harmonisation.



Figure 18: Sign C10 of the Vienna Convention to indicate the distance to be maintained between vehicles

2. Information and education by means of:

- leaflets presented at toll booths,
- safety messages via the tunnel radio,
- information campaigns.

3. Driver assistance systems such as:

- “Drip” or “droplet” systems aiming at admitting vehicles one by one with a certain time interval to ensure minimum distance in between the vehicles. These are applicable especially in tunnels with toll booths, but also in the Gotthard tunnel a drip system is applied especially for metering HGV's. For the Mont Blanc and Fréjus tunnel a computer code will be developed to take account of the differences in acceleration rates of trucks and passenger cars.
- (Future) On board systems such as Active Cruise Control and Automatic Drive Control

4. Enforcement systems using various camera technologies.

Radio frequencies

The sign F14 is meant to be used by the Vienna Convention (figure 19). Figure 20 shows an alternative panel used in some countries to indicate radio frequencies of stations that emit traffic information.



Figure 19: Sign F14 of the Vienna Convention to indicate the frequency that can be received in the tunnel



Figure 20: Alternative panel used to indicate radio frequencies

Although this seems a minor problem it illustrates the lack of harmonisation.



Possibilité de vitres embuées : Cf. section suivante.

Possibilité de présence de brouillard à l'intérieur du tunnel : Cf. section suivante.

Mesures complémentaires recommandées

- Présenter tous les panneaux (permanents) à une distance suffisante (si possible 200 m) avant l'entrée du tunnel et **pas à la tête du tunnel**.
- Ne pas fournir un trop grand nombre d'informations sur un ou plusieurs panneaux au même endroit.
- Toutes les exigences relatives au tunnel devraient s'appliquer **à partir du point où les informations sont données**. Exemples : limite de vitesse, respect des distances de sécurité, mise en service de la radio (nécessite que le signal radio puisse aussi être reçu à l'extérieur du tunnel), allumage des feux, retrait des lunettes de soleil, etc. Les conducteurs peuvent ainsi respecter les exigences avant d'entrer dans le tunnel.
- Les panneaux peuvent être masqués par d'autres véhicules ou peuvent ne pas être vus pour d'autres raisons (défaut d'attention). Il est recommandé d'installer les panneaux avancés d'avertissement à une distance suffisante des panneaux marquant le début des obligations.
- Etant donné que les conducteurs peuvent porter leur attention sur autre chose ou que des informations peuvent être masquées par d'autres véhicules, les panneaux devraient être installés des deux côtés de la route (pour les tunnels unidirectionnels) et éventuellement aussi au-dessus de la route.
- Favoriser l'utilisation de signaux d'affection de voies et, si elles existent, allumer les flèches vertes dans les situations normales.
- Lorsque le comportement que doit adopter le conducteur est très différent du comportement normal sur la route (diminution de la vitesse par exemple) ou dans des conditions météorologiques particulières (risque de vitres embuées par exemple), il conviendrait d'attirer l'attention du conducteur par des signaux dynamiques ou clignotants. Cette opération devrait intervenir à une distance suffisante avant la tête du tunnel.
- En outre, la création d'un panneau international indiquant un contrôle de vitesse sur une section est recommandée.

Les **avantages** de ces propositions sont les suivants :

- les usagers de la route ne sont pas surpris par la présence d'un tunnel et ont suffisamment de temps pour allumer leurs phares, retirer leurs lunettes de soleil, etc. ;
- le nombre de panneaux installés à ou près de la tête du tunnel est limité, évitant ainsi de détourner l'attention des conducteurs qui est nécessaire pour une entrée en toute sécurité dans le tunnel.

Possibility of steamed up windows: See next section.

Possibility of fog inside the tunnel: See next section.

Recommended additional measures

- To present all (permanent) signs at sufficient distances (if possible 200 m) before the tunnel entrance and **certainly not at the tunnel portal**.
- Do not provide too much information on one or more signs or panels at the same place.
- All requirements in the tunnel should take effect **from the point where the information is given**. For instance: speed limitation, keeping distance, turning on the radio (this requires the radio signal can be received also outside of the tunnel), lights on, sunglasses off, etc. This enables drivers to comply with the requirements before entering the tunnel.
- Signs may be obstructed by other traffic or may be missed for other reasons (inattention). It is recommended to place advanced warning signs at sufficient distances from the place of the definite signs.
- As the drivers attention can be diverted or information can be hidden by other traffic the signs should be placed at both sides of the road (for uni-directional tunnels) and possibly also above the road.
- Promote the use of variable lane signs and, if available, switch on the green arrows in normal situations.
- When the required driver conduct is significantly different from the normal behaviour on the road (for instance speed reduction) or in specific weather situations (e.g. chance on steamed up windows) the attention of the driver should be attracted by dynamic or flashing signals. This should be done at sufficient distance before the tunnel portal.
- Furthermore it is recommended that an international sign be developed to indicate section speed control.

