



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

Figure 29 : réflecteurs et diodes électroluminescentes dans un tunnel grec



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

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

5. MESURES SUPPLÉMENTAIRES RECOMMANDÉES POUR ÉVITER L'AGGRAVATION DE CONDITIONS DE CIRCULATION CRITIQUES DANS LES TUNNELS ROUTIERS

5.1. INTRODUCTION

Le chapitre 5 étudie les mesures destinées à empêcher l'aggravation de conditions de circulation critiques. Ces mesures sont le résultat de la prise en compte :

- des observations des usagers des tunnels décrites dans le chapitre 3 (congestion, panne, accident et incendie),
- des outils disponibles pour informer ou avertir les usagers des tunnels de la situation,
- des outils dont disposent les usagers des tunnels pour prendre contact avec le poste de contrôle ou les services de secours et pour éteindre un incendie,
- des outils servant à alerter les usagers des tunnels pour qu'ils procèdent à l'évacuation et des outils servant à l'évacuation.

5. RECOMMENDED ADDITIONAL MEASURES TO PREVENT ESCALATION OF CRITICAL TRAFFIC CONDITIONS IN ROAD TUNNELS

5.1. INTRODUCTION

Chapter 5 considers measures to prevent escalation of critical traffic conditions. The measures are the result of considering:

- the observations of the tunnel user as described in chapter 3 (congestion, breakdown, accident and fire),
- tools available to inform or warn tunnel users about the situation,
- tools available for tunnel users to contact the control station or rescue service and to extinguish a fire,
- tools to alert tunnel users to evacuate and tools to enable evacuation.



Les modèles de traitement humain de l'information et de comportement humain dans les situations dangereuses ont joué un rôle important dans l'élaboration des mesures.

Les mesures suivantes sont prises en compte :

- Formation et information (chapitre 5.2)
- Panneaux et signaux routiers dans les situations critiques (chapitre 5.3)
- Emplacements d'arrêt d'urgence et postes de secours (chapitre 5.4)
- Outils de communication polyvalents :

- 1.Rediffusion de stations de radio (chapitre 5.5)
- 2.Systèmes de sonorisation (chapitre 5.6)
- 3.Téléphones mobiles (chapitre 5.7)

- Outils servant au processus d'évacuation :

- 1.Equipements servant à alerter les usagers des tunnels (chapitre 5.8)
- 2.Issues de secours (chapitre 5.9)
- 3.Zones après les issues de secours (chapitre 5.10)
- 4.Dégagement de la voie de dépassement dans le tube non touché (chapitre 5.11)

N.B. : la publication de l'AIPCR relative aux systèmes de gestion d'incidents de la circulation utilisés dans les tunnels routiers [39] présente une étude exhaustive des systèmes techniques possibles connus en 2004.

► 5.2. FORMATION ET INFORMATION

Objectifs

L'objectif de la formation et de l'information est un comportement adapté dans les tunnels dans les situations critiques. Cela signifie non seulement qu'il faut maintenir une distance importante par rapport aux véhicules précédents en cas de congestion, garer sa voiture sur un emplacement d'arrêt d'urgence ou sur la zone hors chaussée en cas de panne, mais aussi savoir comment alerter le poste de contrôle du tunnel ou les équipes d'intervention en cas d'accident et d'incendie et savoir comment réagir en cas d'alarme d'évacuation.

Mesures minimales existantes

La directive européenne demande aux pays membres d'organiser des campagnes d'information portant sur le comportement correct des usagers de la route dans les situations normales et les situations critiques.

In the development of the measures the models of human information processing human behaviour in dangerous situations have played a major role.

The following measures are considered:

- Education and information (section 5.2)
- Road signs and signals in critical situations (section 5.3)
- Lay-bys and emergency stations (sections 5.4)
- Multi-purpose communication tools:

- 1.Radio re-broadcasting (section 5.5)
- 2.Public Address systems (section 5.6)
- 3.Mobile phones (section 5.7)

- Tools to accommodate the evacuation process:

- 1.Equipment to alert tunnel users (section 5.8)
- 2.Emergency exits (section 5.9)
- 3.Behind the emergency exits (section 5.10)
- 4.Clearing the overtaking lane in the unaffected tube (section 5.11)

N.B.: The PIARC publication of traffic incident management systems used in road tunnels [39] presents a comprehensive survey of possible technical systems, known in 2004.

► 5.2. EDUCATION AND INFORMATION

Objectives

The objective of education and information is appropriate behaviour in tunnels during critical situations. This not only means keeping long distance to vehicles ahead in case of congestion, parking one's car in a lay-by or on the off-carriageway in case of breakdown but also knowing how to alert the tunnel control or intervention teams in case of accidents and fires and knowing how to respond on evacuation alarms.

Existing minimum measures

The EU-Directive instructs member nations to organise information campaigns covering the correct behaviour of road users in both normal and critical situations.



31a



31b

Figure 31a/b : stand d'information d'un tunnel japonais montrant le contenu du poste de secours

Discussion

Il est déjà difficile de faire comprendre à tous les usagers des tunnels qu'il existe des règles spéciales pour la conduite dans un tunnel. Il est encore plus difficile de leur faire comprendre que de nombreux tunnels contiennent des installations spéciales destinées à aider les usagers des tunnels en cas d'accident. Etant donné que, fort heureusement, la plupart des conducteurs ne sont pas confrontés à des situations critiques dans les tunnels, il est difficile de développer un comportement reposant sur les compétences et sur les règles dans ces situations. C'est pourquoi il est capital

qu'au minimum certains usagers des tunnels possèdent de bonnes connaissances de ce qui peut et doit être fait dans les situations critiques.

A titre d'exemple de la manière de parvenir à ce résultat, la **figure 31** montre un panneau d'information présentant les dispositifs de sécurité dans un tunnel japonais. De plus, les équipements présents dans les postes de secours sont mis à la disposition du public.

Sur le site internet des clubs automobiles nationaux de l'Union européenne, des outils interactifs permettent aux usagers des tunnels de découvrir la réaction adaptée en cas d'événement critique.

Figure 31a/b: Information stand Japanese tunnel showing the content of emergency boxes

Discussion

It already is difficult to make clear to all tunnel users that there are special rules when driving in a tunnel. It is even more difficult to make clear to them that many tunnels contain special dedicated installations to help tunnel users in case of accidents. As, fortunately, most drivers are not confronted with critical situations in tunnels, it is difficult to develop skill based and rule based behaviour in these situations. That is why it is of crucial importance that there are at least some tunnel users with a good insight in what could and should be done in critical traffic situations.

As an example how this could be reached **figure 31** shows an instructive board with safety arrangements in a Japanese tunnel. Moreover equipment, present in the emergency stations, is at disposition to the public.

On the websites of the national automobile associations in the EU interactive tools enable tunnel users to get insight in the proper reaction in case of a critical event.



31a



31b



Mesures complémentaires recommandées

- Promouvoir la visite des sites internet pertinents par les usagers de la route afin de tester leur capacité à faire face à des situations critiques dans les tunnels lorsqu'ils empruntent des tunnels inconnus.
- Inclure dans les leçons de conduite et l'examen du permis de conduire, que les conducteurs doivent savoir faire face à des situations critiques. L'utilisation d'outils interactifs comme des simulateurs peut apporter des avantages considérables.
- Les conducteurs professionnels devraient bénéficier de stages de formation et de remise à niveau car ils pourraient adopter le comportement correct et donner un exemple que les autres conducteurs suivraient.

► 5.3. PANNEAUX ET SIGNAUX ROUTIERS SUR LA ROUTE D'ACCÈS À UN TUNNEL ET DANS UN TUNNEL EN CAS DE CONGESTION, FERMETURE DE VOIES OU FERMETURE TOTALE DU TUNNEL

Objectifs

Ces panneaux sont destinés à avertir les usagers des tunnels qu'ils doivent ralentir en cas de congestion ou que des voies de circulation ou le tunnel tout entier sont fermés.

Mesures minimales existantes

La directive européenne prescrit la fermeture immédiate de tous les tubes de tunnel concernés en cas d'accident ou incident grave, ainsi que les équipements minimaux obligatoires ou recommandés (feux de circulation avant l'entrée, panneaux à messages variables, haut-parleurs et barrières).

Il est également obligatoire de communiquer aux usagers des tunnels les itinéraires de remplacement en cas de fermeture d'un tunnel.

Discussion

Il n'est pas toujours nécessaire de fermer un tunnel dans une situation critique. En cas de congestion, un système de gestion de la circulation peut détecter des irrégularités du niveau de trafic et afficher les recommandations ou réglementations qui conviennent en matière de vitesse avec les signaux des voies. La cause des irrégularités peut également être indiquée à l'aide de pictogrammes (*figure 32*).



Figure 32 : panneaux proposés pour signaler une remontée de queue, un accident

Dans les cas où la fermeture d'une voie ou d'un tube de tunnel est impérative, le texte allemand relatif aux installations et à l'exploitation des tunnels, RABT [42],

Recommended additional measures

- Promote the idea that road users visit the relevant websites to test their ability to cope with critical situations in tunnels when they are about to travel and pass unknown tunnels.
- In driving lessons and driving license examination include that drivers know how cope with critical situations. Interactive tools like simulators may be used to considerable benefit.
- Professional drivers should get proper training and refreshing courses as they could show the correct behaviour and hopefully provide a lead that others will follow.

► 5.3. ROAD SIGNS AND SIGNALS ON THE APPROACH ROAD TO A TUNNEL AND IN A TUNNEL IN CASE OF CONGESTION, CLOSURE OF LANES OR COMPLETE CLOSURE OF THE TUNNEL

Objectives

The objectives of such signs are to warn tunnel users to slow down in case of congestion or to warn them for the closure of traffic lanes or the complete closure of the tunnel.

Existing minimum measures

The EU-Directive prescribes the immediate closure of all appropriate tunnel tubes in case of a serious accident or incident, as well as the minimum required or recommended equipment (traffic signals before the entrance, variable message signs, loudspeakers and barriers).

Also it is obligatory to inform tunnel users about alternative routes in the event of a tunnel closure.

Discussion

It is not always necessary to close a tunnel in a critical situation. In case of congestions a traffic management system can detect irregularities in the traffic flow and display proper speed recommendations or regulations along with lane signals. The cause of the irregularities can also be shown by means of pictograms (*figure 32*).



Figure 32: Proposed signs to warn for a tailback, accident

For the cases in which a tunnel lane or a tunnel tube has to be closed, the German guidelines for installations and operation of tunnels, RABT [42], contain a detailed



contient une prescription détaillée de la manière dont il faut signaler les consignes de circulation pour trois niveaux de signalisation : niveau de signalisation minimal, niveau de signalisation de base et niveau de signalisation étendu. Ce niveau est conditionné par la longueur du tunnel, le niveau de trafic et la vitesse autorisée.

La **figure 33** montre tous les panneaux routiers possibles pour les différents cas du niveau de signalisation étendu, à la fois sur la route d'accès au tunnel et à l'intérieur du tunnel, ainsi qu'au-delà de la sortie du tunnel. Pour les niveaux inférieurs, le nombre de panneaux et les distances sont réduits.

prescription of how to indicate traffic instructions for three levels of signing: lowest signing level, basic signing level and extended signing level. The level is determined by the length of the tunnel, the traffic intensity and the permissible speed.

Figure 33 shows all possible road signs for the various cases of the extended level of signing, both on the approach road to the tunnel and inside the tunnel, as well as beyond the tunnel exit. For lower levels the number of signs and the distances are reduced.

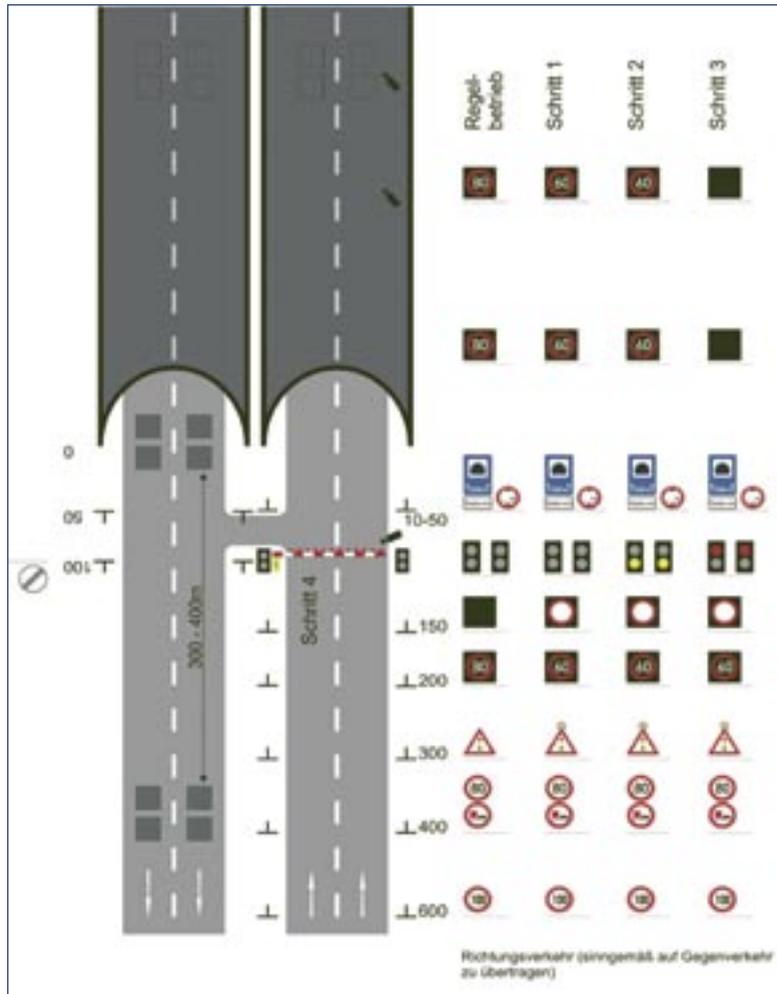


Figure 33 : panneaux et signalisation possibles pour la circulation normale, des voies fermées ou la fermeture totale d'un tunnel selon le texte allemand RABT 2006

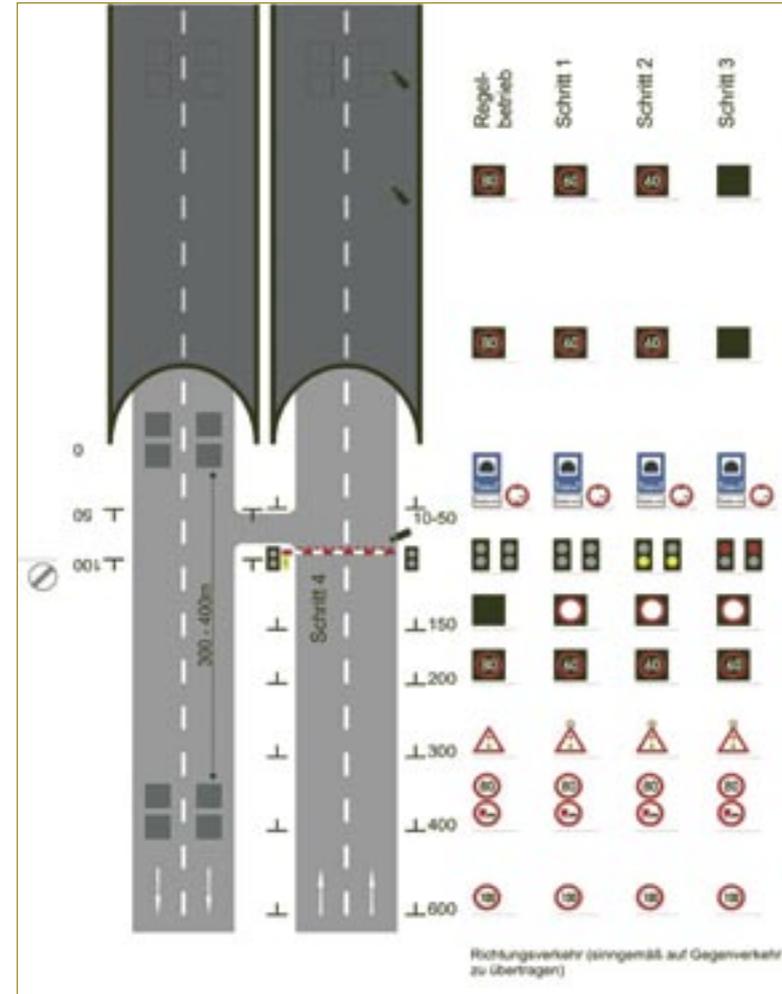


Figure 33: Possible signing and signalling for normal traffic, closed lanes or complete closure of a tunnel according to the GERMAN RABT2006



Cette signalisation est conforme aux connaissances que l'on a de la perception humaine des panneaux routiers : répétition et argumentation des panneaux. Le seul aspect qui diverge par rapport aux facteurs humains est le fait que les panneaux pour la radio, l'allumage des feux et la hauteur limite sont implantés à la tête de tunnel.

