

LA SÉCURITÉ INCENDIE DANS LES TUNNELS PROGRESSE RAPIDEMENT GRÂCE À LA MISE EN COMMUN DES EFFORTS

par Alfred HAACK
Ancien Président de l'Association Internationale
des Travaux en Souterrain (AITES)

Didier LACROIX
Président du Comité technique AIPCR
de l'Exploitation des tunnels routiers (C3.3)

INTRODUCTION

Comme indiqué dans l'éditorial, les tunnels jouent un rôle toujours croissant pour assurer les grandes liaisons au travers des régions géographiquement difficiles ou la mobilité en zone urbaine. Leur sécurité est cruciale pour sauver des vies, mais aussi pour éviter la méfiance des usagers, qui porteraient préjudice au développement économique. C'est pour ces raisons que l'AIPCR et l'AITES s'impliquent de longue date dans la sécurité dans les tunnels.

La menace principale est l'incendie, parce que l'espace souterrain confiné gêne l'évacuation de la fumée et de la chaleur, et rend difficile pour les usagers de s'échapper. Ceci a été démontré d'une façon spectaculaire par les incendies catastrophiques qui ont eu lieu durant les dernières années dans des tunnels de tous types. Ces incendies ont conduit à une nouvelle prise de conscience et à de nombreuses initiatives visant à améliorer la sécurité incendie en tunnel.

Le présent article définit le cadre de ce numéro spécial de Routes/Roads. Il illustre l'importance économique des tunnels et l'impact des récents incendies. Il fournit un aperçu global des développements actuels des recommandations et de la recherche au niveau mondial, et

TUNNEL FIRE SAFETY IS QUICKLY PROGRESSING THANKS TO COOPERATIVE EFFORTS

by Alfred HAACK (Germany)
Former President, International Tunnelling
Association (ITA)

Didier LACROIX (France)
Chairman, PIARC Technical Committee
on Road Tunnel Operation (C3.3)

INTRODUCTION

As mentioned in the editorial, tunnels take an ever-growing role to provide long distance links through geographically-difficult regions or mobility in urban areas. Their safety is crucial to save lives, but also to avoid users' distrust, which would be prejudicial to economic development. This is the reason for the long-dating involvement of PIARC and ITA in tunnel safety issues.

The main threat is fire, because the confined underground space hampers the evacuation of smoke and heat and make users' escape difficult. This has been dramatically demonstrated by the catastrophic fires which occurred during the last years in all kinds of transport tunnels. These incidents have aroused a new awareness and given rise to numerous initiatives aimed at improving tunnel fire safety.

This article sets the background for this special issue of Routes/Roads. It illustrates the economic importance of tunnels and the impact of recent fires. A global view of the current developments of guidelines and research worldwide is given, as a key to what could be compared to

fournit ainsi une clé pour ce qui pourrait être comparé à un « puzzle » dont les éléments sont décrits plus en détail dans les articles suivants. Finalement, les tendances actuelles en matière de sécurité en tunnel sont mises en évidence, et des voies sont proposées pour l'avenir.

L'IMPORTANCE ÉCONOMIQUE DES TUNNELS AU NIVEAU MONDIAL

Les travaux en souterrain, et la construction des tunnels en particulier, ont revêtu une importance croissante au niveau international durant les 10 à 15 dernières années. Ce développement semble devoir se poursuivre dans les années à venir.

La raison en est illustrée par les résultats d'une étude récente de l'Automobile et Touring Club d'Autriche (ÖAMTC). Elle révèle que, par rapport à 1997, la motorisation privée en Europe doit croître d'environ 20 % d'ici 2010, et de 40 % jusqu'en 2030. Des prévisions faites par plus de 100 personnalités scientifiques de renommée internationale vont dans le même sens, en estimant que le trafic de marchandises en Europe va croître d'environ 60 % durant les 30 prochaines années.

Dans ce contexte, il est impératif que l'on trouve de nouveaux concepts logistiques, de nouveaux moyens pour assurer la mobilité, et aussi de nouvelles dispositions pour améliorer l'infrastructure. Une des solutions est sans aucun doute l'utilisation des possibilités offertes par le souterrain. Les données statistiques les plus récentes conduisent à prévoir une utilisation substantielle du sous-sol au niveau mondial durant les prochaines 10 à 15 années.

Le marché européen des travaux en souterrain peut s'attendre à un total d'environ 2 100 km de tunnels à construire. Les statistiques concernant le marché asiatique indiquent un volume d'environ 2 350 km. De l'ordre de 650 km sont prévus en Amérique du Sud, et au moins la même quantité sur le continent nord-américain. L'Australie et l'Afrique du Nord et du Sud ont également des projets de tunnels, quoique dans une mesure considérablement moindre.

Les projets importants de tunnels actuels et futurs représentent sans aucun doute des défis majeurs. Dans ce contexte, il faut mentionner les tunnels de base du Gothard, du Lötschberg et du Brenner ainsi que le tunnel entre Lyon et Turin. Chacun de ces projets représente une longueur d'excavation comprise entre 30 et 60 km, et demande une attention spéciale en ce qui concerne la technologie de creusement, l'exploitation subséquente, et par conséquent le concept de sécurité.

a "jig-saw puzzle" and is described in more detail by the following articles. Finally current trends in tunnel safety are highlighted and ways for the future are proposed.

THE ECONOMIC IMPORTANCE OF TUNNELS WORLDWIDE

Tunnelling and transport tunnel construction in particular have gained increasing importance internationally during the past 10 to 15 years. This development seems to continue over the years ahead.