The **advantages** of these proposals are:

- Road users are not surprised by the presence of a tunnel and have enough time to switch on their lights, take off sun glasses etc.;
- The number of signs placed at or close to the tunnel portal will be limited, thus not distracting the drivers' attention which is necessary for safe entering the tunnel.

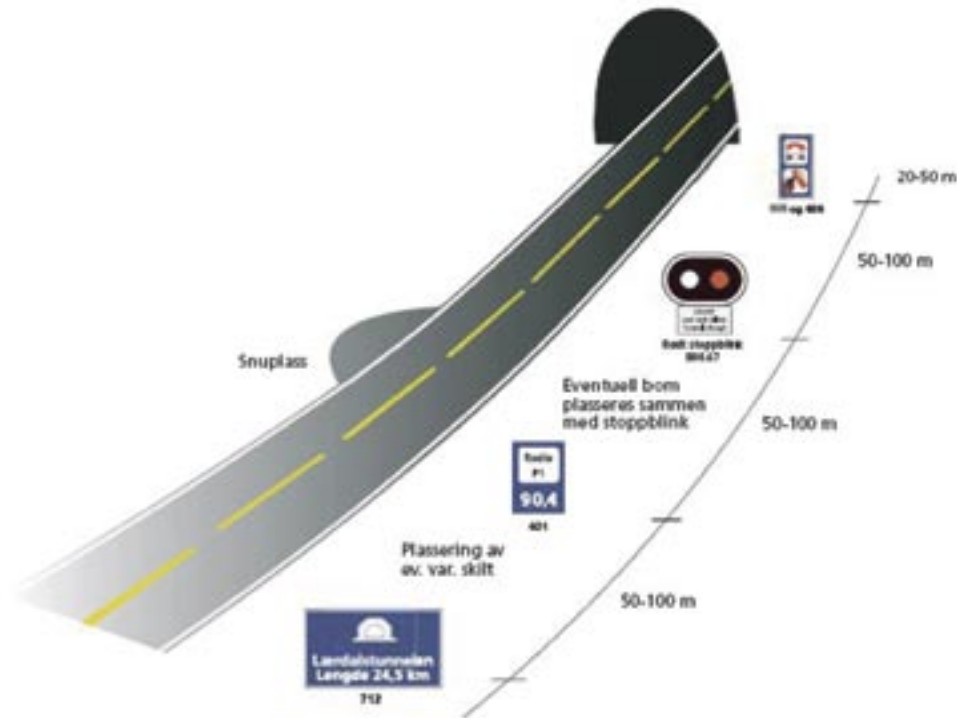


Figure 21 : exemple d'implantation de panneaux et signaux conformément aux textes norvégiens

À titre d'exemple, la **figure 21** présente la configuration des panneaux à l'approche d'un tunnel conformément aux textes norvégiens [34]. Dans de nombreuses situations, il n'est pas possible d'avoir une distance suffisante entre les panneaux. Dans ces cas, les distances doivent être les plus élevées possible, en fonction de la vitesse de référence et des circonstances locales.

► 4.6. PANNEAUX ET SIGNAUX INDICANT DES SITUATIONS DANGEREUSES LIÉES AUX CONDITIONS ATMOSPHÉRIQUES

Objectifs

Ces panneaux sont destinés à signaler :

- la formation brutale de buée sur les vitres lors de l'entrée dans un tunnel,
- la présence de brouillard et/ou de poussière à l'intérieur d'un tunnel,
- le vent latéral, la pluie, la glace ou le brouillard à la sortie d'un tunnel.

Mesures minimales existantes

Il n'existe aucune réglementation de ce type.