De plus, le RABT contient des spécifications sur la manière de passer d'une configuration des panneaux routiers à l'autre. La **figure 34** donne un exemple de procédure de fermeture d'un tunnel.

This signing is in line with what is known about human perception of road signs: repetition and argumentation of the signs. The only aspect that diverges with human factors is that the signs for radio, lights on and height limitation are placed at the tunnel portal.

Moreover the RABT contains prescriptions on how to switch from one configuration of road signs to the other. As an example the procedure to close a tunnel is in **figure 34**.

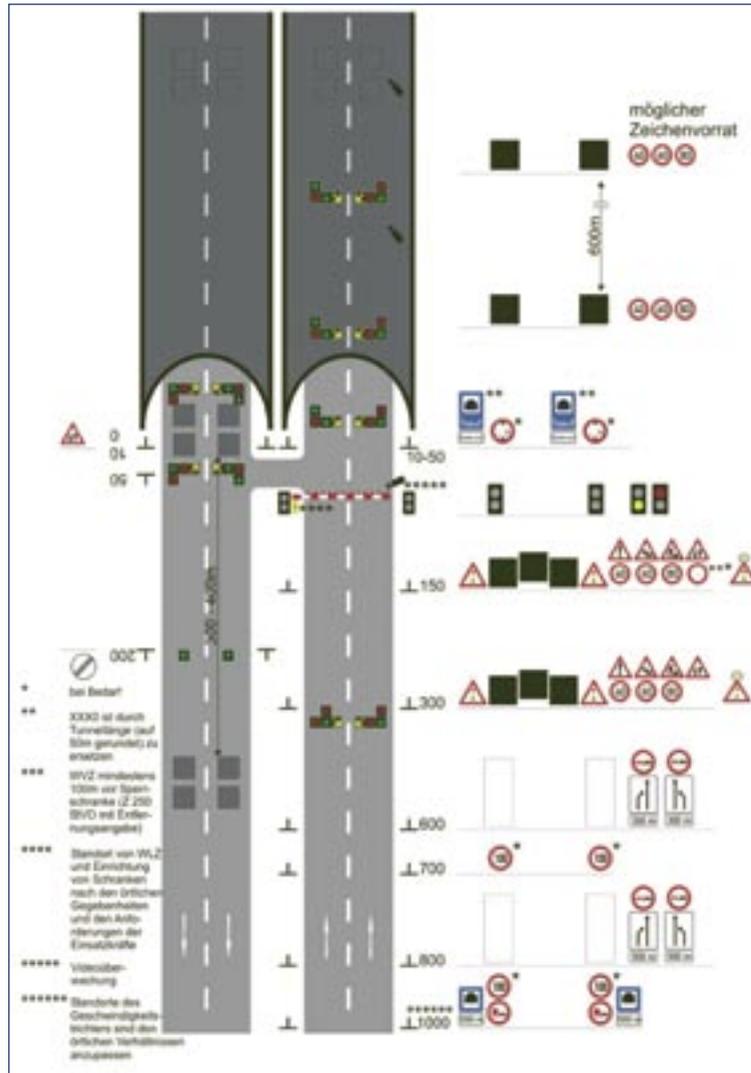


Figure 34 : panneaux et signaux utilisés dans la procédure de fermeture d'un tube de tunnel selon le texte allemand RABT 2006.

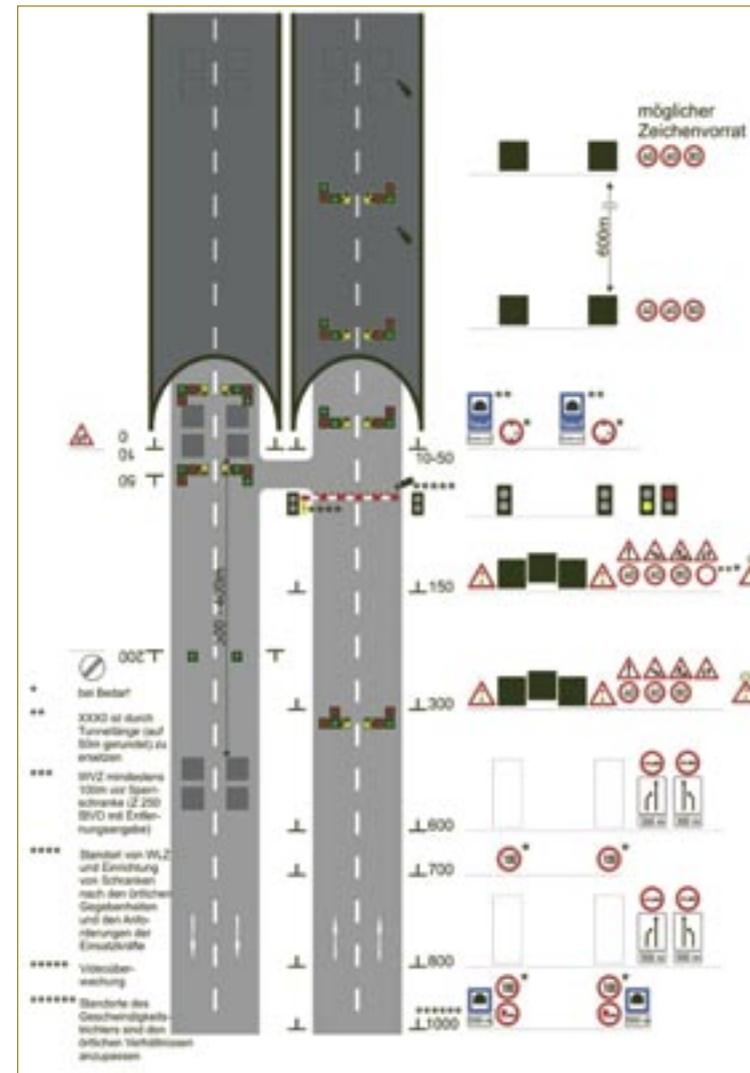


Figure 34: The signs and signals applied in the procedure to close a tunnel tube according to the GERMAN RABT2006.



Mis à part la signalisation normale, on distingue quatre étapes :

- Etape 1 : annonce de la fermeture du tunnel par le clignotement d'un feu jaune au-dessus du panneau pour les feux de circulation ; vitesse maximale 60 km/h ; panneau «interdit à tout véhicule» ;
- Etape 2 : feu orange allumé pendant 5 secondes sur les feux de circulation à la tête du tunnel ;
- Etape 3 : feu rouge des feux de circulation ;
- Etape 4 : fermeture de la barrière après vérification. Lorsqu'un incendie est détecté, la fermeture des barrières est automatique.

Ce type de panneaux et de signalisation est également appliqué à certains tunnels en France [41].

Des psychologues autrichiens [17] ont formulé les recommandations suivantes pour garantir un meilleur respect d'un feu rouge à l'entrée d'un tunnel ou dans un tunnel :

- annonce avancée précoce, si possible 1 à 1,5 km avant l'entrée ;
- annonces avancées répétées ;
- pas d'annonces statiques mais panneaux à messages variables (PMV) ;
- donner le moins d'informations possible dans la zone de la tête de tunnel. Cette zone commence environ 150 à 200 m avant la tête de tunnel et concerne le fléchage et le panneau « tunnel » !!

Mesures complémentaires recommandées

- Aux endroits où les congestions sont fréquentes, il est recommandé d'installer un système de gestion de la circulation informant automatiquement les conducteurs à l'aide de PMV. Lorsque la situation est normale, des flèches vertes devraient être allumées pour indiquer que la situation dans le tunnel est normale.
- Informer les usagers des tunnels des raisons d'un ralentissement, de la fermeture d'une voie ou de la totalité du tube du tunnel, par exemple à l'aide des panneaux présentés ci-avant.
- Harmoniser le type de signalisation dans ces cas à l'échelle internationale.

► 5.4. EMBLEMES D'ARRÊT D'URGENCE ET POSTES DE SECOURS

Objectifs

Les objectifs des emplacements d'arrêt d'urgence (aussi appelés « garages », notamment dans la directive européenne) sont les suivants :

- garer les véhicules en panne et les véhicules risquant de prendre feu ;
- offrir des conditions mieux adaptées pour les handicapés (l'accès à un poste de

Apart from the normal signing four stages are discerned:

- Stage 1: Announce the closing of the tunnel by the blinking of a yellow light above the sign for traffic lights; maximum speed 60 km/h; sign forbidden for all traffic;
- Stage 2: 5 seconds constant yellow light of the traffic lights at the portal;
- Stage 3: red light of the traffic lights;
- Stage 4: closing of the barrier after verification. When a fire is detected the closing of the barriers is automatically.

This kind of signing and signalling also is applied to some tunnels in France [41].

Austrian psychologists [17] gave the following recommendations to ensure that a red light at a tunnel or in a tunnel is more reliably obeyed:

- Early advance announcement, if possible 1 to 1,5 km before the entrance;
- Repeated advance announcements;
- No static announcements, but variable message signs (VMS);
- To place as little information as possible in the area of the tunnel portal. This area starts about 150 - 200 m before and the portal and effects the signposting and the tunnel sign!!

Recommended additional measures

- Where there is frequent congestion it is recommended to install a traffic management system that informs drivers automatically by means of VMS. In normal operation green arrows should be shown to indicate that all is normal in the tunnel.
- Inform tunnel users about the reasons for slowing down, closing a lane or the complete tunnel tube, e.g. by the signs shown before.
- Harmonise the kind of signage in these cases on an international scale.

► 5.4. LAY-BYS AND EMERGENCY STATIONS

Objectives

The objectives of lay-bys are:

- To park broken down vehicles and vehicles in danger of ignition;
- To provide conditions more suitable for use by disabled people (access to an



secours est plus facile) ou pour l'accès à une éventuelle issue de secours à cet endroit.

Les objectifs de postes de secours sont les suivants :

- permettre la communication entre les occupants des véhicules en panne et le centre de contrôle ;
- permettre la communication entre les usagers des tunnels et le centre de contrôle en cas d'incident ;
- faciliter l'extinction des incendies mineurs par les usagers des tunnels.

Mesures minimales existantes

Le « considérant » (12) du préambule de la directive européenne indique : « Les aménagements découlant de la présente directive amélioreront les conditions de sécurité de tous les usagers, y compris les handicapés. Toutefois, l'évacuation en cas d'urgence étant plus difficile pour ces personnes, une importance particulière devrait être apportée à leur sécurité ».

En ce qui concerne les *emplacements d'arrêt d'urgence*, la directive européenne contient des prescriptions relatives aux conditions dans lesquelles des emplacements d'arrêt d'urgence sont nécessaires. Si un tunnel bidirectionnel neuf ne dispose pas de bandes d'arrêt d'urgence, a une longueur de plus de 1500 m et reçoit un trafic journalier de plus de 2000 véhicules par voie, des emplacements d'arrêt d'urgence sont obligatoires à des distances qui ne doivent pas dépasser 1000 m, et ces emplacements d'arrêt d'urgence doivent comporter un poste de secours. Si les caractéristiques structurelles du tunnel ne le permettent pas ou ne le permettent qu'à un coût disproportionné, les emplacements d'arrêt d'urgence ne sont pas obligatoires ; cela n'est autorisé que si la largeur totale du tunnel accessible aux véhicules, à l'exception des parties surélevées et des voies normales de circulation, est au moins égale à la largeur d'une voie normale de circulation.

Les emplacements d'arrêt d'urgence devraient être signalés conformément à la convention de Vienne.

En ce qui concerne les *postes de secours*, la directive européenne prescrit des postes de secours à des intervalles ne dépassant pas 150 m pour les tunnels neufs et 250 m pour les tunnels anciens.

En ce qui concerne la signalisation des postes de secours, la directive européenne précise que ces postes doivent être équipés de panneaux d'information conformes à la convention de Vienne et qu'ils doivent indiquer aux usagers de la route les équipements disponibles.

emergency station is easier) or to an emergency exit, if any, at the location.

The objectives of emergency stations are:

- To enable communication between occupants of broken down vehicles and the control centre;
- To enable communication between tunnel users and the control centre in case of incidents;
- To facilitate the extinguishing of minor fires by the tunnel users.

Existing minimum measures

Recital (12) of the preamble to the EU-Directive states: “The improvements brought about by this Directive will improve safety conditions for all users, including disabled persons. However, as disabled persons have more difficulty in escaping in an emergency, particular consideration should be given to their safety”.

With reference to *lay-bys* the EU-Directive contains prescriptions as to when lay-bys have to be provided. If a new bi-directional tunnel is not provided with emergency lanes, is longer than 1500 m and has a daily traffic volume higher than 2000 vehicles per lane, lay-bys shall be provided at distances which do not exceed 1000 m and they shall include an emergency station. If the construction characteristics of the tunnel do not allow it or allow it only at disproportionate cost, lay-bys do not have to be provided; this is only allowed if the total tunnel width which is accessible to vehicles, excluding elevated parts and normal traffic lanes, is at least equal to the width of one normal traffic lane.

Lay-bys should be signed in accordance with the Vienna Convention.

With reference to *emergency stations* the EU-Directive prescribes emergency stations at intervals not exceeding 150 m for new tunnels and 250 m for old tunnels.

With reference to the signing of emergency stations the EU-Directive states that the stations shall bear informative signs according to the Vienna Convention and that they shall indicate the equipment available to the road users.



Discussion

Emplacements d'arrêt d'urgence

Comme nous l'avons vu dans la section 3.3 de ce rapport, l'expérience relative à l'utilisation des emplacements d'arrêt d'urgence est variable. Le rapport allemand [19] estime que les distances entre emplacements d'arrêt d'urgence devraient être de 110 m afin que la plupart des véhicules en panne puissent les utiliser. Cette valeur est très différente de la distance maximale de 1000 m prescrite par la directive européenne.

Certains pays ont une expérience positive de l'éclairage clairement visible des emplacements d'arrêt d'urgence.

Lorsque des emplacements d'arrêt d'urgence sont utilisés dans les tunnels, l'exploitant devrait tenir compte du fait qu'ils pourraient être utilisés par des véhicules faisant demi-tour, ce qui pourrait entraîner une situation dangereuse. Un emplacement d'arrêt d'urgence permet également aux automobilistes de s'arrêter pour des motifs interdits. Pour toutes ces raisons, en cas d'utilisation d'emplacements d'arrêt d'urgence, ils devraient, de manière idéale, être surveillés par un système de vidéosurveillance ou un autre moyen.