The reason is illustrated by the results of a recently completed study by the Academy of the Austrian Automobile and Touring Club (ÖAMTC). It reveals that private motoring in Europe will rise by around 20% by the year 2010 compared with 1997, and by as much as about 40% by 2030. Forecasts by more than 100 internationally recognised scientists, who estimate that goods traffic in Europe will rise by about 60% during the next 30 years, follow a similar pattern.

Against this background it is imperative that new logistics concepts, new ways to secure mobility and also new supplementary measures to improve the infrastructure are found. One solution is certainly to use the chances afforded by tunnelling. Latest statistical data give rise to the expectation of substantial tunnelling activities on a world-wide scale over the next 10 to 15 years.

The European tunnelling market can expect a total construction volume of around 2 100 km of transport tunnels. Statistics relating to the Asian market indicate a volume of around 2 350 km. Roughly 650 km is scheduled for construction in South America and at least the same magnitude on the North American continent. Australia and northern and southern Africa are also planning tunnelling projects, albeit to a considerably less degree.

The current and future major tunnel projects undoubtedly represent particular challenges. In this connection, the Base rail Tunnels of Gotthard, Lötschberg, and Brenner as well as the tunnel between Lyon and Turin should be mentioned here. All these projects represent driven lengths of between 30 and 60 km. They call for special consideration relating to the driving technology, their subsequent operation and thus in turn, the safety concept.

L'IMPACT DES INCENDIES CATASTROPHIQUES RÉCENTS

Les incendies en tunnel peuvent devenir de véritables catastrophes, comme nous l'ont appris les récents incendies dans le tunnel sous la Manche (Angleterre/France, 18.11.1996), dans le tunnel du Mont-Blanc (France/Italie, 24.03.1999, 39 morts), dans le tunnel des Tauern (Autriche, 29.05.1999, 12 morts), dans le tunnel du Gotthard (Suisse, 24.10.2001, 11 morts) ou dans le tunnel du funiculaire de Kitzsteinhorn (Autriche, 11.11.2000, 156 morts), et plus récemment dans le métro de Daegu (Corée du Sud, 18.02.2003, 196 morts).

Tous ces incendies ont coûté trop de vies humaines, et nous ont appris certains nouveaux aspects qui n'étaient pas connus ou attendus auparavant. Un des nouveaux enseignements a été le développement extrêmement rapide du feu, combiné avec une croissance de la température jusqu'à 1 000° et même davantage, ainsi que l'émission énorme de fumée dès le début de l'incendie. Le deuxième enseignement a été la transmission de l'incendie d'un véhicule à l'autre même sur des distances de plus de 200 m où aucun véhicule n'était arrêté, comme dans le tunnel du Mont-Blanc. Le troisième enseignement, et le plus marquant, a été le comportement de nombreux usagers de tunnel routier. Trop d'entre eux n'ont pas pris conscience du danger auquel ils étaient exposés.

Un autre aspect important est la perte économique causée par un incendie grave en tunnel. Elle n'est pas due uniquement aux dommages que subit l'ouvrage ou ses équipements, mais aussi à la fermeture du tunnel qui conduit à des détours et des retards importants. Cet impact est clairement démontré par le tunnel sous la Manche avec une fermeture de 7 mois et une perte d'environ 300 millions d'euros ou par le tunnel du Mont-Blanc avec une fermeture de 3 ans et une perte à nouveau d'environ 300 millions d'euros.

DÉVELOPPEMENTS RÉCENTS DES RECOMMANDATIONS POUR LA SÉCURITÉ DES TUNNELS ROUTIERS

Situation avant 1999

Bien que les opinions publiques ne se sentissent pas vraiment concernées, la sécurité dans les tunnels routiers avait été prise en considération dans de nombreux pays avant les incendies catastrophiques qui se sont produits en 1999 dans les tunnels du Mont-Blanc et des Tauern. En plus de l'expérience qu'avaient acquise

THE IMPACT OF RECENT CATASTROPHIC TUNNEL FIRES

Fires in traffic tunnels can result in real catastrophes as we had to learn at least by the latest incidents as in the Channel Tunnel (England/France, 18.11.1996), the Mont Blanc Tunnel (France/Italy, 24.3.1999; 39 fatalities), the Tauern Tunnel (Austria, 29.5.1999; 12 fatalities), the Gotthard Tunnel (Switzerland, 24.10.2001; 11 fatalities), or in the funicular tunnel of the Kitzsteinhorn (Austria, 11.11.2000; 156 fatalities), and more recently in the Metro of Daegu (South Korea, 18.2.2003; 196 fatalities).

All these incidents have cost too many lives and taught us some new aspects which were neither known nor expected before. One of the new lessons has been the extremely fast development of the fire combined with an increase of temperature up to about 1000 °C and even more as well as the enormous emission of smoke from the very beginning of the fire. The second was the fire jump from one car to another even over sections of more than 200 m where no vehicle was stopped, as in the Mont-Blanc Tunnel. The third and most shocking aspect was the behaviour of many road tunnel users. Too many of them did not realise the danger to which they were exposed.

Another important aspect is the economic loss caused by a severe tunnel fire. It does not only result from the physical damage of the tunnel or its equipment, but also from the closure of the tunnel creating long detours and significant delays. This affect is clearly proven by the Channel Tunnel with a closure of 7 months and a loss by about 300 millions euros or the Mont-Blanc Tunnel with a closure for 3 years and again a loss of about 300 millions euros.