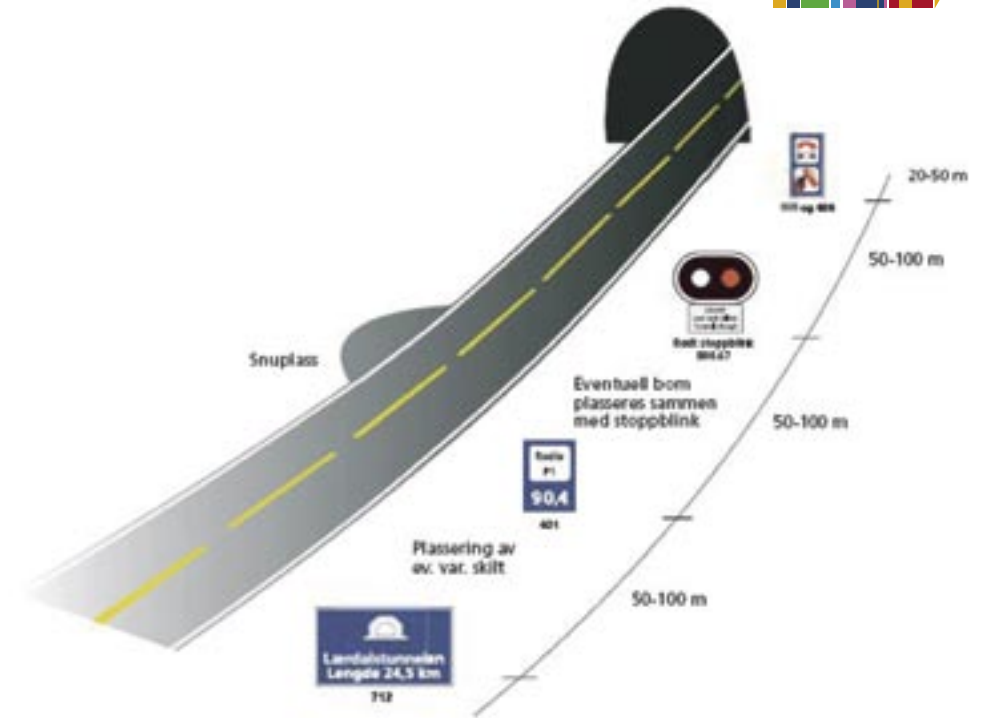


Figure 21: Example of disposition of signs and signals according to norwegian guidelines

As an example **figure 21** presents the lay-out of signs on the approach of a tunnel according to Norwegian guidelines [34]. In many situations it will not be possible to have sufficient distances between signs. In those cases the distances have to be as large as possible, depending on the design speed and the local circumstances.

► 4.6. SIGNS AND SIGNALS WARNING FOR DANGEROUS SITUATIONS RELATED TO ATMOSPHERIC CONDITIONS

Objectives

The objectives of such signs are to warn for:

- Abrupt window misting when entering a tunnel;
- Fog or/and dust inside a tunnel;
- Transverse wind, rain, ice or fog when driving out of a tunnel.

Existing minimum measures

There are no such regulations.



Discussion

La **figure 22** montre un panneau utilisé dans un projet en cours en Norvège. Nous donnons aussi ci-après des exemples d'autres panneaux indiquant des conditions atmosphériques particulières.

Figure 22 : panneau signalant l'embuage des vitres utilisé en Norvège



Figure 23 : panneau à texte utilisé à Hong Kong pour signaler la présence de brouillard



Figure 24a/b : mauvaise visibilité due au brouillard ou à la neige, panneau utilisé dans certains pays



Figure 25 : risque de présence de glace ou de neige sur la route, panneau utilisé dans certains pays



Mesures complémentaires recommandées

L'étude suisse [14] contient les recommandations suivantes pour les longs tunnels bidirectionnels :

- informer et former les conducteurs ;
- installer des panneaux de mise en garde statiques ou dynamiques ;
- réduire la vitesse lorsque les conditions météorologiques favorisent l'embuage du pare-brise ;
- installer un système de ventilation commandé par le point de rosée (garantissant l'entrée d'air extérieur dans les têtes de tunnel).

Discussion

Figure 22 shows a sign used in an ongoing project in Norway. Also examples of other signs warning for atmospheric conditions are shown below.

Figure 22: Possible sign to warn for window steaming as used in Norway



Figure 23: Worded sign used in Hong Kong to warn for fog



Figure 24a/b: Bad visibility due to fog or snow, sign used in some countries



Figure 25: Danger for ice or snow on the road, sign used in some countries



Recommended additional measures

The Swiss study [14] recommends for long bi-directional tunnels:

- Inform and train the drivers;
- Install static or dynamic warning signs;
- Reduce speed when the weather conditions are favourable for windshield fogging;
- Install a dew point controlled ventilation system (ensuring that outside air flows into the tunnel portals).