Distances entre les emplacements d'arrêt d'urgence et les postes de secours

Les distances entre les emplacements d'arrêt d'urgence prescrites par la directive européenne sont de 1000 m au maximum. Pour les tunnels neufs, la distance maximale entre les postes de secours est de 150 m. Lorsqu'il y a des postes de secours entre des emplacements d'arrêt d'urgence, un véhicule arrêté peut bloquer une voie de circulation et provoquer ainsi une situation dangereuse. Dans ces cas, un système de gestion de la circulation constitue un outil idéal pour fermer la voie touchée le plus tôt possible et avertir les conducteurs approchant du véhicule arrêté.

Postes de secours

En raison du manque d'uniformité de la configuration des postes de secours, les usagers des tunnels peuvent avoir des difficultés à reconnaître les postes de secours, le téléphone ou l'extincteur. Afin d'améliorer la facilité d'identification des équipements d'urgence essentiels, l'utilisation internationale des couleurs orange (pour signaler les postes de secours) et rouge (pour le matériel de lutte contre les incendies) est recommandée. Les postes de secours peuvent être rendus encore plus facilement reconnaissables lorsqu'ils ont une forme bien visible.

Lorsqu'un poste de secours est équipé d'une porte, la conception tenant compte des facteurs humains doit garantir la possibilité d'empêcher la claustrophobie.

Discussion

Lay-bys

As mentioned earlier in section 3.3 of this report experience with the use of lay-bys is varied. The German report [19] estimates that the distances between lay-bys should be 110 m in order to have most of the broken down vehicles use them. This is quite a difference with the maximum distance of 1000 m as prescribed by the EU-Directive.

Some countries have good experience with conspicuously lighting the lay-bys.

When lay-bys are used in tunnels, the tunnel operator should take into consideration that these might be used by turning vehicles - this could cause a hazardous situation. A lay-by also enables motorists to stop for unauthorized reasons. For these reasons, if lay-bys are used they should ideally be monitored by CCTV or other means.

Distances between lay-bys and emergency stations

The distances between lay-bys as prescribed by the EU-Directive are a maximum of 1000 m. For new tunnels the maximum distance between emergency stations is 150 m. When there are emergency stations in between lay-bys a stopped vehicle may block a traffic lane causing a dangerous situation. In these cases a traffic management system is an ideal tool to close the affected lane as soon as possible and to warn the drivers approaching the stopped vehicle.

Emergency stations

Owing to the lack of uniformity in the lay-out of emergency stations tunnel users may find it difficult to recognize the emergency stations, the telephone or the fire extinguisher. To enhance the ease with which essential emergency equipment can be recognised the internationally use of the colour orange (to indicate the emergency stations) and red (for the fire extinguishing equipment) is recommended. The emergency station can be made even more recognisable when shaped conspicuously.

When an emergency station is fitted with a door, human factor design considerations need to ensure that claustrophobia is prevented. The use of appropriate specified



L'utilisation de panneaux vitrés adaptés dans les portes est recommandée. Cela permet également aux usagers de voir ce qui se trouve derrière la porte.

Un danger susceptible de se produire avec les postes de secours construits comme une annexe fermée du tube du tunnel est le fait que les usagers des tunnels puissent considérer ces postes comme des lieux sûrs en cas d'incendie ou les confondre avec les issues de secours qui offrent un moyen sûr et séparé pour sortir du tunnel. Pour cette raison, la directive européenne stipule qu'un texte clairement lisible doit indiquer que les postes de secours ne garantissent pas la protection des personnes en cas d'incendie. La **figure 35** présente des exemples de ces textes.

Autre danger : le personnel d'exploitation du centre de contrôle est susceptible de ne pas voir les usagers des tunnels entrer dans ces postes. En cas d'incendie, il faut contrôler tous ces postes pour être sûr qu'ils ne contiennent aucune personne évacuée. Afin d'éviter ces dangers, il est recommandé de rendre les issues de secours et les postes de secours reconnaissables en utilisant des couleurs distinctives et si possible en différenciant leur forme, et d'équiper ces dispositifs d'un système de détection d'ouverture de porte et de caméras de surveillance interne.

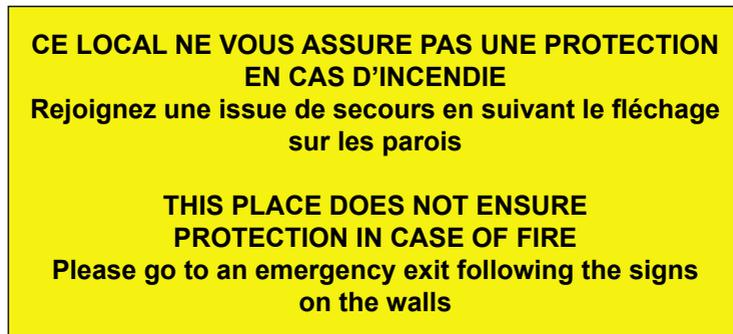


Figure 35 : exemple de texte destiné à avertir les usagers des tunnels que les postes de secours équipés de portes n'assurent pas une protection contre l'incendie.

Postes d'appel d'urgence

Les téléphones ou interphones utilisés pour communiquer avec le centre de contrôle du tunnel ou les services de secours varient d'un pays à l'autre (bouton-poussoir, pavillon de téléphone). Ces appareils peuvent également être différents des appareils équivalents utilisés sur les routes à l'air libre pour communiquer avec le centre de contrôle.

Panneaux

Les panneaux E17a et E17b pour les emplacements d'arrêt d'urgence, adoptés par la convention de Vienne, ne sont pas utilisés seulement pour les emplacements

glass panes in the doors is recommended. This expedient also allows users to see what is behind the doors.

A danger that may arise from emergency stations that are constructed as an enclosed annex to the tunnel tube is that tunnel users could consider these stations as safe places in case of fire or confuse them with emergency exits, which provide a separate, safe means of egress from the tunnel. It is for this reason that the EU Directive prescribes that a clearly legible text shall indicate that the emergency station does not ensure protection in case of fire. **Figure 35** presents examples of such texts.

A further danger is that operations staff at the control centre may not see tunnel users enter such stations. In the event of a fire all such stations would have to be inspected to ensure that they are clear of evacuees. To avoid these dangers it is recommended that emergency exits and emergency stations are recognisable by using distinctive colours and if possible by shapes and that these installations are fitted with opening door detection and internal surveillance cameras.

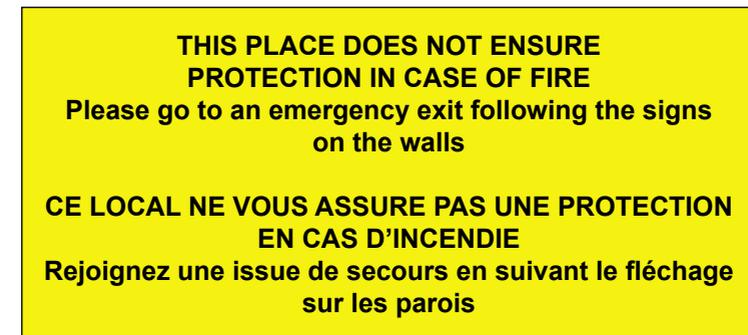


Figure 35: Example of text to warn tunnel users that emergency stations with doors are not suited for protection against fire

Emergency Telephones

The telephones or intercoms used to communicate with the tunnel control centre or rescue services vary from country to country (push button, telephone horn). These devices may also be different from equivalent devices used along the open road to communicate with control centres.

Signs

The signs E17a and E17b for lay-bys adopted by the Vienna Convention are not used solely for lay-bys in tunnels. They are new signs that can be used for lay-bys



d'arrêt d'urgence des tunnels. Il s'agit de panneaux nouveaux qui peuvent être utilisés pour les emplacements d'arrêt d'urgence sur toutes les routes à l'air libre. L'utilisation large de ces panneaux contribuera également à améliorer la sécurité routière.

Figure 36 : panneaux indiquant les emplacements d'arrêt d'urgence, les postes d'appel d'urgence et les extincteurs selon la convention de Vienne relative aux panneaux et signaux routiers

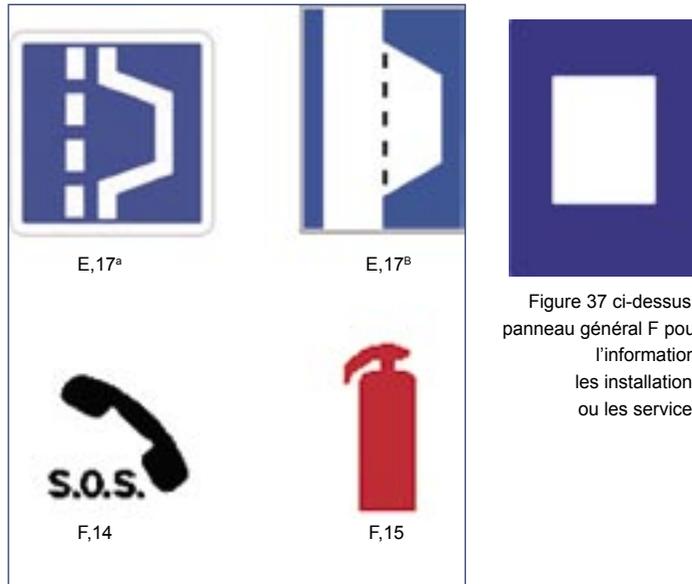


Figure 37 ci-dessus : panneau général F pour l'information, les installations ou les services

Les panneaux F14 et F15 sont insérés dans le cadre général du panneau F (figure 37).

Il existe plusieurs pictogrammes internationaux différents pour les panneaux servant à indiquer les extincteurs. Les travaux de recherche montrent qu'un panneau indiquant un extincteur qui comporte des flammes rend l'identification de l'extincteur par le public plus facile que le panneau F15 de la directive européenne. Pour ces raisons, certains pays préfèrent le panneau où des flammes sont ajoutées (figure 38).

Figure 38 : panneau indiquant la présence d'extincteurs prescrit dans les textes néerlandais



along all open roads. The wide use of the signs will also serve to promote road safety.

Figure 36: The signs indicating lay-bys, emergency telephones and fire extinguishers according to the Vienna Convention on Road Signs and Signals

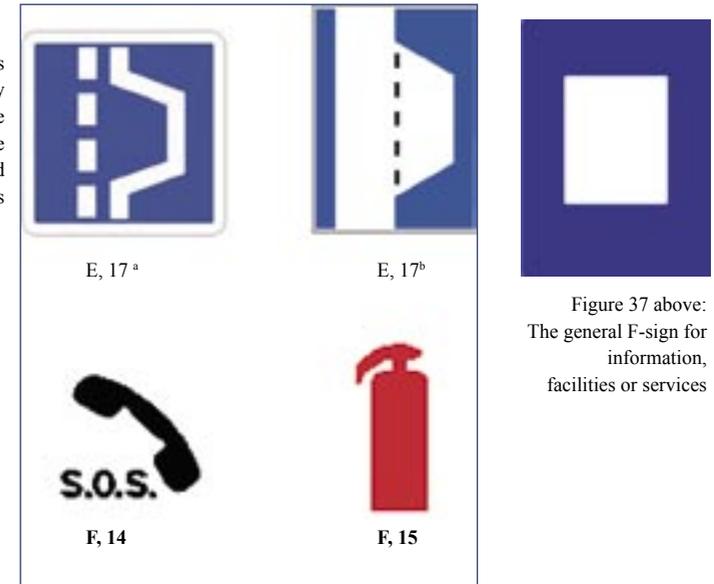


Figure 37 above: The general F-sign for information, facilities or services

The signs F14 and F15 have to be put into the general frame of the sign F (figure 37).

There are several different international pictograms for signs used to indicate fire extinguishers. Research indicates that a sign for a fire extinguisher that includes flames enables the fire extinguisher to be more easily identified by the public than the sign F15 of the EU-Directive. For these reasons some countries prefer the one with additional flames (figure 38).

Figure 38: Sign to indicate fire extinguishers as prescribed in Dutch guidelines





Utilisation des extincteurs (dévidoirs mobiles compris)

La mise en oeuvre des extincteurs dans les tunnels routiers présente certains inconvénients. En effet, de nombreux usagers des tunnels ne connaissent pas le maniement des extincteurs et, dans de nombreux cas, l'usager peut ne pas parvenir à éteindre l'incendie. Un temps précieux, pendant lequel un appel d'urgence pourrait être envoyé ou l'évacuation du tunnel engagée, peut être perdu. Toutefois, les statistiques montrent qu'au moins 60 % des incendies sont éteints à l'aide d'extincteurs.

Mesures complémentaires recommandées

Emplacements d'arrêt d'urgence :

- si, dans les tunnels bidirectionnels, les distances entre les postes de secours sont inférieures aux distances entre les emplacements d'arrêt d'urgence, un système de gestion de la circulation est recommandé ;
- en complément de la signalisation des emplacements d'arrêt d'urgence prescrite par la directive européenne, les emplacements d'arrêt d'urgence devraient être correctement éclairés ;
- les panneaux servant à indiquer un emplacement d'arrêt d'urgence dans un tunnel devraient être harmonisés avec les panneaux utilisés sur la route à l'air libre ;
- les emplacements d'arrêt d'urgence devraient toujours être surveillés par un système de vidéosurveillance ou d'autres moyens ;
- les emplacements d'arrêt d'urgence devraient toujours être équipés de postes de secours et, si possible, d'issues de secours ;
- les emplacements d'arrêt d'urgence devraient être rendus facilement identifiables par l'usager lorsqu'il est en relation avec le centre de contrôle.

Postes de secours :

- en complément de la signalisation des postes de secours conformément à la prescription de la directive européenne, une caractérisation unique des postes de secours à l'aide de la couleur orange est recommandée. Des formes bien visibles peuvent également faciliter leur identification ;
- le logement des extincteurs devrait être peint en rouge, le logement des postes d'appel d'urgence devrait être peint en orange.
- il est recommandé de concevoir les postes d'appel d'urgence (équipements de communication) de manière à ce qu'ils soient faciles à manipuler (de préférence sans les mains) et soient dotés d'un minimum d'instructions nécessaires (de préférence sous forme de pictogrammes) guidant l'usager pour une communication facile et immédiate avec l'opérateur ;
- l'usager devrait disposer d'informations sur sa situation (numéro de l'emplacement

Use of fire extinguishers (including hose reels)

There are some disadvantages of the deployment of fire extinguishers in road tunnels. Many tunnel users are not familiar with handling the fire extinguishers and in many cases the tunnel user may not succeed in extinguishing the fire. Valuable time may be lost during which an emergency call could be made or evacuation of the tunnel initiated. However, according to statistics, at least 60% of the fires are extinguished by fire extinguishers.

Recommended additional measures

Lay-bys:

- If in bi-directional tunnels the distances between emergency stations are less than the distances between lay-bys a traffic management system is recommended;
- In addition to indicating lay-bys as prescribed by the EU-Directive make lay-bys well lit;
- The signs used to indicate a lay-by in a tunnel should be harmonised with the signs used along the open road;
- Lay-bys should always be monitored by CCTV or other means;
- Lay-bys should always be provided with emergency stations and if possible with emergency exits;
- Lay-bys should be made easy identifiable for the user when in contact with the control centre.