RECENT DEVELOPMENTS IN SAFETY GUIDELINES FOR ROAD TUNNELS

Situation before 1999

Although public opinions were not really concerned, road tunnel safety had been given consideration in many countries before the catastrophic fires which occurred in 1999 in the Mont-Blanc and Tauern tunnels. In addition to experience gained by consultants, contractors and operators, research works had been conducted to

bureaux d'étude, entreprises et exploitants, des recherches avaient été conduites pour développer les connaissances fondamentales et techniques. Toutefois, seulement un nombre limité de pays disposait de réglementations en ce domaine.

La majeure part du travail de production de synthèses et recommandations internationales était effectuée par l'AIPCR. L'AITES était également impliquée, en particulier dans le cadre d'une coopération avec l'AIPCR sur la résistance au feu des structures de tunnels. L'AIPCR coopérait également avec l'OCDE dans un projet de recherche sur le transport des marchandises dangereuses dans les tunnels routiers.

Nouveaux développements nationaux

Immédiatement après l'incendie dans le tunnel du Mont-Blanc, une enquête technique et administrative fut commandée par les gouvernements français et italien, et conduisit à un rapport binational conjoint. 41 recommandations furent formulées pour améliorer la sécurité de ce tunnel et d'ouvrages similaires, y compris l'information et la formation des usagers et des réglementations plus strictes en ce qui concerne les dimensions et l'inflammabilité des véhicules.

En France, tous les tunnels de longueur supérieure à 1 km furent contrôlés dans un délai de 3 mois, et de nouvelles réglementations publiées. En Suisse un groupe ad hoc a examiné la sécurité globale des tunnels routiers et a rédigé des recommandations concernant les usagers, l'exploitation, l'infrastructure et les véhicules. Des démarches similaires ont été entreprises dans d'autres pays européens tels que l'Allemagne, l'Autriche, la Norvège, etc., mais aussi en dehors de l'Europe. Aux États-Unis, une norme a été établie par la National Fire Protection Association, et est en révision permanente.

Nouveaux développements européens et internationaux

La Commission économique pour l'Europe des Nations Unies (CEE ONU – qui couvre 55 pays et est basée à Genève) a perçu le besoin d'harmoniser les initiatives nationales et a mis sur pied un groupe multidisciplinaire d'experts en matière de sécurité des tunnels routiers. L'AIPCR et l'AITES y étaient officiellement représentés, et le représentant de l'AIPCR a assuré la vice-présidence. Le rapport final a été publié en décembre 2001 et comprend des recommandations sur tous les aspects de la sécurité des tunnels routiers : usagers, exploitation, infrastructure, véhicules. Ce rapport a été approuvé par tous les pays membres et est en cours de prise en considération dans les accords européens gérés par la CEE ONU, par exemple sur la signalisation routière, les caractéristiques des routes E, le transport des marchandises dangereuses, etc.

develop basic and technical knowledge. However, only a limited number of countries had regulations in this field.

Most work aimed at producing international syntheses and recommendations was carried out by PIARC. ITA was also involved, especially through a cooperation with PIARC on resistance to fire of tunnel structures. PIARC also cooperated with the OECD in a joint research project on transport of dangerous goods through road tunnels.

New national developments

Immmediately after the Mont Blanc tunnel fire, a technical and administrative investigation was ordered by the French and Italian governments and resulted in a joint binational report. 41 recommendations were made to improve the safety of this tunnel and similar ones, including information and training of users and stricter regulations concerning the size and flammability of vehicles.

In France, a check of all tunnels longer than 1 km was carried out within 3 months and new regulations were published. In Switzerland a tunnel task force examined the overall safety of road tunnels and made recommendations regarding the users, operation, infrastructure and vehicles. Similar steps were taken in other European countries such as Austria, Germany, Norway, etc., but also outside Europe. In the USA, a standard was issued by the National Fire Protection Association and is continually under review.

New European and international developments

The Geneva-based Economic Commission for Europe of the United Nations Organisation (UN ECE – which covers 55 countries) felt the need to harmonise the national initiatives and established a multidisciplinary group of experts on road tunnel safety. PIARC and ITA were represented officially and the PIARC representative vice-chaired the group. The final report was published in December 2001 and includes recommendations on all aspects of road tunnel safety: users, operation, infrastructure, vehicles. This report was approved by all member countries and is being taken into account in the European agreements managed by UN ECE, e.g. on road signing, characteristics of the E-roads, transport of dangerous goods, etc.

L'Union européenne s'est impliquée à la suite d'une demande des Chefs d'Etat et de Gouvernement. Sur la base des rapports de la CEE ONU et de l'AIPCR, la Commission européenne a préparé un projet de directive concernant les exigences de sécurité minimales applicables aux tunnels du réseau routier transeuropéen. Ce document législatif a été discuté et fortement amendé par le Parlement européen et le Conseil avant d'entrer finalement en vigueur en avril 2004. Il deviendra d'application obligatoire dans les 25 États membres lorsqu'il aura été transposé dans les législations nationales dans un délai de 2 ans.

Au niveau international, le Comité technique AIPCR de l'Exploitation des Tunnels routiers et l'AITES ont été particulièrement actifs. Les articles qui suivent décrivent les recommandations qu'ils ont produites.