► 4.7. CONCEPTION DES TÊTES DE TUNNEL

Objectifs

La conception des têtes de tunnel devrait garantir que la transition entre l'extérieur et l'intérieur d'un tunnel est la plus progressive possible (largeur, éclairage, vitesse, guidage, etc.), que les conducteurs sont en mesure de se concentrer totalement sur l'entrée du tunnel, qu'ils ne modifient pas leur position longitudinale ou latérale de manière excessive et qu'ils se sentent détendus et en sécurité lorsqu'ils entrent dans le tunnel.

Mesures minimales existantes

La seule référence figurant dans la directive européenne au sujet de l'entrée des tunnels est une prescription selon laquelle tout changement du nombre de voies doit s'effectuer à une distance suffisante avant la tête de tunnel.

Discussion

L'entrée des tunnels est un point capital décrit dans les chapitres précédents. A partir de 200 m avant la tête de tunnel, les conducteurs fixent le trou sombre de la tête de tunnel et ne prêtent pas attention aux panneaux environnants. Les conducteurs adaptent aussi leur trajectoire aux changements de largeur de la route, avec une conduite demandant plus d'attention en cas de largeur limitée de la route.

La **figure 26** montre une tête de tunnel japonais (tirée de [35]) conçue selon le principe d'éviter les entrées étroites ainsi que les fortes luminances autour des têtes. Cependant, dans ce cas, certains usagers ont indiqué qu'ils préféreraient un petit trou sombre à un gros trou sombre.

Figure 26 : tête du tunnel japonais de Kanetsu



2008R17 ►

Mesures complémentaires recommandées

- Ne pas implanter les panneaux routiers aux têtes de tunnel.
- Si les largeurs de la chaussée et de la zone hors chaussée dans le tunnel et à l'approche du tunnel sont inférieures à celles de la route à l'air

► 4.7. DESIGN OF TUNNEL PORTALS

Objectives

The design of tunnel portals should ensure that the transition from outside to inside a tunnel is as smooth as possible (width, lighting, speed, steering etc.), that drivers are able to pay full attention to the tunnel entrance, that they do not change their longitudinal or lateral driving too much and that they feel relaxed and safe when entering the tunnel.

Existing minimum measures

The only reference in the EU-Directive with respect to the entrance of tunnels is a prescription that any change in the number of lanes shall occur at a sufficient distance in front of the tunnel portal.

Discussion

The entering of tunnel portals is a crucial point as is described in the previous chapters. From 200 m in front of the portal drivers fixate the dark hole of the tunnel portal and are not interested in the signs surrounding the portal. Drivers are also adapting the steering to changes in the width of the road, with more strenuous steering in case of limited road width.

Figure 26 shows a Japanese tunnel portal (copied from [35]) designed according to the philosophy of preventing narrow entries and high luminances around the portals. Here however some tunnel users reported they would prefer a small dark hole to a big dark hole.

Figure 26: Portal of Kanetsu tunnel in Japan



2008R17 ►

Recommended additional measures

- Do not place road signs at tunnel portals.
- If the width of the carriageway and off-carriageway area in the tunnel and in the approach to the tunnel is less than on the open



► 4.7. CONCEPTION DES TÊTES DE TUNNEL

Objectifs

La conception des têtes de tunnel devrait garantir que la transition entre l'extérieur et l'intérieur d'un tunnel est la plus progressive possible (largeur, éclairage, vitesse, guidage, etc.), que les conducteurs sont en mesure de se concentrer totalement sur l'entrée du tunnel, qu'ils ne modifient pas leur position longitudinale ou latérale de manière excessive et qu'ils se sentent détendus et en sécurité lorsqu'ils entrent dans le tunnel.

Mesures minimales existantes

La seule référence figurant dans la directive européenne au sujet de l'entrée des tunnels est une prescription selon laquelle tout changement du nombre de voies doit s'effectuer à une distance suffisante avant la tête de tunnel.

Discussion

L'entrée des tunnels est un point capital décrit dans les chapitres précédents. A partir de 200 m avant la tête de tunnel, les conducteurs fixent le trou sombre de la tête de tunnel et ne prêtent pas attention aux panneaux environnants. Les conducteurs adaptent aussi leur trajectoire aux changements de largeur de la route, avec une conduite demandant plus d'attention en cas de largeur limitée de la route.

La **figure 26** montre une tête de tunnel japonais (tirée de [35]) conçue selon le principe d'éviter les entrées étroites ainsi que les fortes luminances autour des têtes. Cependant, dans ce cas, certains usagers ont indiqué qu'ils préféreraient un petit trou sombre à un gros trou sombre.