Emergency stations:

- In addition to indicating emergency stations as prescribed by the EU-Directive unique characterisation of emergency stations by using the colour orange is recommended. Conspicuous shapes could also make them more recognisable;
- The casing of fire extinguishers should be painted red, those of the emergency telephones orange.
- Design the emergency phones (communication devices) easy to manipulate (preferably no manual handling), provided with minimum necessary instructions (preferably in pictograms) guiding the user to easy and immediate communication with the operator;
- Let the user have information about his situation (number of the lay-by, position



- d'arrêt d'urgence, position de l'emplacement d'arrêt d'urgence dans le tunnel) dans son champ visuel lorsqu'il utilise le poste d'appel d'urgence ;
- afin d'empêcher les sensations de claustrophobie dans les postes de secours fermés, l'utilisation de portes vitrées est recommandée. Une solution satisfaisante consiste à éviter les portes et à garantir une bonne communication vocale à l'aide d'une technologie téléphonique supprimant le bruit;
 - il est conseillé de former les usagers des tunnels pour qu'ils appliquent les mesures suivantes en cas d'incendie :
 - avertir immédiatement le centre de contrôle à l'aide du poste d'appel d'urgence,
 - si vous estimez que cela est possible, essayez d'éteindre l'incendie,
 - si vous ne parvenez pas à éteindre l'incendie, évacuez le tunnel le plus tôt possible
 - les postes de secours devraient être équipés d'un système de détection d'ouverture de porte et de caméras de surveillance interne afin que les régulateurs de la circulation (du tunnel) puissent identifier l'endroit où se trouvent les personnes qui demandent de l'aide. De plus, en cas d'incendie, les régulateurs du tunnel peuvent vérifier qu'il n'y a personne dans les postes de secours ;
 - il est proposé d'engager un projet de recherche destiné à définir les pictogrammes signalant les extincteurs qui sont les plus facilement identifiables par les usagers de la route.

► 5.5. REDIFFUSION DE LA RADIO DANS LES TUNNELS ET À PROXIMITÉ DES TUNNELS

Objectifs

On peut formuler les objectifs suivants pour la rediffusion de la radio :

- informer les usagers des tunnels au sujet du tunnel et de son système de sécurité et du comportement à adopter en cas d'incident et d'incendie (prévention anticipée) ;
- informer les usagers des tunnels au sujet des pannes ou des incidents touchant des voitures dans le tunnel (prévention) ;
- demander aux usagers des tunnels d'utiliser les issues de secours ou de se diriger vers les têtes de tunnel si l'évacuation est nécessaire (protection) ;
- permettre la réception sans perturbation de la radio, augmentant ainsi la sécurité perçue par les usagers des tunnels.

Mesures minimales existantes

La directive européenne stipule que, s'il existe un centre de contrôle et des

of the lay-by within the tunnel) just in the visual field of view when he is manipulating with the emergency phone;

- To prevent feelings of claustrophobia within enclosed emergency stations the use of appropriately specified glass door panes are recommended. A good alternative is to avoid doors and to guarantee good voice communication by means of telephonic noise cancelling technology;
- It is recommended that tunnel users be educated to take the following actions in case of fire:
 - Immediately notify the control centre by using the emergency telephone,
 - if you think it is possible try to extinguish the fire,
 - if you are unable to extinguish the fire, evacuate from the tunnel as soon as possible
- Emergency stations should be provided with opening door detection and internal surveillance cameras such that traffic (tunnel) controllers can identify the location of the people calling for help. Moreover in case of fire tunnel controllers can verify whether there are no people in the emergency stations;
- It is proposed to start a research project to determine what pictograms indicating fire extinguishers are most recognisable by road users.

► 5.5. RADIO RE-BROADCASTING IN AND AROUND TUNNELS

Objectives

The following objectives for radio re-broadcasting can be formulated:

- To inform tunnel users about the tunnel and its safety system and how to behave in case of incidents and fires (pro-action);
- To inform tunnel users about car break-downs or incidents in the tunnel (preventive);
- To instruct tunnel users to use the emergency exits or go to the tunnel portals in case of need to evacuate (corrective);
- To allow undisturbed reception of radio, thus increasing the perceived safety of tunnel users.

Existing minimum measures

The EU-directive states that if there is a control centre and if there is equipment



équipements de rediffusion de la radio, il doit être possible d'interrompre la radio afin de diffuser des messages d'urgence.

Un paragraphe supplémentaire précise qu'il faut implanter des panneaux adaptés avant l'entrée des tunnels dans lesquels les usagers peuvent recevoir des informations par le biais de la radio.

Discussion

- Bien qu'il soit techniquement possible de rediffuser et d'interrompre toutes les chaînes de radio proches des tunnels, cette possibilité n'est pas toujours mise en pratique. En réalité, seul un nombre limité de fréquences est rediffusé. Cela signifie que les conducteurs devraient être informés par des panneaux routiers sur les fréquences radio à utiliser et sur la nécessité de rechercher ces fréquences. Cela pose un certain nombre de problèmes sur le plan des facteurs humains :

1. Comment convaincre les conducteurs qu'ils devraient utiliser la radio au lieu du lecteur de CD, voire rien ?
2. Comment percevoir les panneaux routiers indiquant les fréquences ?
3. Comment rechercher les fréquences tout en conduisant en toute sécurité ?
4. La plupart des usagers des tunnels ne passent pas sur les fréquences indiquées, ils ne captent donc pas la radio dans le tunnel, ce qui est source d'irritation et de sentiments d'inquiétude quant au niveau de sécurité du tunnel (les usagers supposent que, en cas d'urgence, le système peut interrompre toutes les fréquences possibles).
5. Problème de langue.

- Dans quelques (très) longs tunnels, il existe une seule station de rediffusion de la radio du tunnel, émettant parfois dans différentes langues sur des fréquences spéciales. Les enquêtes indiquent que la répétition continue des messages concernant le tunnel est perçue comme ennuyeuse et, pour cette raison, les conducteurs n'écoutent pas la station du tunnel (sauf s'il n'existe pas d'autre choix).
- Certaines sociétés d'autoroutes (comportant des tunnels) ont leur propre station de radio qui est rediffusée dans les tunnels. Les enquêtes réalisées sur ces autoroutes indiquent qu'environ 60 % des usagers sont calés sur la fréquence de l'autoroute, ce qui est très encourageant en ce qui concerne l'efficacité du système.
- Autre choix à effectuer : le recours à des messages pré-enregistrés ou à des messages émis en direct par l'opérateur. En cas d'urgence, il est conseillé de diffuser des messages pré-enregistrés car l'opérateur ne doit pas perdre de temps à réfléchir à ce qu'il doit dire. De plus, l'émotion ou le stress dans la voix de l'opérateur peut aussi stresser ou même paniquer les usagers.

available to rebroadcast radio channels it must be possible to interrupt in order to give emergency messages.

An additional paragraph states that appropriate signs be placed before the entrance of tunnels in which users can receive information via their radio.

Discussion

- Although it is technically possible to re-broadcast and interrupt all radio channels in the region in tunnels, this is not always brought into practice. Instead only a limited number of frequencies are re-broadcast. This means that drivers have to be informed by road signs about the radio frequencies to use and that they should search for those frequencies. This poses a number of problems in the field of human factors:

1. How to convince drivers that they should use the radio instead of the CD-player or nothing?
2. How to perceive the road signs indicating the frequencies?
3. How to search for frequencies and drive safely at the same time?
4. Most tunnel users will not switch to the indicated frequencies so that they will not receive radio at all in the tunnel, causing irritation and feelings of concern about the safety level of the tunnel (users assume that, in case of emergency, the system can interrupt all possible frequencies).
5. Problem of languages.

- In a few (very) long tunnels there is only one tunnel radio broadcasting station, sometimes transmitting in various languages on dedicated frequencies. Enquiries indicate that the continuous repetition of the tunnel related messages is perceived to be annoying and for that reason the tunnel station is not listened to (except if there is no other choice).
- Some motorway companies (with tunnels) have their own radio station, which is re-broadcasted in the tunnels. Surveys conducted in these motorways indicate that about 60% of the users are tuned to the motorway frequency, a fact that is very encouraging regarding the effectiveness of the system.
- Another choice that has to be made is whether pre-recorded messages or live messages by the operator should be used. In case of emergency, it is advisable to use pre-recorded messages since no time should be wasted if an operator has to think about what to say. Moreover, emotion or stress in the voice of the operator may also cause stress or even panic to the users.



Mesures complémentaires recommandées

- La solution optimale serait la suivante : toutes les stations de radio de la région sont rediffusées et peuvent être interrompues dans le tunnel. Dans ce cas, il faudrait simplement un panneau « Allumez la radio ».
- Si seules quelques stations de radio sont rediffusées, le tunnel pourrait être doté d'équipements compatibles avec les fonctionnalités : RDS (Radio Data System), EON (Enhanced Other Networks) et TA (Traffic Announcement). Les conducteurs qui écoutent une station de radio principale ou leur lecteur de cassettes ou de CD pourraient ainsi recevoir les appels d'un centre d'informations radio sur la circulation, à condition que leur radio soit équipée de RDS/EON et que TA soit activé. De plus, un texte qui peut être lu sur l'écran du poste radio pourrait être émis.
- Un tunnel doté de ces équipements permettrait de donner des instructions aux conducteurs à l'aide d'un panneau ayant la seule signification : « Allumer la radio (ou le lecteur de CD) et le TA ». Ce panneau devrait être implanté suffisamment loin avant le tunnel et répété à l'intérieur du tunnel.
- Les conducteurs devraient être informés (lors des leçons de conduite et par des campagnes d'information) qu'il n'est pas toujours possible de recevoir toutes les stations de radio mais qu'il est toujours possible de recevoir des appels d'urgence sur les principales chaînes de radio lorsque le panneau mentionné dans la recommandation précédente est affiché et lorsque les conducteurs ont activé la fonction « TA ».
- L'idéal serait que la réception des messages concernant le tunnel commence déjà sur les routes d'accès au tunnel.
- Si quelques stations de radio seulement sont rediffusées (ou s'il n'est retransmis que des stations de radio associées au tunnel) et si les appels d'urgence ne peuvent être émis que sur ces fréquences, il conviendrait d'installer des panneaux routiers indiquant les fréquences radio rediffusées dans le tunnel. Ces panneaux (*figure 18* ou *figure 19*) devraient être implantés bien avant l'entrée du tunnel pour que les conducteurs aient le temps de trouver les fréquences avant d'entrer dans le tunnel. Dans les tunnels longs, ils devraient être répétés tous les kilomètres.
- On peut se poser la question de l'intérêt de répéter en continu des informations sur la sécurité des tunnels. Il est recommandé de n'informer les usagers des tunnels qu'une ou deux fois après qu'ils ont appliqué les exigences en matière de vitesse et de distances de sécurité.
- Si l'évacuation du tunnel s'impose, des messages pré-enregistrés sont vivement recommandés pour que le type de message soit identique dans tous les tunnels, afin de faciliter le travail de l'opérateur et de donner des instructions claires.
- Les messages devraient être diffusés dans la(les) langue(s) du pays et en plus au moins en anglais.

Recommended additional measures

- It would be optimal if all radio stations in the region are re-broadcasted and can be interrupted in the tunnel. In that case only a sign "Radio on" would be needed.
- If only a few radio stations are re-broadcasted the tunnel could be provided with equipment to support RDS (Radio Data System), EON (Enhanced Other Networks) and TA (Traffic Announcement). This enables drivers who are listening to a main radio station or have their cassette or CD player on to receive calls from a radio traffic information centre, provided that their radio has RDS/EON and TA is switched on. Moreover a text can be emitted which can be read on the panel of the radio.
- When a tunnel is provided with this equipment it would be possible to instruct drivers by means of a sign with the only meaning: "Radio (or CD) and TA on". This sign should be placed at sufficient distances from the tunnel and repeated inside the tunnel.
- Drivers should be informed (in driving lessons and information campaigns) that it is not always possible to receive all radio stations, but emergency calls can always be received on main radio channels when the sign meant in the preceding recommendation is shown and they have TA on.
- It would be optimal when the reception of the tunnel bound messages already starts on the roads approaching the tunnel.
- If only a few radio stations are re-broadcasted (or if there are only tunnel-bound radio stations) and emergency calls can only be transmitted through these frequencies, road signs should be placed to indicate the radio frequencies that are re-broadcasted in the tunnel. These signs (*figure 18* or *figure 19*) should be placed far before the tunnel entrance so that drivers have enough time to find the frequencies before entering the tunnel. In long tunnels the signs should be repeated every kilometre.
- The value of continuously repeating information about tunnel safety is to be questioned. It is recommended that tunnel users are informed only once or twice after they have adapted to speed and distance requirements.
- In case of need to evacuate the tunnel, pre-recorded messages is strongly recommended in order to have the same type of message in all tunnels, in order to relieve the operator task and in order to have a clear instruction.
- The messages should be given in the native language(s) and additionally at least in English.



► 5.6. SYSTÈMES DE SONORISATION (HAUT-PARLEURS)

Objectifs

On peut formuler les objectifs suivants pour les systèmes de sonorisation :

- demander aux usagers des tunnels de ne pas utiliser le tunnel, les emplacements d'arrêt d'urgence ou les équipements d'urgence d'une manière inadaptée ;
- demander aux usagers des tunnels encombrés (par exemple à cause d'un véhicule en panne ou d'un incident sans incendie) de rester calmes et de couper leur moteur ;
- demander aux occupants des véhicules en panne de rester calmes et d'attendre l'arrivée des secours (à l'extérieur de leur véhicule s'il n'est pas sur un emplacement d'arrêt d'urgence) ;
- demander aux usagers des tunnels de procéder à l'évacuation (par exemple en raison d'un incident grave) ;
- demander aux usagers des tunnels attendant d'être évacués de leur abri de rester calmes.

Mesures minimales existantes

La directive européenne laisse la possibilité d'utiliser les haut-parleurs pour arrêter les véhicules en cas d'urgence et elle prescrit l'usage de haut-parleurs pour les abris et autres installations où les usagers des tunnels qui procèdent à l'évacuation doivent attendre avant d'atteindre l'extérieur du tunnel.

Discussion

L'application de systèmes de sonorisation est une source de préoccupations. Outre des préoccupations au sujet du coût de ces systèmes, il existe des doutes au sujet de l'audibilité des messages en raison des niveaux élevés de bruit de fond provenant des véhicules, des personnes et du système de ventilation. Des travaux de recherche et des expériences ont montré qu'il est possible de résoudre ces problèmes [58], [59]. Une modélisation informatique permet d'intégrer la conception des systèmes de ventilation des tunnels avec la configuration des haut-parleurs de sonorisation de manière à garantir l'audibilité dans la majorité des situations. Un revêtement insonorisant est une autre possibilité, bien que coûteuse, d'améliorer l'audibilité.

Outre le public cible, les messages peuvent être entendus par les usagers des tunnels auxquels les messages ne sont pas destinés, ce qui peut être source de confusion. Il est possible d'intégrer la conception de telle manière que seuls les haut-parleurs de la zone-cible du tunnel soient activés. Il serait même possible de diffuser des messages différents et ciblés dans différentes parties du tunnel.

► 5.6. PUBLIC ADDRESS SYSTEMS (LOUDSPEAKERS)

Objectives

The following objectives of P.A. systems can be formulated:

- To instruct tunnel users not to use the tunnel, lay-bys or emergency equipment in an in-appropriate way;
- To provide instruction to tunnel users in congested tunnels (e.g. caused by a broken down vehicle, by an incident without fire) to stay calm and to switch off their engine;
- To instruct the occupants of broken down vehicles to stay calm and to wait for help (outside their vehicle if it is not in a lay-by);
- To instruct tunnel users to evacuate (e.g. owing to a major Incident);
- To instruct tunnel users waiting to be evacuated from shelters to stay calm.