DÉVELOPPEMENTS RÉCENTS DES RECOMMANDATIONS POUR LA SÉCURITÉ DES TUNNELS FERROVIAIRES ET DE MÉTRO

Situation actuelle

Les réglementations nationales comprennent peu d'exigences spécifiques à la sécurité des tunnels ferroviaires. La sécurité est globalement beaucoup plus élevée sur les réseaux ferrés que sur la route, et les tunnels ne constituent pas une partie particulièrement dangereuse des systèmes ferroviaires. Les réglementations qui s'appliquent à l'ensemble du réseau améliorent également la sécurité en tunnel. Des recommandations plus précises pour les tunnels ont été établies par les sociétés de chemin de fer.

Le même état de chose vaut davantage encore pour les tunnels de métro, qui ne font l'objet que de peu de réglementations nationales de sécurité. La situation est à l'opposé pour les stations, où s'appliquent en général les réglementations concernant les établissements recevant du public. La probabilité qu'un train s'arrête en tunnel et non dans une station est en effet très faible, et même dans ce cas les stations fournissent normalement les voies d'évacuation. Les réseaux utilisent des normes différentes pour leur matériel roulant. Comme celui-ci a une grande influence sur la sécurité incendie, il y a des concepts de sécurité spécifiques pour chaque réseau, voire pour chaque nouvelle ligne.

Recommandations de l'UIC et de l'UITP

L'Union internationale des Chemins de Fer (UIC) a réuni un groupe de travail de gestionnaires et d'exploitants d'infrastructure ferroviaire. Ceux-ci ont

The European Union became involved by request of the Heads of States. On the basis of the UN ECE and PIARC reports, the European Commission prepared a draft directive on minimum safety requirements for tunnels in the Trans-European Road Network. This legislative document was discussed and largely amended by the European Parliament and Council before it finally entered into force in April 2004. It will become compulsory in all 25 member countries once transposed into national legislations within two years.

At the international level, the PIARC Technical Committee on Road Tunnel Operation and ITA have been most active. The following articles describe the guidelines they produced.

RECENT DEVELOPMENTS IN SAFETY GUIDELINES FOR RAIL AND MASS-TRANSIT TUNNELS

Current situation

National regulations include few requirements specific to the safety of rail tunnels. Safety is globally much higher in railway systems than on roads, and tunnels are not a specially dangerous part of railway systems. Regulations which apply to the whole network also improve safety in tunnels. More precise guidelines for tunnels have been issued by railway owners.

The same still more applies to metro tunnels, which are subject to few national safety regulations. The situation is opposite for stations, where the regulations concerning buildings open to the public generally apply. Indeed the probability for a train to stop in a tunnel and not in a station is very low, and even then, the stations will normally provide the evacuation routes. Networks use different standards for their rolling stock. As these have a large influence on fire safety, there are specific safety concepts for each network, if not each new line.

Recommendations by UIC and UITP

The International Union of Railways (UIC) convened a working party of railway infrastructure managers and operators. They produced a leaflet on safety in railway

préparé une brochure sur la sécurité dans les tunnels ferroviaires qui a été publiée en août 2003. Cette brochure présente l'état de l'art pour plus de 50 mesures dans les domaines de l'infrastructure, du matériel roulant et de l'exploitation, et comprend des recommandations.

Pour les réseaux de métro, l'Union internationale des Transports publics (UITP) a entrepris une réflexion collective qui a conduit à des recommandations destinées à tous les acteurs internes et externes de la sécurité. Celles-ci insistent sur la particularité des risques dans les métros et sur le besoin d'une approche globale de la sécurité.

Actions de la CEE ONU et de l'Union européenne pour la sécurité ferroviaire

Après la finalisation du rapport précité sur la sécurité des tunnels routiers, la CEE ONU a mis sur pied un autre groupe multidisciplinaire d'experts gouvernementaux pour traiter de la sécurité des tunnels ferroviaires. Leurs recommandations ont été finalisées en décembre 2003, puis approuvées par les pays membres. Elles fournissent un état des bonnes pratiques, analogue à la brochure de l'UIC ; de plus 19 mesures sont proposées pour devenir des normes de sécurité minimales.

L'Association européenne d'Interopérabilité ferroviaire (AEIF) a été mandatée par la Commission européenne pour établir les Spécifications techniques d'Interopérabilité (STI). Un groupe de travail prépare actuellement les mesures de sécurité qui pourraient être proposées en 2005 pour devenir obligatoires dans les tunnels neufs ou rénovés sur les lignes ferroviaires interopérables dans toute l'Europe.

ACTIVITÉS DE RECHERCHE ET DE CRÉATION DE RÉSEAUX AUX NIVEAUX EUROPÉEN ET INTERNATIONAL

À la suite des incendies dramatiques survenus en tunnel, les importants projets de recherche suivants ont été lancés par la Commission européenne. Il s'agit de projets multinationaux attribués et financés au titre du cinquième Programme Cadre de Recherche de l'Union Européenne.

DARTS (Structures de Tunnel durables et fiables) a débuté en mars 2001 et s'est achevé au début de l'année 2004. Ce projet a fait intervenir 8 partenaires européens et était structuré en 6 lots de travail. Il s'intéressait en premier lieu au problème des dépassements de coût des travaux de construction des ouvrages souterrains de transport. De plus, la qualité et la durée de vie des tunnels devaient être

tunnels, which was published in August 2003. It provides the state-of-the-art for more than 50 measures in the fields of infrastructure, rolling stock and operations, and includes recommendations.

For metro systems, the International Union of Public Transport (UITP) launched a collective reflection, which resulted in recommendations aimed at all inside and outside actors of safety. They insist on the speciality of risks in metros and the need for a global safety approach.