Figure 26 : tête du tunnel japonais de Kanetsu



2008R17 ►

Mesures complémentaires recommandées

- Ne pas implanter les panneaux routiers aux têtes de tunnel.
- Si les largeurs de la chaussée et de la zone hors chaussée dans le tunnel et à l'approche du tunnel sont inférieures à celles de la route à l'air

► 4.7. DESIGN OF TUNNEL PORTALS

Objectives

The design of tunnel portals should ensure that the transition from outside to inside a tunnel is as smooth as possible (width, lighting, speed, steering etc.), that drivers are able to pay full attention to the tunnel entrance, that they do not change their longitudinal or lateral driving too much and that they feel relaxed and safe when entering the tunnel.

Existing minimum measures

The only reference in the EU-Directive with respect to the entrance of tunnels is a prescription that any change in the number of lanes shall occur at a sufficient distance in front of the tunnel portal.

Discussion

The entering of tunnel portals is a crucial point as is described in the previous chapters. From 200 m in front of the portal drivers fixate the dark hole of the tunnel portal and are not interested in the signs surrounding the portal. Drivers are also adapting the steering to changes in the width of the road, with more strenuous steering in case of limited road width.

Figure 26 shows a Japanese tunnel portal (copied from [35]) designed according to the philosophy of preventing narrow entries and high luminances around the portals. Here however some tunnel users reported they would prefer a small dark hole to a big dark hole.

Figure 26: Portal of Kanetsu tunnel in Japan



2008R17 ►

Recommended additional measures

- Do not place road signs at tunnel portals.
- If the width of the carriageway and off-carriageway area in the tunnel and in the approach to the tunnel is less than on the open



libre, ces modifications devraient être mises en œuvre très en amont de la tête de tunnel et être les plus progressives possible. La distance entre chaque modification devrait être au minimum égale à la distance parcourue en 10 secondes à la vitesse normale.

- Autres points sur lesquels doit porter l'attention : conception architecturale de la tête de tunnel, position de la tête par rapport au soleil, environnement général de la tête, éclairage de la section du tunnel au-delà de l'entrée, marquage net des voies de circulation et revêtement clair (blanc) du tunnel. Des travaux de recherche autrichiens montrent que les têtes de tunnel aux couleurs claires et en forme d'entonnoir (entrée du tunnel D sur la **figure 5**) donnent aux conducteurs une sensation maximale de sécurité et de guidage.
- Le marquage des bords de la route par des diodes électroluminescentes¹ sur des distances de 150 m avant et 150 m après la tête de tunnel peut être jugé positif par les usagers, comme cela a été le cas en Norvège.
- En général, il est recommandé de tester la conception de nouvelles têtes de tunnel avec des études sur simulateur de conduite.

► 4.8. CONCEPTION DE LA GÉOMÉTRIE DE LA SECTION TRANSVERSALE

Objectifs

Les objectifs de la conception géométrique de la section transversale devraient être la traversée sûre et confortable des tunnels.

Mesures minimales existantes

La directive européenne contient des prescriptions relatives à la géométrie (nombre de tubes et de voies, déclivités, etc.).

Mesures complémentaires recommandées

- Les documents de l'AIPCR Géométrie de la section transversale des tunnels routiers à circulation unidirectionnelle [37] et Conception de la section transversale des tunnels routiers bidirectionnels [38] contiennent des informations exhaustives. De manière générale, il faut trouver un équilibre entre la sécurité et les coûts.
- Du point de vue des facteurs humains, il est important de savoir qu'une largeur de la zone hors chaussée de l'ordre de 1,50 m (selon la vitesse du véhicule) est considérée comme confortable [27]. De préférence, cette bande revêtue devrait avoir la largeur d'une bande d'arrêt d'urgence. Étant donné que cela est souvent d'un rapport coût-efficacité défavorable, certains textes nationaux exigent l'élaboration d'un modèle d'aide à la décision pour valider la conception finale.

road these changes should be implemented long before the tunnel portal and as smoothly as possible. The distance between each change should be at least the distance covered in 10 seconds at the driving speed.

- Other points of attention are: architectural design of the tunnel portal, the position of the portal with respect to the sun, background of the portal, lighting of the tunnel section beyond the entry, clear traffic lane markings and light tunnel (white) cladding. According to Austrian research tunnel portals with light colours and with a certain funnel shape (tunnel entrance D in **figure 5**) give the greatest sensation of safety and guidance to drivers.
- The marking of the edges of the road by means of LED's over distances 150 m in front of and 150 m past the tunnel portal may positively rated by the users, as was the case in Norway.
- In general it is recommended to test the design of new tunnel portals with driving simulator studies.