Existing minimum measures

The EU-Directive opens the possibility to use loudspeakers to stop vehicles in case of an emergency and it prescribes loudspeakers for shelters and other facilities where evacuating tunnel users must wait before they can reach the outside.

Discussion

There are concerns about the application of P.A.- systems. In addition to some concern about the cost of such systems there are doubts about the audibility of the messages owing to high levels of background noise from vehicles, people and the ventilation system. Research and experiments have shown that such problems can be solved [58], [59]. It is possible with the aid of computer based modelling to integrate the design of tunnel ventilation systems with the configuration of the P.A. loudspeakers in such a way that audibility can, in most situations, be guaranteed. Sound absorbing cladding is another, albeit costly, possibility to enhance audibility.

In addition to the target audience the messages may be overheard by tunnel users to whom the messages are not directed. This may cause confusion. It is possible to integrate the design such that only the loudspeakers in the target zone of the tunnel are activated. It might even be possible to broadcast different appropriate messages in different parts of the tunnel.



Les remarques suivantes concernent les objectifs de mise en place de systèmes de sonorisation :

- les annonces de fort niveau sonore destinées aux usagers des tunnels congestionnés au moyen de systèmes de sonorisation peuvent les effrayer. Il faut privilégier l'utilisation de la radio ;
- les annonces à destination des occupants de véhicules en panne sont importantes. Elles devraient être combinées avec des systèmes de détection des incidents de la circulation, des systèmes de vidéosurveillance, etc. afin de localiser le véhicule en panne.

Les systèmes de sonorisation peuvent être très utiles si l'évacuation du tunnel devient nécessaire. Des expériences ont montré que les usagers des tunnels ne perçoivent pas le caractère dangereux de certaines situations dans les tunnels. L'utilisation de systèmes de sonorisation augmente fortement la probabilité que les usagers des tunnels sortent de leur véhicule et évacuent le tunnel. Le problème posé par les messages radio est que de nombreux conducteurs n'allument pas leur auto-radio. Afin de tenir compte de la présence éventuelle d'usagers étrangers, les messages devraient être au minimum bilingues : dans la(les) langue(s) du pays et en anglais.

Mesures complémentaires recommandées

- Lorsque la construction de bandes et d'emplacements d'arrêt d'urgence est impossible pour des raisons de coûts excessifs, le tunnel devrait être équipé d'un système de gestion du trafic (détection de la vitesse des véhicules, caméras, fermeture (automatique ?) de voies, etc.) et d'un système de sonorisation destiné aux conducteurs de véhicules en panne.
- Un système de sonorisation, lorsqu'il est installé en complément d'une intervention sur la radio, est un outil efficace pour inciter les usagers des tunnels à évacuer le tunnel.
- Afin de gérer l'évacuation dans les situations d'urgence, il faudrait utiliser des messages pré-enregistrés pour que l'opérateur du tunnel ne perde pas de temps à réfléchir à ce qu'il doit dire. Il faudrait utiliser le même message pour l'interruption de la radio et pour le système de sonorisation.
- Un point qui mériterait des recherches est la voix idéale à utiliser dans les messages pré-enregistrés.
- Afin de tenir compte de la présence éventuelle d'usagers étrangers, les messages devraient être au minimum bilingues : dans la langue du pays et en anglais.
- Autre élément qui mériterait des recherches : quels sont les messages types les mieux compris par les usagers des tunnels ?

The following remarks are directed to the objectives of providing P.A.- systems:

- loud announcements to tunnel users in congested tunnels by means of P.A.- systems might frighten them. The use of radio is to be preferred;
- announcing to the occupants of broken down vehicles is important. It should be combined with traffic incident detection systems, CCTV systems etc in order to localize the broken-down vehicle.

P.A.-systems can be very useful should it become necessary to evacuate the tunnel. Experiments have shown that tunnel users fail to comprehend dangerous situations in tunnels. The use of P.A.- systems greatly increases the probability that tunnel users will leave their cars and evacuate. The difficulty with radio messages is that many drivers do not switch on their car radios. To accommodate the possible presence of foreign users, the messages should be at least bi-lingual: in the homeland language(s) and in English.

Recommended additional measures

- Where construction of emergency lanes and lay-bys is not possible due to excessive costs the tunnel should be equipped with a system of traffic management (traffic speed detection, cameras, (automatic?) closure of lanes etc.) as well as a public address system to address drivers of broken down vehicles.
- A P.A.-system, when installed in addition to an intervention on radio rebroadcasting, is an effective tool to trigger tunnel users to evacuate from the tunnel.
- In order to manage evacuation during emergencies, pre-recorded messages should be used such that the tunnel operator does not waste time thinking about what to say. The same message should be used for both the radio interruption and for the P.A.-system.
- A point of research is the ideal voice to be used in pre-recorded messages.
- To accommodate the possible presence of foreign users, the messages should be at least bi-lingual: in the homeland language and in English.
- Another point of research is what standard messages are best understood by tunnel users.



► 5.7. TÉLÉPHONES PORTABLES

Objectifs

Toute utilisation de la technologie des téléphones portables devrait être dépourvue d'effet contraire à la sécurité des usagers des tunnels. Compte tenu des situations dans lesquelles les téléphones portables sont généralement utilisés, cinq objectifs peuvent être envisagés :

- dans les situations normales : permettre aux usagers des tunnels (en particulier les passagers des véhicules) de continuer leur conversation sur leur téléphone portable lorsqu'ils traversent des tunnels ;
- en cas de congestion : permettre aux usagers des tunnels de prévenir des personnes extérieures (modification de rendez-vous, etc.) ;
- en cas de voitures en panne ou d'accidents : permettre aux usagers des tunnels d'appeler le centre de contrôle du tunnel ou les services de secours à l'aide de leur téléphone portable et non du téléphone du tunnel avec lequel ils ne sont pas familiarisés ;
- en cas de voitures en panne appartenant à des personnes handicapées : avertir le centre de contrôle du tunnel ;
- si l'évacuation du tunnel devient impérative, le centre de contrôle du tunnel peut utiliser le réseau de téléphonie mobile pour envoyer des messages aux usagers.

Mesures minimales existantes

La directive européenne ne contient aucune mesure relative à l'usage des téléphones portables.

Discussion

- Il existe différentes opinions divergentes concernant le souhait des conducteurs de poursuivre leur conversation au téléphone portable pendant la traversée des tunnels. Selon une opinion, l'usage du téléphone, même avec un kit mains libres, distrait le conducteur et ne doit donc pas être encouragé. Des travaux de recherche scientifique [15] montrent un quadruplement du risque d'accident lié à l'usage des téléphones portables, qu'ils soient tenus à la main ou utilisés avec un kit mains libres. L'usage des téléphones portables peut entraîner :

- un mode de conduite incorrect (mauvais positionnement sur la voie, vitesse inadaptée et imprévisible, non-respect de la distance de sécurité avec les véhicules précédents) ;
- diminution du champ visuel fonctionnel (feux de circulation pas respectés, regard porté vers l'avant et non tout autour) ;
- temps de réaction allongés pour la détection et la réaction à des événements imprévus ;

► 5.7. MOBILE PHONES

Objectives

Any use of mobile phone technology should not affect the safety of the tunnel users. Considering the situations in which mobile phones are generally used, five objectives could be imagined:

- In normal situations: to enable tunnel users (especially car passengers) to continue their conversation over their mobile phones as they pass through tunnels;
- In case of congestion: to enable tunnel users to contact others (to change appointments etc.);
- In case of broken-down cars or in case of accidents: to enable tunnel users to contact the tunnel control centre or rescue service by mobile phone rather than use the unfamiliar tunnel phone;
- In case of broken-down cars of disabled people: to alarm the tunnel control centre;
- If it becomes necessary to evacuate the tunnel the control centre may use the mobile phone network to transmit messages to the tunnel users.

Existing minimum measures

The EU-Directive does not contain measures with respect to the use of mobile phones.

Discussion

- There are different competing opinions concerning the drivers desire to maintain their mobile phone conversation whilst they are in tunnels. One opinion is that talking over the phone, even with a hands free device, distracts the attention of the driver and therefore should not be encouraged. Scientific research [15] shows a four-fold increase in crash risk with mobile phone use, regardless of handheld or hands-free mobile phone application. Mobile phone use can result in:

- bad driving behaviour (not maintaining correct lane position, inappropriate and unpredictable speed, not keeping distances to vehicles in front);
- reduction of the functional visual field of view (missing traffic signals, looking straight ahead rather than scanning around the road ahead);



- augmentation de la charge mentale, entraînant des niveaux supérieurs de stress et de frustration.
- De plus, il apparaît que :
 - les altérations associées à l'usage d'un téléphone portable au volant peuvent être aussi fortes que celles associées à la conduite sous l'emprise de l'alcool ;
 - les effets d'une conversation avec un téléphone portable sur le mode de conduite diffèrent de ceux d'une conversation avec un passager car les passagers connaissent l'environnement de la route et arrêtent généralement la conversation dans une situation de conduite dangereuse ;
 - l'usage des téléphones portables implique également souvent l'exécution de tâches secondaires qui peuvent amplifier la distraction du conducteur.
- Selon une opinion contraire, l'impossibilité d'utiliser le téléphone portable est gênante et irrite les usagers des tunnels (conducteurs et passagers). En outre, si les conducteurs savent que leur conversation sur le téléphone portable va s'arrêter dans le tunnel, cela entraîne également un pic d'activité car ils souhaitent terminer correctement leur conversation.
- En cas de véhicule en panne sur les emplacements d'arrêt d'urgence, la possibilité d'appeler le centre de contrôle du tunnel avec leur téléphone portable en composant un numéro d'urgence (du tunnel) offrirait un confort accru aux conducteurs, en particulier les personnes handicapées. Pour cela, il devrait y avoir des marquages évidents indiquant le lieu où la personne se trouve (par exemple des balises indiquant le point kilométrique de la route ou des repères identifiant les emplacements d'arrêt d'urgence, etc.).
- En cas d'incident, le conducteur pourrait appeler le centre de contrôle du tunnel ou les services de secours avec son téléphone portable en composant le numéro d'urgence du tunnel. Cette solution serait beaucoup plus rapide que le trajet jusqu'à un poste de secours. Le risque qu'un nombre excessif d'usagers des tunnels appellent le même numéro serait assez faible car seul un nombre limité d'usagers des tunnels verrait l'incident.
- Afin de garantir une liaison rapide avec le centre de contrôle du tunnel, la solution optimale consisterait à renvoyer directement au centre de contrôle du tunnel les appels passés de l'intérieur du tunnel sur le numéro d'urgence général (par exemple 112 dans de nombreux pays de l'Union européenne, 999 au Royaume Uni, 911 aux Etats Unis, etc.). Si cela n'est pas possible, un numéro d'urgence propre au tunnel devrait être communiqué aux usagers des tunnels. Cette solution présente toutefois de nombreux inconvénients, dont la surcharge d'informations pour les conducteurs lorsqu'ils approchent du tunnel, la difficulté à retenir le numéro, etc.

- longer reaction times to detect and respond to unexpected events;
- increased mental workload, resulting in higher levels of stress and frustration.

- Moreover it appears that:
 - the impairments associated with using a mobile phone while driving can be as profound as those associated with driving while intoxicated by alcohol;
 - the impact of talking on a mobile phone on driving performance differs from that of holding a conversation with a passenger, as passengers are aware of the road environment and generally let the conversation lapse during a dangerous driving situation;
 - mobile phone use also often involves the performance of secondary tasks that may further distract the driver.
- A counter opinion is that not being able to use the mobile phone is uncomfortable and will irritate tunnel users (drivers and passengers). Moreover if drivers know that their mobile conversation will come to an end when in the tunnel, this also results in a high peak in workload as they want to properly finish their conversation.
- In case of broken-down cars in lay-bys it would be more comfortable for the drivers, especially the disabled, if they could call the tunnel control centre with mobile phones by means of a (tunnel) emergency number. To enable this there should be clear markings of your location (e.g. marker posts indicating the kilometrage of the road or marks identifying the lay-bys etc).
- In event of an incident the driver could call the tunnel control centre or rescue services with a mobile phone by means of a tunnel emergency number. This would be much quicker than walking to an emergency station. The risk that too many tunnel users would call the same number may not be that great, as only a limited number of tunnel users will see the incident.
- In order to ensure expedient connection to the tunnel control centre the optimal solution would be to redirect calls that are made from inside the tunnel to the general emergency number (e.g. 121 in many EU countries, 999 in the UK, 911 in the US etc) directly to the tunnel control centre. If that is not possible a special tunnel emergency number should be publicised to tunnel users. This solution however has many disadvantages including the overload of information of drivers when approaching the tunnel, difficulty in remembering the number etc.



- Les progrès technologiques pourraient permettre prochainement la transmission d'un message d'alerte aux téléphones portables de zones désignées (cellules géographiques) par le biais de messages sur les téléphones portables. Pour cela, il sera nécessaire d'activer un canal spécialisé sur les téléphones portables. En plus des messages texte écrits (SMS), des messages vocaux peuvent être reçus avec une solution mains libres. En 2006, des expériences pilotes avec ce type d'avertissement des usagers de la route (mais pas des tunnels !!), et d'autres groupes cibles, ont été réalisées aux Pays Bas (les résultats ne sont pas encore connus).

Mesures complémentaires recommandées

- Demander aux conducteurs d'arrêter leur conversation au téléphone portable longtemps (1 à 2 km) avant l'entrée dans un tunnel, même lorsqu'ils utilisent un kit mains libres.
- Cette mesure devrait être diffusée dans le cadre des leçons de conduite et dans des campagnes d'information.
- Compte tenu des opinions différentes, parfois contradictoires, de différents pays, associées au rythme d'évolution des installations et services nouveaux de téléphonie mobile, l'AIPCR ne souhaite pas effectuer de recommandations concernant la couverture de téléphonie mobile dans les tunnels tant qu'il n'y aura pas un accord international à ce sujet.

► 5.8. ALERTE DES USAGERS DES TUNNELS DANS LES CAS D'URGENCE

Objectifs

L'objectif de ce paragraphe est de donner une vue générale des moyens de prévenir les usagers des tunnels qu'il faut évacuer le tunnel dans les situations d'urgence.

Mesures minimales existantes

Selon la directive européenne, un centre de contrôle est nécessaire pour les tunnels d'une longueur supérieure à 3000 m et dont le niveau de trafic est supérieur à 2000 véhicules par voie.

Des équipements destinés à arrêter les véhicules en cas d'urgence sont recommandés tous les 1000 m. Ces équipements doivent être constitués de feux de circulation et éventuellement de dispositifs supplémentaires comme des haut-parleurs, des panneaux à messages variables et des barrières.

Des équipements d'interruption des retransmissions radio sont nécessaires pour les tunnels munis d'un poste de contrôle et où la retransmission de stations destinées aux usagers est assurée.

- Technological developments may soon enable an alarm message to be transmitted to those mobile phones in designated areas (geographic cells) via a cell broadcast. To achieve this it will be necessary to activate a dedicated channel on mobile phones. In addition to written text messages (SMS) also spoken messages can be received hands free. In 2006 pilot experiments with this means of alerting road (though not tunnel!!) users (and other target groups) have been held in the Netherlands (results not yet known).

Recommended additional measures

- Advise drivers to cut their mobile conversation long before (1-2 km) entering a tunnel, even when using hands free devices.
- This should be disseminated during driving lessons and in information campaigns.
- Owing to the various, sometimes contradictory, opinions from different countries coupled with the pace of development of new mobile phone based facilities and services, PIARC declines to make recommendations concerning the provision of mobile phone coverage for tunnels until appropriate international consensus is achieved.