UN ECE and EU initiatives for railway safety

After the finalisation of the aforementioned report on road tunnel safety, UN ECE set up another multidisciplinary group of governmental experts to deal with rail tunnel safety. Their recommendations were finalised in December 2003, then approved by member countries. They provide an overview of best practice, similar to the UIC leaflet; in addition 19 measures are proposed to become minimum safety standards.

The European Association for Railway Interoperability (AEIF) is mandated by the European Commission to lay down the Technical Specifications for Interoperability (TSI). A working group is currently preparing safety measures which could be proposed by 2005 to become mandatory in new and upgraded tunnels on interoperable railway lines all over Europe.

RESEARCH AND NETWORKING ACTIVITIES AT THE EUROPEAN AND INTERNATIONAL LEVELS

In consequence of the devastating fire accidents, the following important research projects were initiated by the European Commission. They are multinational projects awarded and funded within the fifth Research Framework Programme of the European Union.

Durable And Reliable Tunnel Structures (DARTS) started in March 2001 and ended in early 2004. The initiative included eight European partners and was structured into six technical work packages. It was primarily dedicated to the problem of exceeded cost during the construction of underground transport facilities. Furthermore, the quality and lifetime of tunnels as the most cost-intensive

améliorés, car ceux-ci ont l'incidence financière la plus importante dans l'ensemble de l'infrastructure de transport. Plus d'informations peuvent être trouvées sur le site www.dartsproject.net et dans un article ci-après.

FIT (Incendies en Tunnels) a été mis sur pied en mars 2001 pour une durée de 4 ans. Il s'agit d'un réseau thématique qui inclut 33 partenaires de 12 pays européens. Il rassemble des informations provenant de toute l'Europe et du reste du monde sur les résultats de recherches et l'expérience générale en matière de sécurité incendie dans les tunnels, et établit des recommandations. Plus d'informations peuvent être trouvées sur le site www.etnfit.net et dans un article ci-après déjà cité.

UPTUN (Méthodes d'Amélioration au meilleur Coût, durables et innovatrices de la Sécurité Incendie dans les Tunnels existants) est un projet de recherche et de développement d'une durée de 4 ans qui a débuté en septembre 2002. 41 partenaires de 16 pays membres de l'Union font partie de cette nouvelle action de coopération européenne. Les objectifs principaux de ce projet de grande envergure, dont le budget est d'environ 12 millions d'euros, sont décrits dans l'article ci-après déjà cité. Plus d'informations sont données sur le site www.uptun.net.

SafeTunnel (Systèmes innovants et cadres pour augmenter la sécurité de la circulation dans les tunnels routiers) a commencé en septembre 2001 pour une durée de 3 ans et implique neuf partenaires. Ce projet de recherche doit prioritairement contribuer à réduire l'ampleur et le nombre des accidents dans les tunnels routiers à l'aide de mesures de sécurité préventives. Plus d'informations sont données sur le site www.crfproject-eu.org.

Virtual Fires (Simulateur virtuel d'Urgences en Temps réel) a aussi commencé en 2001 pour une durée de 3 ans avec 8 partenaires de 5 pays européens. L'objectif est de développer un simulateur adapté et pratique pour former les pompiers à confiner et combattre le feu en tunnel. Un modèle informatique est utilisé pour créer des simulations virtuelles d'incendie en tunnel. Plus d'informations sont données sur le site www.virtualfires.org.

Safe-T (Sécurité en Tunnel) est un autre réseau thématique d'une durée de 3 ans qui a débuté à la fin de 2003. L'objectif principal est d'harmoniser les exigences européennes en ce qui concerne la sécurité en tunnel. Les expériences rassemblées au niveau national doivent être rassemblées et analysées. Plus d'informations peuvent être trouvées sur le site www.safetunnel.net.

SIRTAKI (Amélioration de la Sécurité dans les Tunnels routiers et ferroviaires au moyen de Technologies d'Information avancées et de Modèles basés sur la connaissance d'Aide à la Décision) a été lancé en septembre 2001 pour une durée de 3 ans. Ce projet est porté par 12 partenaires européens. Le but principal est de formuler des concepts opératoires en ce qui concerne la sécurité et la gestion des urgences. Plus d'informations peuvent être trouvées sur le site www.sirtakiproject.com.

component of the entire traffic infrastructure was to be improved. For more information see www.dartsproject.net and the more detailed adjoining article.

Fire in Tunnels (FIT) was established in March 2001 for four years. This is a "thematic network" which includes 33 partners from twelve European countries. It gathers information from all over Europe and around the world about existing research results and general experiences with fire safety in transport tunnels and makes recommendations. For more details see: www.etnfit.net and the adjoining article.

Cost-effective, sustainable and innovative Upgrading Methods for Fire Safety in existing Tunnels (UPTUN) is designed as a research and development project for four years and was started in September 2002. 41 partners from 16 European countries are part of this co-operative effort. The principal goals of this large-scale project with a budget of approximately 12 million euros are described in the adjoining article. For further details see www.uptun.net.

Innovative Systems and Frameworks for Enhancing of Traffic Safety in Road Tunnels (Safe Tunnel), began in September 2001 for a project term of three years involving nine partners. This research project will primarily contribute to reducing the extent and number of accidents in road tunnels with the help of preventive safety measures. For further details see www.crfproject-eu.org.

Virtual Fires (Virtual Real Time Emergency Simulator) also started in 2001 for a duration of three years with eight partners from five European countries. The objective is to develop a suitable and practical simulator to train fire fighters in confining and fighting fires in tunnels. A computer model will be used to create virtual simulations of fires in tunnel situations. For more information visit: www.virtualfires.org.