► 4.8. GEOMETRIC CROSS SECTION DESIGN

Objectives

The objectives of the geometric cross section design should be the safe and comfortable passage through tunnels.

Existing minimum measures

The EU-Directive contains prescriptions as to the geometry (number of tubes and lanes, gradients etc.).

Recommended additional measures

- The PIARC documents Cross Section Geometry in Unidirectional Road Tunnels [37] and Cross Section Design for Bi-Directional Road Tunnels [38] contain exhaustive information. In general a balance has to be found between safety and costs;
- From a human factors perspective it is important to realise that a width of the off-carriageway area of about 1.50 m (depending on the driving speed) is considered comfortable [27]. For preference this hard strip should be as wide as an emergency lane. Since this is frequently not cost effective, some national guidelines require that a decision support model is constructed to validate the final design.

¹DEL (ou LED en anglais)



► 4.9. CONCEPTION DE L'INTÉRIEUR

Objectifs

Les objectifs de conception de l'intérieur des tunnels sont la traversée sûre et confortable des (très longs) tunnels. Outre la conception géométrique, mentionnée dans l'étape précédente, la conception de l'intérieur est liée à des aspects qui influencent également la sensation de sécurité. Ce sont en particulier une bonne visibilité (afin d'orienter la position de la voiture par rapport aux voies de circulation et aux autres véhicules), le bruit et la distance qui reste à parcourir.

Mesures minimales existantes

La directive européenne contient des exigences relatives à l'éclairage des tunnels pour garantir une bonne visibilité. Pour les tunnels de plus de 3000 m, il est prescrit d'indiquer tous les 1000 m la distance restant à parcourir.

Discussion

- La phrase : « Pour les tunnels de plus de 3000 m, il faut indiquer tous les 1000 m la distance restant à parcourir » figurant dans la directive européenne ne précise pas comment cette indication doit être donnée.
- La sécurité subjective des tunnels est conditionnée en grande partie par la conception de l'intérieur. On sait que les longs tunnels monotones augmentent la sensation d'inconfort. Il est toutefois difficile de trouver des liens entre la sécurité objective et la conception de l'intérieur. De plus, il a été démontré que les usagers des tunnels ont du mal à estimer la distance qu'ils ont parcourue dans le tunnel.
- Il peut être utile de rappeler aux conducteurs les éventuelles règles particulières de conduite qui s'appliquent à ce tunnel.

Mesures complémentaires recommandées

- Afin d'indiquer la longueur du tunnel restant à parcourir, il est proposé d'utiliser le panneau «tunnel» et de remplacer la longueur du tunnel par la longueur restante.
- Il est également recommandé d'indiquer la distance déjà parcourue (*figure 27*).
- prêter attention à la peinture des piédroits (claire !!) et du plafond (foncée !!) des tunnels comme le montre la *figure 28*.
- Installer des points de repère supplémentaires autres que ceux mentionnés dans la directive européenne pour l'orientation (par exemple images reproduisant les caractéristiques au-dessus du tunnel ou repères artistiques).
- Afin d'obtenir le comportement souhaité des conducteurs, il peut être nécessaire de répéter les panneaux situés sur la route d'accès au tunnel, par exemple limitation de vitesse, respect des distances de sécurité, interdictions de dépassement, etc.

► 4.9. INTERIOR DESIGN

Objectives

The objectives of tunnel interior design are the safe and comfortable passage of (very long) tunnels. Apart from the geometrical design, referenced in the previous section, interior design relates to aspects which also influence the feelings of safety. These include good visibility (in order to orientate the position of the car with respect to the traffic lanes and other traffic), noise and the distance yet to be travelled.

Existing minimum measures

The EU-Directive contains requirements concerning tunnel lighting to ensure appropriate visibility. And it is prescribed for tunnels over 3000 m to indicate every 1000 m the distance yet to be covered.

Discussion

- The sentence: “For tunnels over 3000 m. the remaining length of the tunnel shall be indicated every 1000 m” in the EU-Directive does not make clear how this should be indicated.
- The subjective safety of tunnels is determined for a great deal by the interior design. It is known that long monotonous tunnels increase the feelings of discomfort. It is however difficult to find relations between objective safety and interior design. Additionally it has been shown that it is difficult for tunnel users to estimate how far they have driven in the tunnel.
- It may be of use to remind drivers of any special driving rules that apply to that tunnel.