► 5.8. ALERTING TUNNEL USERS IN EMERGENCY CASES

Objectives

The objective of this section is to give an overview of means to alert tunnel users to evacuate to evacuate from the tunnel emergency situations.

Existing minimum measures

According to the EU-Directive a control center is necessary for tunnels longer than 3000.m and a traffic volume higher than 2000 vehicles per lane.

Equipment to stop vehicles in the event of an emergency is recommended every 1000 m. This equipment shall consist of traffic signals and possibly additional means such as loudspeakers, variable message signs and barriers.

Radio-interrupting equipment is required for tunnels with a control station and where re-broadcasting of channels intended for tunnel users is available.



Discussion

L'expérience acquise et les travaux expérimentaux ont montré que les usagers des tunnels ont besoin de messages clairs et concis pour abandonner leur véhicule et évacuer le tunnel. L'alerte d'évacuation devrait provenir de plusieurs canaux (visuels, sonores, personnes montrant le chemin, panneaux dynamiques, etc.).

Par ailleurs, le groupe d'experts de la CEE ONU sur la sécurité des tunnels routiers a ajouté dans l'additif 1 [54] à son rapport la recommandation 1.12 : il faudrait développer et mettre en oeuvre des systèmes harmonisés à l'échelle internationale (sirènes, feux clignotants, etc.) pour informer les conducteurs, en cas d'incendie, qu'ils doivent sortir rapidement de leur véhicule et se diriger immédiatement vers l'issue de secours du tunnel la plus proche.

Les moyens possibles sont les suivants :

- émettre les mêmes alarmes sonores d'incendie que pour les incendies dans les bâtiments publics ;
- interrompre les stations de radio avec un message ;
- systèmes de sonorisation (haut-parleurs) ;
- activation de l'éclairage et des sirènes d'évacuation ;
- messages sur des panneaux à messages variables ;
- messages de texte spécifiques pré-enregistrés (*figure 39*) ;
- un autre outil prometteur pour prévenir les usagers des tunnels est constitué par les systèmes de navigation embarqués de pointe (ou systèmes d'information et de communication des véhicules). Nakahori et al. [31] décrivent la manière dont chaque véhicule qui se trouve dans le tunnel peut recevoir une alerte sous forme de message oral, la position de l'incendie sur la carte routière et l'itinéraire d'évacuation sur un plan spécial. Pour obtenir cette fonctionnalité, il faut modifier le système de diffusion dans le tunnel et l'outil de navigation.



Figure 39 : message d'alarme spécifique pré-enregistré utilisé dans le tunnel de Westerschelde (les mots néerlandais "stap uit" signifient "sortez de votre véhicule")

Mesures complémentaires recommandées

- Dans tous les tunnels, le message d'évacuation devrait provenir de plusieurs canaux d'information différents.

Discussion

Experience and experiments have made it clear that tunnel users need clear and concise messages to leave their vehicles and to evacuate. The alert to evacuate should derive from several channels (visual, auditory, people showing the right way, dynamic signs etc.).

Also the UN/ECE group of experts on safety in road tunnels in the addendum 1 [54] to their report added recommendation 1.12: Internationally harmonized systems (sirens, flashing lights, etc.) should be developed and implemented to inform drivers in the event of a fire that they have to leave their vehicles without delay and proceed immediately to the nearest emergency exit in the tunnel.

Possible means are:

- Give the same fire alarm sounds as in case of a fire in public buildings;
- Interrupting radio stations with a message;
- Public Address systems (loudspeakers);
- Switching on the evacuation lighting and sirens;
- Messages on VMS-panels;
- Pre-recorded dedicated text messages (*figure 39*);
- another promising tool to alert tunnel users are the advanced in-vehicle route navigation systems (or Vehicle Information and Communication Systems). Nakahori et al. [31] describe how every vehicle in the tunnel can receive an alert as a verbal message, the fire location on the route map and the evacuation route on a specific drawing. To achieve this functionality the tunnel broadcasting system and the navigation tool must be modified.



Figure 39: Pre-recorded dedicated alarm text message applied in the Westerschelde Tunnel (NL "stap uit" means "leave your vehicle")

Recommended additional measures

- In all tunnels the message to evacuate should be delivered from several different information channels.



- Encourager l'utilisation de technologies embarquées améliorées permettant d'interfacier une signalisation spécifique provenant des systèmes du tunnel.
- Harmoniser les alarmes au niveau international.

► 5.9. ITINÉRAIRES D'ÉVACUATION ET ISSUES DE SECOURS

Objectifs

L'objectif des itinéraires d'évacuation et des issues de secours consiste à permettre de fuir les situations dangereuses le plus rapidement possible. Cet objectif comprend :

- l'utilisation de panneaux indiquant la direction à suivre pour trouver les sorties ;
- l'identification des issues de secours lorsque la fumée diminue la visibilité.

Mesures minimales existantes

La directive européenne contient des prescriptions relatives aux itinéraires d'évacuation et aux issues de secours. La construction d'abris sans sortie conduisant à des voies d'évacuation vers l'extérieur est interdite. Lorsqu'il existe des issues de secours, la distance entre deux issues de secours ne doit pas dépasser 500 m.

La directive européenne prescrit une signalisation, qui devraient être des panneaux G conformes à la convention de Vienne, pour indiquer les issues de secours (*figure 40*).

En ce qui concerne les voies d'évacuation vers les issues de secours, la directive européenne prescrit, pour les deux issues de secours les plus proches, la présence de panneaux sur les parois du tunnel à une distance maximale de 25 m, à une hauteur d'1,0 à 1,5 m au-dessus du niveau des itinéraires d'évacuation, avec une indication des distances jusqu'aux sorties (*figure 40*).

Un autre moyen permettant de trouver le chemin vers les issues de secours est un éclairage d'évacuation à une hauteur maximale d'1,5 m.

Discussion

- Les panneaux directionnels G24 utilisés pour diriger les personnes qui s'évacuent vers les issues de secours peuvent ne pas être visibles dans la fumée. De plus, l'éclairage d'évacuation prescrit dans la directive européenne présente un intérêt limité dans la fumée dense, indiquant que d'autres moyens de guidage des personnes qui s'évacuent sont nécessaires dans cette situation.
- Les travaux de recherche et l'expérience ont montré que, dans les situations dangereuses, les usagers des tunnels pensent qu'ils peuvent trouver un abri

- Encourage the use of enhanced in-vehicle technologies to which dedicated signalling from tunnel systems can be interfaced.
- Harmonise alarms at the international level.

► 5.9. ESCAPE ROUTES AND ROUTING AND EMERGENCY EXITS

Objectives

The objective of escape routes and routing and emergency exits is to provide escape from dangerous situations as soon as possible. This includes:

- The use of signs to indicate which direction to take to find the exits;
- The identification of the emergency exits when smoke causes obscuration.

Existing minimum measures

The EU-Directive contains prescriptions regarding escape routes and emergency exits. The construction of shelters without an exit leading to escape routes to the open is prohibited. Where emergency exits are provided the distance between two emergency exits shall not exceed 500 m.

The EU-Directive prescribes signs, which should be G signs according to the Vienna Convention, to indicate emergency exits (*figure 40*).

Concerning the escape routes to emergency exits the EU-Directive prescribes that the two nearest emergency exits shall be signed on the sidewalls of the tunnel at distances of no more than 25 m, at a height of 1.0 to 1.5 m above escape route level, with an indication of the distances to the exits (*figure 40*).

Another means to find the way to the emergency exits is evacuation lighting at a height of no more than 1.5 m.

Discussion

- The direction signs G24 used to direct evacuees to the emergency exits may not be visible in smoke. In addition the evacuation lighting as prescribed in the EU-Directive has a limited value in dense smoke, indicating that other means to guide evacuees in this situation are required.
- Both research and experience have made it clear that when in dangerous situations, tunnel users think that behind each door there might be a safe place,



sûr derrière chaque porte tout en hésitant à ouvrir les portes de secours car ils ne savent pas ce qui se trouve derrière ces portes.

- Les travaux expérimentaux et l'analyse des événements réels ont montré qu'il peut être difficile d'identifier les issues de secours en cas d'incendie et de présence de fumée.
- Différents panneaux sont utilisés au niveau international pour identifier les issues de secours. L'absence d'uniformité entre les panneaux utilisés dans les aéroports, sur les ferries, dans les hôtels, etc. est regrettable (chacun a ses propres panneaux internationaux).
- On peut douter que les usagers des tunnels, dans les conditions normales de circulation, remarquent la présence d'issues de secours avec les simples panneaux G,23. Sur un plan « facteurs humains », la conception globale des sorties devrait être bien visible, sans attirer l'attention de manière excessive. Les personnes devraient pouvoir les voir mais elles ne doivent pas attirer l'attention par des feux clignotants, etc. Les feux clignotants ne devraient être autorisés (et sont recommandés) qu'en cas de nécessité d'évacuer.

Mesures complémentaires recommandées

- L'éclairage interne permanent des panneaux G23 et G24 est recommandé.
- En cas d'urgence, il serait préférable que seules les flèches indiquant la bonne direction soient visibles.
- Des panneaux directionnels supplémentaires, venant s'ajouter aux panneaux exigés par la directive européenne pour indiquer l'emplacement des issues de secours, sont nécessaires (cf. section suivante pour des exemples).
- Un travail international est préconisé pour parvenir à une signalisation uniforme et harmonisée des issues de secours.

but at the same time they are afraid to open emergency doors because they don't know what is behind them.

- Both experiments and analysis of real events has shown that identifying emergency exits in case of fire and smoke can be difficult.
- Various signs are used internationally to identify emergency exits. It is regrettable that there is no uniformity between the signs used in airports, ferries, hotels etc - each has its own international signs.
- It is doubtful whether tunnel users in normal traffic will notice the presence of emergency exits from the simple G23 signs. From a "human factors" perspective the holistic design of the exits should be conspicuous, without attracting too much attention. People should be able to see them but they shall not attract attention by means of flashing lights etc.. Flashing lights shall only be permitted (and are recommended) in case of the need to evacuate.

Recommended additional measures

- It is recommended to internally illuminate the G23 and G24 –signs permanently.
- It would be best in an emergency if only arrows in the right direction were shown.
- Additional direction signs, supplementary to those required by the EU-Directive to indicate the location of emergency exits, are necessary (for examples see the next section).
- International efforts should be undertaken to achieve uniform and harmonised signage for emergency exits.

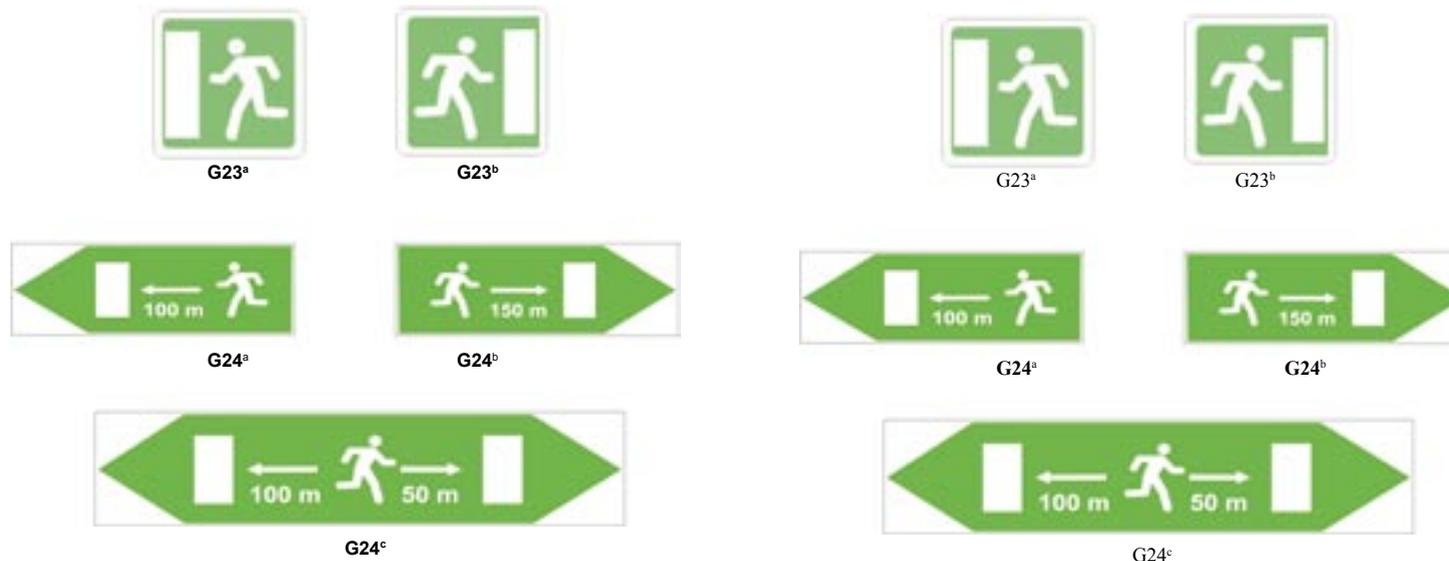


Figure 40 : Les panneaux G indiquant les issues de secours et les directions avec la distance à parcourir jusqu'aux issues de secours selon la convention de Vienne relative aux panneaux et signaux routiers

Figure 40: The G-signs indicating emergency exits and directions with distance to emergency exits according to the Vienna Convention on Road Signs and Signals



- L'existence des issues de secours devrait être visible pour les usagers des tunnels dans les situations normales de circulation grâce à des conceptions visibles. Les issues de secours devraient toujours être vertes ; la porte devrait être signalée par de gros panneaux d'évacuation situés à proximité de la porte, voire sur la porte ; l'utilisation d'importantes surfaces vertes comprenant les parois autour des sorties est recommandée.
- Dans une situation d'urgence, il faudrait renforcer la visibilité des issues de secours en utilisant une signalisation visuelle et/ou tactile et/ou sonore. Outre l'utilisation de balises sonores, une conception satisfaisante devrait garantir que les issues sont entourées de lumières vertes qui clignotent lorsque l'évacuation s'impose.
- Dans la mesure du possible, on devrait pouvoir ouvrir les issues de secours sans forcer, comme pour des portes normales. Si cela n'est pas possible, il faudrait clairement indiquer la manière d'ouvrir la porte.

Exemples

Identification des issues de secours dans les conditions normales de circulation

Des travaux de recherche (ACTEURS, France) ont démontré que d'importantes surfaces vertes sur les parois des tunnels attirent l'attention et sont facilement reconnues (*figure 41* et *figure 42 page suivante*).



Figure 41 : conception possible d'une issue de secours (France)

- The existence of emergency exits should be visible to tunnel users in normal traffic situations by the use of conspicuous designs. The emergency exits should always be green; the door should be indicated with large evacuation signs close to or even on the door; the use of extensive green areas that include the side-walls all around the exits is recommended;
- When an emergency situation occurs, the conspicuity of the emergency exits should be enhanced by the use of visual and/or tactile and/or acoustical signalling. In addition to the use of sound beacons, a good design would ensure that the exits are equipped with green lights all around them that flash when evacuation is required;
- If possible the emergency exits should be opened with little force the same way as normal doors. If that is not possible it should be clearly indicated how the doors have to be opened.

Exemples

Identifying emergency exits in normal traffic situations

Research (ACTEURS, France) has demonstrated that extensive green areas along the tunnel walls attract positive attention and are easily recognised (*figure 41* and *figure 42 following page*).