Safety in Tunnels (Safe-T) is another thematic network with a three-year term started in the end of 2003. The primary objective is to harmonize the European requirements regarding tunnel safety. Experiences gathered at national level are to be compiled and assessed. For further details see www.safetunnel.net.

Safety Improvement in Road & Rail Tunnels using Advanced Information Technologies and Knowledge Intensive Decision Support Models (SIRTAKI) was initiated in September 2001 for a term of three years. The initiative is shared by twelve European partners. The main focus of the project is to reform operative concepts with regard to safety and emergency management. For further details see www.sirtakiproject.com.

Au niveau international, l'AIPCR et l'AITES ont renforcé leurs activités visant à produire des synthèses et des recommandations sur la sécurité incendie des tunnels, ainsi qu'il est décrit dans les articles suivants.

TENDANCES ACTUELLES EN MATIÈRE DE SÉCURITÉ EN TUNNEL

Un certain nombre de tendances communes pour améliorer la sécurité en tunnel ressort des nouvelles recommandations et résultats de recherches.

Le point de départ est la définition des objectifs de sécurité. Un consensus se dégage pour donner la priorité à la prévention des accidents et de tous événements critiques qui pourraient mettre en danger la vie humaine, l'environnement et les installations de tunnel. La prévention est importante dans tous les modes de transport, mais plus efficace pour le train et le métro. La deuxième priorité est de limiter les conséquences d'un accident s'il s'est malgré tout produit, et d'abord de sauver les personnes impliquées. Les moyens diffèrent entre les tunnels routiers, où l'auto sauvetage est essentiel, et le train et le métro, où les mesures relatives au matériel roulant peuvent limiter l'importance d'un incendie et où le personnel du train est immédiatement disponible.

Un autre point important de convergence est de considérer l'infrastructure comme une partie de l'ensemble du système tunnel, voire même de l'ensemble du système de transport : ceci est souvent appelé une approche « intégrée » ou « approche système ». Alors que les recommandations de sécurité ne concernaient traditionnellement que l'infrastructure, il est évident que l'exploitation, y compris les plans d'intervention d'urgence, joue un rôle essentiel. Les incendies catastrophiques récents ont montré que l'utilisateur est un autre acteur très important, probablement le plus important dans les tunnels routiers, et qu'il doit être informé et autant que possible formé. Enfin, les véhicules jouent un rôle majeur, au moins en tant que source potentielle de feu, et des mesures concernant le matériel roulant peuvent être très efficaces, spécialement pour les tunnels ferroviaires et de métro.

La plupart des recommandations étaient traditionnellement descriptives, ce qui signifie qu'elles imposaient des solutions de sécurité standardisées, éventuellement dépendant de quelques paramètres du tunnel tels que la longueur, le trafic, etc. Ceci est difficilement compatible avec une approche « intégrée », qui demande une analyse des risques de l'ensemble du système. Bien qu'une conception uniquement performantielle soit rare, la tendance actuelle est d'inclure une part d'analyse des performances ou au moins des risques, en complément aux dispositions descriptives. Une analyse des risques peut ainsi être utilisée pour vérifier la cohérence générale de la conception, ou même pour justifier des écarts par rapport aux prescriptions en démontrant que la conception proposée est sûre.

At the international level, PIARC and ITA have reinforced their activities to produce syntheses and recommendations regarding tunnel fire safety, as described by following articles.

CURRENT TRENDS IN TUNNEL SAFETY

A number of common trends to improve tunnel safety emerge from the various new guidelines and research results.

The most basic point is to define safety objectives. The consensus is to give priority to the prevention of accidents and any critical events which may endanger human life, the environment and tunnel installations. Prevention is important in all transport modes, but more effective for rail and metro. The second priority is to limit the consequences of an accident if it has nonetheless occurred, and firstly save the people involved. The means will differ between road tunnels, where self-rescue is essential, and rail and metro, where rolling stock measures can limit the importance of a fire and train crew are immediately available.

Another important convergence point is to consider the infrastructure as a part of the whole tunnel system, if not the whole transport system: this is often called an 'integrated' or 'holistic' approach. While safety guidelines were traditionally dealing with the infrastructure only, it is obvious that operation, including emergency response plans, plays an essential role. The recent catastrophic fires have shown that the user is another very important actor, probably the most important one in road tunnels, and he has to be informed and as far as possible trained. Finally the vehicles play a major role, at least as a possible fire source, and measures regarding the rolling stock can be very effective, especially for rail and metro tunnels.

Most guidelines were traditionally prescriptive, which means that they imposed standard safety solutions, possibly depending on a few tunnel parameters such as length, traffic, etc. This is hardly compatible with a 'holistic' approach, which requires an analysis of the risks of the whole system. Although design is seldom performance-based only, the current trend is to include some part of performance-based or at least risk-based analysis, as a complement to prescriptive provisions. A risk analysis can be used to check the general consistency of the design, or even to justify deviations from the prescriptions by demonstrating that the proposed design is safe.

Il faut enfin mettre en exergue l'introduction récente de ce qui pourrait être appelé la « gestion de la sécurité ». Celle-ci apparaît dans la nouvelle directive européenne sur la sécurité dans les tunnels routiers, à la suite de l'exemple français. Les diverses responsabilités en matière de sécurité en tunnel sont clairement définies, y compris celles de l'autorité administrative, du gestionnaire du tunnel, de l'agent de sécurité, etc. Des procédures sont organisées pour vérifier la sécurité des nouveaux tunnels avant tout début de travaux et avant l'ouverture à la circulation, ce qui existait déjà dans un certain nombre de pays. Les aspects les plus nouveaux sont de tenir à jour en permanence un dossier de sécurité complet de tous les tunnels en service et d'imposer des contrôles périodiques de sécurité par des experts indépendants.