Recommended additional measures

- In order to indicate the length of the tunnel to be covered it is proposed to use the tunnel sign and to substitute the length of the tunnel with the remaining length.
- It is also recommended to indicate the distance already covered (*figure 27*).
- Pay attention to the painting of the walls (light!!) and ceiling (dark!!) of tunnels such as shown in *figure 28*.
- Place additional landmarks others than mentioned in the EU-Directive for orientation (e.g. images which reflect characteristics above the tunnel or artistic landmarks).
- In order to obtain the desired behaviour of the drivers it might be necessary to repeat signs shown at the approach road to the tunnel. For instance speed limitation, keeping distance, overtaking prohibitions etc.



- La fourniture d'informations au sujet de la présence de virages et de déclivités sur la chaussée en aval et l'indication du mode de conduite optimal peuvent permettre d'éviter les situations contraires à la sécurité.



Figure 27 : exemple norvégien d'indication de la longueur de tunnel restant à parcourir et de la distance déjà parcourue



Figure 28 : intérieur d'un tunnel norvégien avec éclairage permettant de se repérer

► 4.10. GUIDAGE DE LA CIRCULATION

Objectifs

Un guidage de la circulation sûr signifie que les conducteurs peuvent connaître la route suffisamment à l'avance pour conduire facilement et en toute sécurité.

Mesures minimales existantes

La directive européenne indique qu'une délimitation horizontale devrait être utilisée au bord de la chaussée et que, dans le cas des tunnels bidirectionnels, des moyens clairement visibles devraient être utilisés le long de la ligne médiane.

Discussion

Guidage visuel : en règle générale, les voies de circulation possèdent un marquage à la peinture blanche ou thermoplastique. Des peintures réfléchissantes et des plots rétro réfléchissants peuvent rendre le marquage plus visible. Le tracé des voies de circulation peut en outre être mis en évidence par l'éclairage longitudinal.

- By providing information about the presence of curves and gradients in the carriageway ahead and by indication of the most optimal driving behaviour, unsafe situations may be avoided.



Figure 27: Norwegian example of indication of the remaining length of tunnel and the distance already covered



Figure 28: Tunnel interior of a Norwegian tunnel with orientation lighting

► 4.10. TRAFFIC GUIDANCE

Objectives

Safe traffic guidance means that drivers can survey the way ahead in time to easily and safely perform the steering task.

Existing minimum measures

The EU-Directive says that horizontal delineation should be used at the roadside edge and in the case of bi-directional tunnels clearly visible means should be used along the median line.

Discussion

Visual Guidance: Usually traffic lanes are marked with white paint or thermoplastic markings. Light reflecting paints as well as "cat eyes" can make the markings more visible. The alignment of the traffic lanes can additionally be made clear by longitudinal lighting.



Certains textes nationaux prescrivent l'utilisation de réflecteurs ou de diodes électroluminescentes sur les bordures de trottoirs ou sur des bornes dans la zone hors chaussée pour un meilleur guidage. Ainsi, le tracé des routes à l'air libre est mis en évidence, en particulier si la route n'est pas éclairée. Par conséquent, ces réflecteurs ou diodes électroluminescentes peuvent être importants, en particulier lorsque l'éclairage dans le tunnel est médiocre, voire inexistant. Il faut noter que l'utilisation de diodes électroluminescentes nécessite une bonne maintenance pour qu'elles conservent leur efficacité.

Il n'existe actuellement aucune uniformité dans l'utilisation des couleurs des réflecteurs et des diodes électroluminescentes. Les couleurs utilisées pour indiquer la droite ou la gauche sont inversées dans certains pays. Par exemple, dans le tunnel grec bidirectionnel présenté sur la [figure 29 page suivante](#), le côté droit est marqué par des réflecteurs et/ou des diodes rouges en harmonie avec les feux rouges des véhicules dans le sens de déplacement et le côté droit est marqué par des réflecteurs et/ou diodes blancs en harmonie avec les feux blancs des véhicules circulant en sens inverse. Ce codage de couleurs est parfois utilisé dans les tunnels unidirectionnels, ce qui peut être source de confusion en laissant penser que des véhicules circulent en sens contraire. Sur les routes à péage françaises et italiennes, des réflecteurs jaunes/orange sont installés des deux côtés de la chaussée (unidirectionnelle).