Figure 41: Possible design of an emergency exit (France)

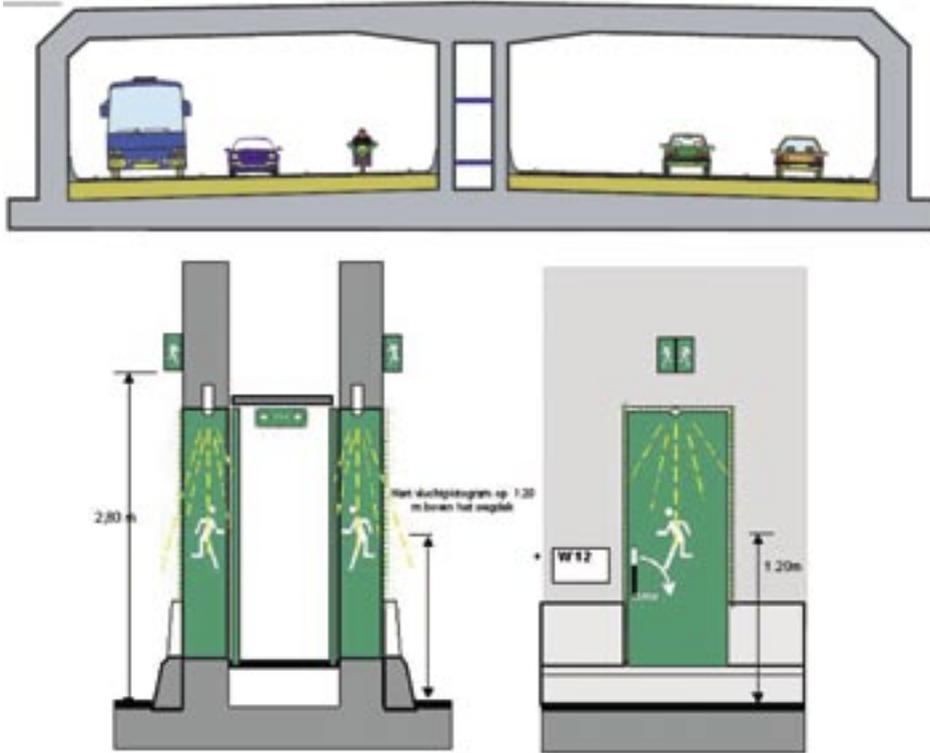


Figure 42 : section transversale type d'un tunnel immergé avec galerie de sécurité parallèle entre les tubes du tunnel et conception de l'issue de secours selon les textes néerlandais

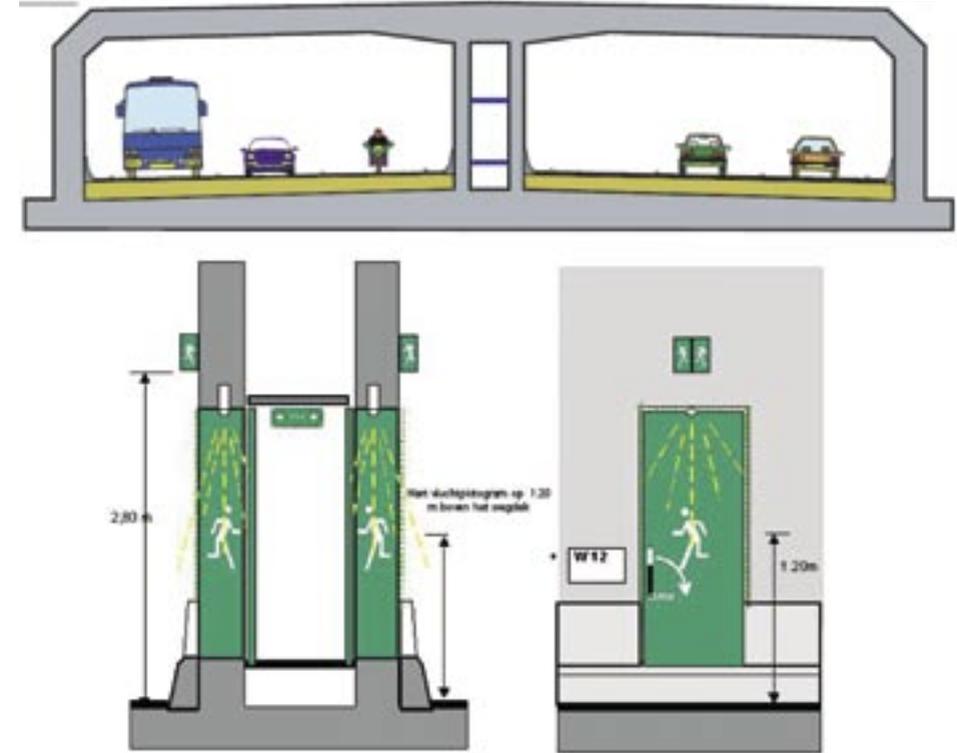


Figure 42: Typical cross section of immersed tunnel with parallel escape gallery between the tunnel tubes and design of emergency exit according to Dutch guidelines

Guidage supplémentaire vers les issues de secours

Exemples : le fil d'Ariadne dans les tunnels du Mont Blanc et du Fréjus ([figure 6 page 50](#)) et les lumières dans les avions menant aux issues de secours.

La société Mines Rescue Service Limited (MRSL) a étudié la littérature relative aux technologies de guidage disponibles dans le cadre du projet UPTUN. MRSL a également développé un système innovant et simple à installer de détection des incendies et d'aide à l'évacuation. Celui-ci possède des fonctions uniques, dont le guidage dynamique des usagers des tunnels, reposant sur la température et la concentration de monoxyde de carbone dans certaines zones du tunnel. Ce système combine des signaux sonores, des informations tactiles (on peut tenir le fil rouge qui se déplace dans la direction d'évacuation) et des panneaux visibles ([figure 43 page suivante](#)). Il serait préférable que les flèches soient vertes, comme le panneau d'évacuation.

Extra guidance to emergency exits

Examples are: the thread of Ariadne in the Mont Blanc and Fréjus tunnels ([figure 6 page 51](#)) and the floor lights in air planes leading to the emergency exits.

The Mines Rescue Service Limited (MRSL) reviewed literature regarding available guidance technologies as part of the UPTUN project. MRSL also developed a simple-to-install innovative fire detection/evacuation support system. It includes certain unique features, including dynamic guidance of the tunnel user, based on temperature and the concentration of carbon monoxide in specific areas of the tunnel. It combines auditory signals, tactile information (one can hold the red wire, which also moves in the right evacuation direction) and visible signs ([figure 43 following page](#)). It would be better to have the arrows in green, just as the evacuation sign.



Renforcement de la visibilité des issues de secours

Il est possible de renforcer la **signalisation visuelle** des issues de secours à l'aide de diodes électroluminescentes clignotantes autour de la porte dans une situation d'urgence.



Figure 43 : balise prototype innovante

Enhancing the conspicuity of emergency exits

Visual signalling of emergency exits can be achieved by flashing LED's around the doors during an emergency situation.



Figure 43: Prototype INNOVATIVE beacon

Figure 44 : exemple d'issue de secours encadrée de diodes électroluminescentes (allumées uniquement en cas d'urgence), avec pictogramme de l'issue de secours allumé en permanence et balise sonore au-dessus de la sortie. (Pays Bas)

Il est possible d'assurer la **signalisation sonore** des issues de secours à l'aide de balises sonores. Des expériences ont été réalisées aux Pays Bas avec des "jingles sonores" suivis du message oral « sortez ici » [13]. Le message oral était destiné à répondre aux attentes des personnes en détresse qui cherchent un abri. Une voix masculine a été choisie pour sa capacité à faire passer la détermination et l'urgence, tout en évitant les nuances menaçantes ou formelles. Le texte oral garantissait la possibilité de localiser la sortie ; les résultats ont été très satisfaisants. En raison de ces bons résultats, l'utilisation de ce type de balises sonores dans tous les tunnels est recommandée.



Les balises sonores sont également utiles lorsque la visibilité est bonne. La répétition continue du message « sortez ici » aide les automobilistes à comprendre qu'ils doivent sortir de leur voiture et trouver un abri ou évacuer le tunnel. Ainsi, les balises peuvent contribuer à faire sortir de leur passivité initiale les automobilistes surpris par la situation d'urgence. La langue du pays peut également précéder ou suivre les mots anglais "Exit Here". Cette solution a été aussi adoptée dans les essais néerlandais.

Figure 44: Example of emergency exit with LED-frame (lighting only in case of emergency), permanently illuminated pictogram for emergency exit and sound beacon above the exit (The Netherlands)

Acoustical signalling of emergency exits can be achieved by using sound beacons. In the Netherlands experiments were carried out with "dinner-bell" sounds followed by the spoken message "exit here" [13]. The spoken message was intended to suit the expectations of people in distress, who are looking for refuge. A male voice was chosen for its ability to convey determination and urgency, while avoiding threatening or casual undertones. The spoken text ensured that the exit could be located; the results were extremely good. Owing to these good results the use of this particular type of sound beacons in all tunnels is recommended.



Sound beacons will also be useful when visibility is good. The continuous repetition "exit here" will help motorists to understand that they should leave their car and find refuge or evacuate. In this way the beacons can help to overcome the initial passivity of motorists that have been surprised by the emergency. The language of the specific country can also precede or follow the English wording "Exit Here". This was also done in the Dutch tests.



► 5.10. AU-DELÀ DES ISSUES DE SECOURS

Objectifs

Après avoir franchi les issues de secours, les usagers des tunnels devraient être guidés vers l'extérieur.

Mesures minimales existantes

La directive européenne comporte une référence à l'attention qu'il convient d'apporter aux usagers qui évacuent les tunnels. Elle concerne les abris et autres installations dans lesquels les usagers doivent attendre avant de pouvoir gagner l'air libre et prescrit leur équipement en haut-parleurs pour la transmission d'informations aux usagers.

Discussion

Il existe différentes solutions pour amener en lieu sûr les personnes qui s'évacuent une fois qu'elles ont franchi les issues de secours :

- sorties directes du tunnel vers l'extérieur,
- galeries de communication entre les tubes du tunnel,
- galerie de sécurité ou galerie entre les tubes du tunnel débouchant à l'air libre,
- abris avec une voie d'évacuation séparée du tube du tunnel.

Les personnes qui s'évacuent et ont franchi les issues de secours devraient être guidées vers la zone sûre à l'aide de panneaux et d'instructions orales. La gestion de l'évacuation devrait garantir la diffusion continue de messages rassurants. Les personnes qui s'évacuent ne devraient pas s'arrêter derrière la porte mais continuer jusqu'à la zone sûre. Si elles commencent à hésiter, elles sont susceptibles de faire demi-tour et de revenir à leur véhicule, comme des tests l'ont montré.

Mesures complémentaires recommandées

Afin d'améliorer encore le guidage une fois que les usagers des tunnels ont franchi les issues de secours, des exemples sont décrits ci-après.

Sorties directes

Ces installations comprennent des galeries qui permettent aux utilisateurs d'atteindre directement l'air libre par un couloir ou un escalier. A l'intérieur des galeries de sécurité, il est possible d'utiliser des flèches vertes supplémentaires (*figure 45*) pour inciter les usagers à continuer dans cette direction. Il est aussi possible d'ajouter un texte supplémentaire indiquant la distance à parcourir jusqu'à la sortie.



Figure 45 : flèche verte proposée pour indiquer la direction de la sortie à l'air libre à l'intérieur des sorties directes vers l'extérieur

► 5.10. BEHIND THE EMERGENCY EXITS

Objectives

After having passed the emergency exits tunnel users should to be guided to the outside.

Existing minimum measures

In the EU-directive there is one reference to attention to evacuating tunnel users. It concerns shelters and other facilities where users must wait before they can reach the outside and prescribes that these facilities shall be equipped with loudspeakers for the provision of information to users.

Discussion

There are various solutions to lead escaping people to a safe place after having passed the emergency exits:

- direct exits from the tunnel to the outside,
- cross connections between tunnel tubes,
- emergency gallery between the tunnel tubes leading to the open area,
- shelters with an escape route distinct from the tunnel tube.

Evacuees having passed the emergency exits should be guided by signs and spoken instructions towards the safe area. Evacuation management should ensure that messages of reassurance are continued. They should not stop behind the doors but continue walking to the safe area. If they start to hesitate they will maybe turn and go back to their vehicles as tests have shown.

Recommended additional measures

In order to further improve the guidance after tunnel users have passed the emergency exits, some examples are described hereafter.

Direct exits

Such facilities include galleries which allow the users to proceed directly to open areas via a corridor or stairs. Inside the escape galleries supplementary green arrows (*figure 45*) can be used to reassure users to continue in this direction. Supplementary text indicating the distance to the exit could also be included.



Figure 45: Proposed green arrow to indicate the direction to the open area inside direct exits to the open



Galeries de communication entre les tubes du tunnel

Dans certaines configurations, par exemple de nombreuses tranchées couvertes, les tubes ne sont séparés que par une mince paroi. Dans ces cas, les portes de séparation devraient être actionnées à l'aide d'un levier horizontal et s'ouvrir dans les deux directions ou être coulissantes.

Dans d'autres configurations (comme cela est fréquemment le cas dans les tunnels creusés), les tubes peuvent être distants de plusieurs mètres, voire plusieurs dizaines de mètres. Dans ces installations, la galerie de communication est un couloir dont les deux extrémités sont fermées par des portes.

Une galerie de communication peut être empruntée dans les deux directions. Par conséquent, la signalétique à l'intérieur d'une galerie de communication n'indique aucune direction de sortie. Pour cette raison, les flèches sont déconseillées pour indiquer la direction à emprunter à l'intérieur d'une galerie de communication. Les galeries de communication devraient être allumées en cas d'urgence. L'emploi de marquages photo-luminescents ou de plots lumineux (directionnels ou non directionnels) garantissant la continuité lumineuse du cheminement peut se révéler utile en cas de défaillance de l'éclairage dans ces galeries inter-tubes (**figure 46**). Les personnes qui s'évacuent devraient être incitées à quitter la galerie de communication par des messages diffusés par haut-parleurs. Même si elle est pressurisée et équipée de portes d'une résistance au feu de 2 heures, la galerie de communication n'est pas conçue pour offrir un abri sûr à long terme. Elle n'est qu'un lieu de sécurité transitoire en attendant l'arrêt de la circulation dans le deuxième tube.



Figure 46 : exemple de galerie de communication avec et sans éclairage. Notez les points photo-luminescents et auto-adhésifs sur le sol guidant vers la porte de l'autre tube.

Cross connections between tunnel tubes

In some configurations, e.g. many cut-and-cover tunnels, there is only a thin wall separating the tubes. In these cases the separating doors should be opened by a horizontal lever and opening in both directions or a sliding door could be used.

In other configurations (as is frequently the case in excavated or bored tunnels) the tubes can be separated by several metres or even several tens of metres. In such installations the connection gallery is a corridor closed at both ends by doors.

A connection gallery may be passed through in either direction. Consequently the signage inside a connection gallery does not indicate any exit direction. For this reason arrows are not recommended to indicate the walking direction inside a connection gallery. The connection galleries should be lit in case of emergency. The use of photo-luminescent marks or luminous studs (either directional or non-directional) that ensure the luminous continuity of the walkway may prove useful in case of lighting failure in these inter-tube galleries (**figure 46**). Evacuees should be encouraged by means of loudspeaker messages to leave the connection gallery. Even if it is pressurised and provided with doors with a 2-hour fire resistance, the connection gallery is not designed to provide a safe long term refuge. It is only a location of transitional safety pending cessation of the traffic flow in the second tube.



Figure 46: Example of cross connection with and without lighting. Note the photo-luminescent and self-adhesive dots on the pavement guiding to the door of the other tube.