BESOINS EN TRAVAUX FUTURS

Bien que des progrès très significatifs aient déjà été réalisés et que d'autres soient en train de l'être grâce aux activités de recherche qui ont été mentionnées, il y a encore de nombreux domaines qui justifient une coopération internationale pour améliorer la sécurité incendie dans les tunnels.

La prévention est le premier objectif de sécurité : à cet égard, il est nécessaire de poursuivre les recherches pour mieux comprendre comment les incendies prennent naissance et se développent, en premier lieu pour trouver des moyens de les éviter ou d'en limiter l'importance, par exemple en augmentant la résistance au feu des véhicules, mais aussi pour disposer de meilleures bases pour concevoir des mesures permettant d'atténuer leurs conséquences lorsqu'ils se sont produits.

Les systèmes fixes de lutte contre l'incendie font fréquemment l'objet de discussions, surtout en ce qui concerne les tunnels routiers. Depuis de nombreuses années, l'AIPCR et la plupart des pays sont très réticents à recommander en tant qu'équipements de sécurité les systèmes d'aspersion automatiques ou télécommandés, en raison des risques que ceux-ci présentent s'ils sont déclenchés avant l'évacuation complète des personnes. Néanmoins, les développements récents de systèmes de brumisation d'eau semblent prometteurs. Ces dispositifs pourraient apporter une contribution significative pour empêcher la propagation de l'incendie d'un véhicule à l'autre. D'un autre côté, de nombreuses questions restent sans réponse, en particulier celle de leur utilisation dans le cadre d'une stratégie cohérente de lutte contre l'incendie incluant d'autres moyens comme la ventilation et les systèmes de communication. Dans ce contexte, un ou plusieurs programmes d'essais coordonnés au niveau international sont nécessaires avant la mise en œuvre de ces systèmes.

Comme indiqué précédemment, le comportement humain s'est révélé d'une importance primordiale lors des

Finally the recent introduction of what could be called 'safety management' should be highlighted. It appears in the new European directive on road tunnel safety, following the French example. The various responsibilities in tunnel safety are clearly defined, including administrative authority, tunnel manager, safety officer, etc. Procedures are organised to check the safety of new tunnels before any beginning of works and before opening to traffic, which already existed in a number of countries. The newest aspects are to permanently keep up-to-date a complete safety documentation and impose periodical safety inspections of all in-service tunnels by independent experts.

NEEDS FOR FUTURE WORK

Although very significant progress has been made and is still being made through the aforementioned research activities, quite a number of areas still deserve work at the international level to improve tunnel fire safety.

Prevention is the first safety objective: in this respect research is still needed to better understand the initiation and development of fires, first to find means to avoid or limit them, for instance by fire-hardening the vehicles, but also to have better bases for the design of mitigating measures once a fire has occurred.

Fixed fire-fighting systems are quite often discussed, especially for road tunnels. For many years PIARC, as well as most countries, have been very reluctant to recommend sprinkler or deluge systems as a safety facility, because of their risks if they are started before all people have been evacuated. However, the recent developments concerning water mist systems seem promising. Those installations can significantly contribute to avoiding fire spreading to neighbouring vehicles. On the other hand, there are many questions left open, especially regarding their use in the framework of a consistent fire safety strategy, including the use of all other means such as ventilation and communication systems. Against this background, one or several internationally-coordinated test programmes are necessary before those systems can be introduced.

As mentioned before, human behaviour has proved to be of paramount importance in fire emergencies and still requires

incendies. Des recherches complémentaires sont nécessaires dans ce domaine afin de mieux comprendre et de mieux prendre en compte le comportement des usagers, mais aussi celui des équipes d'exploitation et de secours. Afin d'améliorer le comportement des usagers dans les tunnels routiers, une coopération internationale est nécessaire pour harmoniser les dispositifs de sécurité et la signalisation. En outre, de nouveaux systèmes doivent être conçus afin de détecter mieux et plus tôt les départs de feu, puis d'aider et guider les usagers pour qu'ils s'échappent.

La résistance au feu des structures et des équipements des tunnels constitue un autre domaine de recherche. Par exemple, le maintien de la capacité portante de la structure est essentiel dans les tunnels où un effondrement local aurait des effets dramatiques sur les opérations d'évacuation et de secours, ou affecterait l'environnement du tunnel. Ce problème est lié à l'écaillage du béton, du fait que la température peut augmenter très vite jusqu'à atteindre 1 300 °C dans les cas extrêmes. Il faudrait effectuer des recherches plus approfondies sur les diverses solutions techniques permettant d'éviter ou de limiter l'écaillage. En dehors du renforcement du ferrailage, des revêtements de protection incendie préfabriqués ou coulés en place sont de plus en plus utilisés, mais ils entraînent en général des dépenses importantes. Un béton qui n'aurait besoin d'aucune protection constitue une nouvelle piste de recherche.

Enfin, les outils nécessaires pour mettre en œuvre la « gestion de la sécurité » mentionnée précédemment constituent un domaine de recherche extrêmement important. Ceci comprend l'élaboration de méthodes plus performantes d'analyse des risques, utilisables dans une approche intégrée de la sécurité dans les tunnels. Mais de nombreux autres outils doivent être mis au point, par exemple pour les dossiers de sécurité des tunnels, les contrôles de sécurité, l'optimisation des exercices de secours, le recueil et l'évaluation des données d'incidents, etc.