Une autre manière d'améliorer le guidage fourni par la route est l'utilisation permanente de l'éclairage d'évacuation comme l'illustre la [figure 30 page suivante](#).

Dans les tunnels du Mont Blanc et du Fréjus, un guidage visuel est assuré par des lumières jaunes à une hauteur d'1,5 m des deux côtés du tunnel ([figure 6](#)). Ces lumières sont principalement destinées à guider les usagers des tunnels vers les issues de secours et servent également à fournir un guidage routier aux automobilistes.

Guidage sonore : les marquages de voies équipés de bandes rugueuses avertissent les conducteurs lorsqu'ils passent sur un marquage de voie. Cet équipement peut être considéré comme une mesure corrective. Il faut noter que le bruit peut occasionner une gêne pour les personnes habitant à proximité des têtes de tunnel.

Mesures complémentaires recommandées

- Il faudrait parvenir à un accord international sur les couleurs à utiliser pour indiquer la zone hors chaussée des routes à l'aide de réflecteurs ou de diodes électroluminescentes.
- Surtout lorsque la zone hors chaussée est réduite, des petits réflecteurs ou des diodes électroluminescentes peuvent fournir un guidage satisfaisant, en particulier dans la zone d'entrée.

Some national guidelines prescribe the use of reflectors or LED's on the kerbs of the walkway or on bollards in the off-carriageway area for better guidance. In this way the alignment of open roads is made clear, especially if the road is not illuminated. It follows that such reflectors or LED's might be of importance especially when lighting in the tunnel is poor or absent. It should be noted that the use of LED's requires good maintenance in order to remain effective.

There is, as yet, no uniformity in the use of the colours of the reflectors nor of the LED's. Colours used to indicate the right hand side or the left hand side are opposite in some countries. For example in the bi-directional Greek tunnel shown in [figure 29 following page](#), the right hand side is marked with red reflectors and/or LEDs in accordance with the red rear lights of the traffic in the driving direction and the left side with white ones in accordance with the front lamps of oncoming traffic. This colour coding is sometimes used in unidirectional tunnels, which may lead to confusion about approaching traffic. On toll routes in France and Italy yellow/orange reflectors are placed at both sides of the (unidirectional) carriageway.

Another way to improve the guidance that the road provides is the permanent use of evacuation lighting as illustrated in [figure 30 following page](#).

In the Mont Blanc and Fréjus tunnels visual guidance is offered by yellow lights at a height of 1,5 m. at both sides of the tunnel ([figure 6](#)). These lights are primarily intended to guide tunnel users to emergency exits though they also serve to provide road guidance to motorists.

Audible guidance: Lane markings equipped with rumble strips warn drivers when they cross a lane marking. This can be considered as a corrective measure. It must be noted that the noise may cause disturbance to people living in the area of the portals.

Recommended additional measures

- International agreement should be reached on the colours to be used to indicate the verges of the roads by means of reflectors or LED's.
- Especially when the off-carriageway is small reflectors or LED's may provide good guidance, especially in the entrance zone.



- Afin d'avertir les conducteurs qu'ils ont franchi un marquage de voie, ces marquages peuvent être munis de bandes rugueuses.

- In order to warn drivers that they have crossed an edge lane marking these lane markings could be provided with rumble strips.

Figure 29 : réflecteurs et diodes électroluminescentes dans un tunnel grec

Figure 29: Reflectors and LEDs in a Greek tunnel

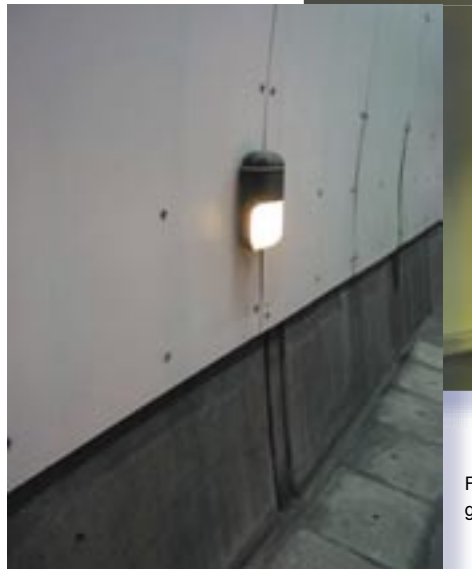


Figure 30 : éclairage permanent d'évacuation utilisé pour le guidage routier dans un tunnel espagnol

Figure 30: Permanent evacuation lighting used for road guidance in Spanish tunnel