Il ne faut donc pas utiliser le panneau indiquant une porte de secours (*figure 40 page 154*, G23) dans les galeries de communication. Le mot EXIT (sortie) devrait être apposé à l'arrière de chaque porte. (Malheureusement, ce mot n'est pas placé sur l'arrière des portes dans l'exemple de la *figure 46*). Les dimensions du panneau devraient être adaptées de manière à ce qu'il soit lisible par un utilisateur situé à l'autre extrémité de la galerie. L'utilisation de texte photo-luminescent sur fond vert ou du mot EXIT (sortie) sur fond vert est recommandée (*figure 47*).

Figure 47 : panneau proposé pour indiquer l'ouverture des portes vers le "tube sûr" ou l'air libre



The panel indicating an emergency door (*figure 40 page 155*, G23) shall therefore not be used in the connection galleries. The word EXIT should be marked on the back of each door. (Unfortunately *figure 46* does not show this word on the back of the doors). The size of the sign should be adapted so that it can be read by a user at the far end of the gallery. The use of photo-luminescent text on a green background or the word EXIT on a green background is recommended (*figure 47*).

Figure 47: The proposed panel to indicate doors opening to the "safe tube" or open area



Figure 48 : panneau pouvant servir à signaler l'éventualité d'un trafic dans le tube derrière la porte de sortie de la galerie de communication

Dans une galerie de communication entre deux tubes du même tunnel, les usagers qui évacuent la zone de danger entrent dans un couloir qui comporte deux sorties : étant donné qu'une sortie les ramène vers le danger, on peut supposer qu'ils vont utiliser spontanément l'autre porte et

être guidés vers l'autre tube. Dans cette dernière situation, ils espèrent qu'ils ne seront pas confrontés au danger qu'ils fuient. Ce tube "sûr" peut continuer à être parcouru par des véhicules lorsque ces personnes y pénètrent. Il est important que la signalétique les informe du danger potentiel qu'elles sont susceptibles de rencontrer lorsqu'elles entrent rapidement dans ce tube (*figure 48*). L'opérateur du tunnel doit appliquer la procédure pour arrêter la circulation dans le «tube d'évacuation» le plus rapidement possible.

Galleries de sécurité débouchant à l'air libre

Le panneau présenté sur la *figure 45* et proposé pour les sorties directes du tunnel vers l'extérieur devrait être appliqué dans le cas d'issues de secours menant à une galerie de sécurité.

Galleries de sécurité entre les deux tubes du tunnel aboutissant à l'air libre (Pays Bas)

Lorsqu'il existe un tunnel d'évacuation, situé entre et parallèlement aux tubes de circulation, (cf. *figure 42*), les conditions suivantes s'appliquent.

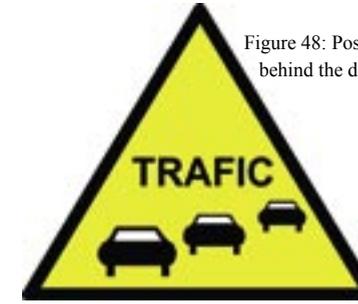


Figure 48: Possible sign to warn for possible traffic in the tube behind the door out of connection galleries

In a connection gallery between two tubes of the same tunnel, the users evacuating from the danger enter a corridor with two exits: Since one exit guides them back to the danger they can be expected to use the other spontaneously and be guided to the other tube. In this latter situation

they hope they will not be presented with the danger they are avoiding. This "safe" tube may still be carrying traffic when they enter it. It is important that signage informs them of the potential danger they may encounter when rapidly entering this tube (*figure 48*). The tunnel operator shall follow the procedure to stop traffic in the "evacuation" tube as soon as possible.

Emergency galleries leading to the open area

The sign shown in *figure 45* proposed for direct exits from the tunnel to the outside should be applied in the case of emergency exits leading to an emergency gallery.

Galleries between the tunnel tubes leading to the open area (The Netherlands)

When an evacuation tunnel, situated in between and parallel to the traffic tubes, is provided (see *figure 42*), the following applies:



Pour guider les usagers évacués vers la zone sûre, les panneaux visuels suivants sont utilisés aux Pays Bas :

- 5 m en aval des issues de secours dans la bonne direction, des panneaux du type présenté sur la **figure 49** sont montés au plafond. Ils sont répétés lorsqu'ils sont distants de plus de 50 m ;
- afin d'empêcher les personnes qui s'évacuent de prendre la mauvaise direction, des panneaux comportant le panneau C,1a sont montés au plafond 5 m en amont de l'issue de secours (**figure 50**). Ils sont répétés lorsqu'ils sont espacés de plus de 50 m ;
- afin d'empêcher les personnes qui s'évacuent d'ouvrir les portes donnant sur le tube qui n'est pas touché par l'incendie, ces portes sont équipées du panneau C, 1a de la convention de Vienne (**figure 51**).



Figure 49 : panneau monté au plafond des galeries de sécurité situées entre les tubes pour indiquer la direction et la distance à parcourir jusqu'à l'air libre

Figure 50 : panneau destiné à empêcher les personnes qui s'évacuent de prendre la mauvaise direction



Figure 51 : panneau C,1a de la convention de Vienne utilisé pour empêcher les personnes qui s'évacuent d'ouvrir les portes donnant sur les tubes de circulation

To guide evacuated tunnel users towards the safe area the following visual signs are used in the Netherlands:

- 5 m downstream of the emergency exits in the required direction panels as shown in **figure 49** are mounted at the ceiling. They are repeated when the distance between them exceeds 50 m.
- To prevent evacuees to walk in the wrong direction panels with the sign C1a are mounted at the ceiling 5 m upstream of the emergency exit (**figure 50**). They are repeated when the distance between them exceeds 50 m;
- To prevent evacuees to open doors to the tube not affected by the fire these doors are provided with the sign C1a of the Vienna Convention (**figure 51**).

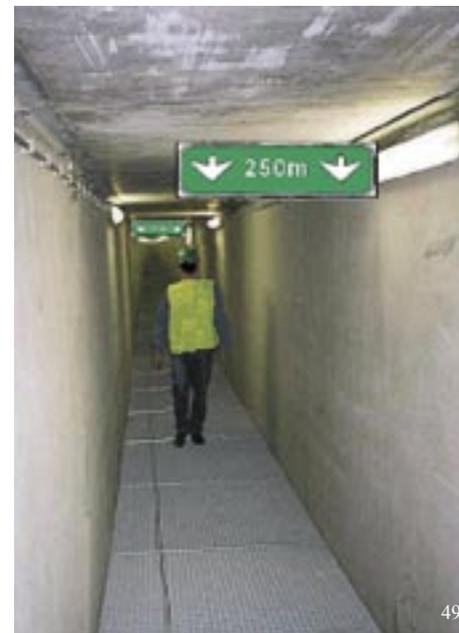


Figure 49: Panel mounted on the ceiling of escape galleries between tunnel tubes to indicate direction and distance to the open area

Figure 50: Sign to prevent evacuees to walk in the wrong direction



Figure 51: Sign C1a of the Vienna Convention used prevent evacuees from opening doors to traffic tubes



Le panneau de la **figure 47 page 166** doit être installé au-dessus des portes débouchant à l'air libre.

Abris avec un itinéraire d'évacuation distinct du tube du tunnel

A l'intérieur des abris, les personnes qui s'évacuent sont dans une espace fermé, la seule sortie les ramène vers le danger. Il est important de faire comprendre aux personnes qui s'évacuent qu'elles sont en sécurité, que leur situation est connue et sera temporaire et qu'elles ne doivent pas revenir dans le tunnel.

Elles devraient également être informées des différents équipements disponibles qu'elles peuvent utiliser lorsqu'elles se trouvent dans l'abri.

Enfin, il faudrait les rassurer pour éviter la panique qui pourrait être préjudiciable pour toutes les personnes qui ont gagné l'abri.

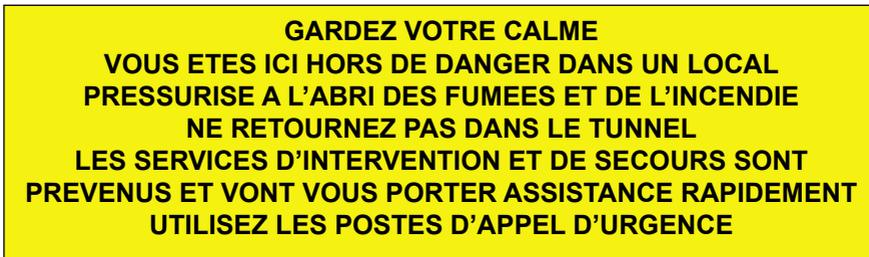


Figure 52 : exemple d'informations sur les panneaux des abris

Above doors opening to the open area the sign shown in **figure 47 page 167** will be shown.

Shelters with an escape route distinct from the tunnel tube

Inside the shelters the evacuees are in a closed room, the only exit from it brings them back to the danger. It is important to let evacuees understand that their situation is safe, is known, will be temporary and that they must not go back to the tunnel.

They should also be informed about the various available facilities that they can use when they are in the shelter.

Lastly they should be reassured to avoid panic which could be detrimental to all those who took refuge inside the shelter.



Figure 52: Example of information on panels in shelters

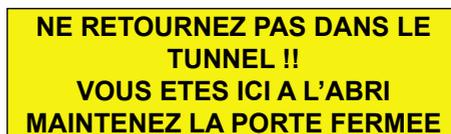


Figure 53 : panneau et texte à l'arrière des portes entre le tube du tunnel et l'abri

La **figure 52** est un exemple de signalétique répondant à ces exigences. Ce panneau devrait être installé à une hauteur permettant à plusieurs personnes de le lire simultanément. De plus, ce texte devrait être écrit au minimum dans la langue du pays et en anglais.

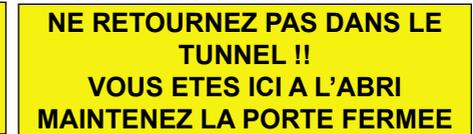


Figure 53: Sign and text on the back of doors between tunnel tube and shelter

Figure 52 gives an example of signage meeting such requirements. This panel should be installed at a height permitting several persons to read it at the same time. Moreover this text should be written in at least the native and the English languages.



Figure 54 : exemple de texte destiné à rassurer les personnes handicapées



Un panneau et un texte peuvent être affichés à l'arrière de la porte d'accès au tunnel (*figure 53*).

Une personne handicapée peut se trouver dans l'abri. Bien que l'abri soit conçu pour être accessible à tout le monde, une personne handicapée peut s'y sentir abandonnée.

Si une porte de secours de l'abri débouche sur un passage auquel les personnes handicapées ne peuvent pas accéder, elles doivent rester dans l'abri et attendre l'aide des services de secours. Afin de rassurer la personne handicapée, l'affichage d'un pictogramme identique à celui présenté sur la *figure 54* est recommandé. Ce pictogramme peut être complété par un système de communication permettant à la personne handicapée de communiquer avec la salle de contrôle.

► 5.11. INFORMATION DES USAGERS DES TUNNELS DANS LE TUBE SÛR

Objectifs

Afin de permettre aux personnes qui s'évacuent d'accéder en toute sécurité au tube non touché, il est nécessaire qu'il n'y ait plus de circulation au moins sur les voies de circulation adjacentes aux issues de secours.

Mesures minimales existantes

Il n'existe aucune réglementation de ce type.

Discussion

Pour les tunnels équipés de galeries de communication entre les deux tubes de tunnel, les personnes qui s'évacuent doivent s'engager dans les galeries de communication et y rester jusqu'à ce que la porte menant au tube sûr puisse être ouverte. Cette information peut leur être communiquée par haut-parleurs. Si le tunnel est long, il peut s'écouler quelques minutes avant que tous les véhicules

Figure 54: Example of text to reassure handicapped persons



A sign and a text could be displayed on the back of the tunnel access door (*figure 53*).

A disabled person might be inside the shelter. Although the shelter is designed to be accessed by everybody, a disabled person may feel abandoned in it.

If an escape door from the shelter opens to a way that the disabled cannot access they shall stay there and wait for the rescue services to provide assistance. In order to reassure the disabled person the display of a pictogram similar to the one shown in *figure 54* is recommended. This pictogram may be complemented by a communication system that allows the disabled person to communicate with the control room.

► 5.11. INFORMING TUNNEL USERS IN THE SAFE TUNNEL TUBE

Objectives

In order to enable safe access to the unaffected tube for the evacuees it is necessary to clear traffic at least from traffic lanes adjacent to the emergency exits

Existing minimum measures

There are no such regulations.

Discussion

For tunnels with cross passages between the two tunnel tubes, evacuees have to enter the cross passages and stay there until the doors towards the safe tube can be opened. This may be communicated to them by means of loudspeakers. If the tunnel is long it may take a few minutes before all traffic has driven out of the safe tube and no more vehicles permitted to enter it. The Westerschelde tunnel



soient sortis du tube sûr et que plus aucun véhicule ne soit autorisé à y entrer. Le tunnel de Westerschelde utilise cette méthode d'évacuation ; une nouvelle stratégie de gestion a été élaborée.

Les essais réalisés sur un simulateur de conduite ont montré qu'il était impossible de faire arrêter les voitures [27]. Les personnes continuent à rouler tant que les autres véhicules continuent eux aussi à rouler. La stratégie la plus efficace a consisté à commencer par afficher une flèche jaune/blanche « changez de voie » au-dessus de la voie gauche et à faire appliquer une vitesse limite de 70 km/h (la vitesse limite normale est de 80 km/h) au-dessus de la voie de droite pendant 10 secondes. Au milieu des panneaux à messages variables du tunnel, un autre panneau affiche un triangle rouge avec une silhouette qui s'enfuit, venant de la gauche. Ensuite, la flèche « changez de voie » au-dessus de la voie gauche se transforme en croix rouge et la vitesse sur la voie droite est ramenée à 50 km/h pendant 10 secondes également. Enfin, la vitesse limite est réduite à 30 km/h et est affichée en continu. De plus, les panneaux au-dessus des voies sont accompagnés de feux orange clignotants dans les angles des panneaux à messages variables pour indiquer la nécessité d'agir rapidement, en plus de la meilleure visibilité de la signalétique.

Plus aucun véhicule ne se trouvait sur la voie gauche dans un délai de 30 secondes.

Mesures complémentaires recommandées

Dans un tube sûr, il faudrait utiliser une signalisation comme par exemple celle présentée sur la **figure 55** pour libérer le plus rapidement possible la voie de dépassement.



Figure 55 : dégagement de la voie de dépassement selon la procédure adoptée dans le tunnel de Westerschelde (Pays Bas)

employs this evacuation method; a new strategy has been developed to manage it.

In a driving simulator it was shown that bringing cars to a complete stop was not possible [27]. People keep on driving as long as the other traffic keeps on driving. The most successful strategy was to first show a yellow/white “change lane” arrow above the left lane and to introduce a speed limitation of 70 km/h (normal speed limit is 80 km/h) above the right lane for 10 seconds. In the middle of the tunnel signing matrix panels another panel shows a red triangle with an escaping figure, coming from the left. Then the “change lane” arrow above the left travelling lane is changed to a red cross and the speed on the right travelling lane is further restricted to 50 km/h for another 10 seconds. Finally the speed limit is reduced to 30 km/h and is shown continuously. In addition, the signs above the lanes are accompanied by alternating amber lights in the corners of the matrix panels which indicates the need to act speedily in addition to increasing the conspicuity of the signage.

The left travelling lane was found to be cleared of all traffic within 30 seconds.

Recommended additional measures

In a safe tube signalling such as shown in **figure 55** should be used to clear the overtaking lane as soon as possible.



Figure 55: Clearing the overtaking lane according to the procedure adopted in the Westerschelde Tunnel (the Netherlands)