CONCLUSION

Les incendies dans les tunnels peuvent provoquer des catastrophes. Les drames survenus dans les tunnels routiers du Mont-Blanc, des Tauern et du Gothard, et dans le métro de Daegu en sont la preuve. L'analyse détaillée de ces incendies a apporté de nouveaux enseignements qui n'étaient pas connus jusqu'alors, du moins avec un tel niveau de gravité.

L'un de ceux-ci est le développement extrêmement rapide de certains incendies de poids lourds, avec une élévation de température considérable, pouvant dépasser 1 000 °C. L'expérience a aussi montré que des quantités importantes de gaz pouvaient être produites en un court laps de temps

research in order to better understand and take into account the behaviour of tunnel users, but also of operators and emergency teams. In order to facilitate appropriate user behaviour in road tunnels, work is necessary to reach an international harmonisation of tunnel safety facilities and signage. Additionally, new systems should be developed to better and earlier detect fires, then help and guide users when escaping.

Another research area is the fire-resistance of tunnel structures and equipment. For instance, sustaining the bearing capacity of the tunnel lining is essential in those tunnels where a local collapse would have disastrous effects on escape and rescue or affect the tunnel environment. The problem is linked to concrete spalling, especially as temperature can rise very fast up to 1 300° C in extreme cases. The various technical possibilities to avoid or limit spalling should be more deeply investigated. Apart from an additional reinforcement, fire protection plates or casts are more and more used, but generally involve high costs. Concrete which would not require any protection is a new research direction.

Last but not least, the tools necessary to implement the aforementioned tunnel 'safety management' are a most important research area to ensure fire safety. This includes the development of improved risk analysis methodologies to be used in an integrated approach of tunnel safety. But many other tools still need to be worked out, for instance for tunnel safety documentation, safety inspections, optimisation of emergency exercises, collection and assessment of incident data, etc.

CONCLUSION

Fires in transport tunnels can cause catastrophes. The accidents in the Mont-Blanc, Tauern and Gotthard road tunnels and in the subway of Daegu have made this more than clear. The detailed analysis of these fires has yielded new insights that had not been expected or calculated to this extent.

One insight pertains to the extremely rapid development of some truck fires with an enormous rise in temperature to 1 000 °C and above. Experience has also shown that large amounts of fire gases can be released within a short time, starting in a very early phase of the fire. The behaviour of

TUNNEL FIRE SAFETY IS QUICKLY PROGRESSING THANKS TO COOPERATIVE EFFORTS

et ce, dès le début de l'incendie. Il est apparu que le comportement des usagers, des exploitants et des équipes d'intervention n'étaient pas toujours ceux attendus.

Ces enseignements constituent le point de départ d'un grand nombre d'actions lancées dans différents pays ainsi qu'aux niveaux européen et international. Ces initiatives comprennent la préparation de nouvelles recommandations et/ou législations applicables aux tunnels routiers, ferroviaires et de métro, ainsi que d'importants travaux de recherche. L'AIPCR et l'AITES prennent une part active à la plupart de ces actions, afin d'assurer la mobilité des biens et des personnes, qui constitue une priorité politique de premier ordre. Les deux associations jouent le rôle de forums internationaux avec pour objectifs de faciliter une compréhension commune de la sécurité incendie dans les tunnels et d'apporter un soutien aux avancées dans ce domaine.

the users, operators and emergency teams has proved not to be always as expected.

These lessons are the bases for quite a number of initiatives which have been initiated at various national, European and international levels. They include the preparation of new guidelines and/or legislation dealing with road, rail and mass-transit tunnels, as well as important research activities. PIARC and ITA take an active part in most of these initiatives to guarantee the mobility of persons and goods, which represents a high political priority. They act as international forums to facilitate a common understanding of tunnel fire safety and foster further progress.

DIFFUSION DES PUBLICATIONS DE L'AIPCR

Les commandes de publications de l'AIPCR doivent être adressées, accompagnées de leur paiement, à notre distributeur :

Catalogue en ligne :
www.piarc.org

ANR SERVICES
32, rue du Marché commun
Centre de Gros – BP 33245
44332 NANTES CEDEX 03 – France
Fax +33 2 40 50 15 72
E-mail : anrtp.le.routeur@wanadoo.fr

Modes de paiement :

- par chèque en euros sur une banque domiciliée en France, au nom de l'ANR SERVICES, joint à la commande ;
- par virement postal en euros au compte de l'ANR SERVICES, n° 2320197 J 020 85 Paris ;
- par virement bancaire en euros au compte de l'ANR SERVICES, n° 61021164827, clé 84, code banque : 13807, code guichet : 00061, domiciliation : BPBA CARQUEFOU ;
- par carte bancaire (uniquement VISA international ou MASTERCARD) en mentionnant, avec la signature du titulaire, le prélèvement autorisé en euros, le numéro de la carte bancaire débitée et sa date de validité.

HOW TO ORDER PIARC PUBLICATIONS

Any ordering of PIARC publications should be sent with payment enclosed to our distributor:

Catalogue on line:
www.piarc.org

Methods of payment:

- by enclosed check in euros on a bank domiciliated in France, and made out to ANR SERVICES;
- by postal transfer in euros to ANR SERVICES account n° 2320197 J 020 85 PARIS;
- by bank transfer in euros to ANR SERVICES account n° 61021164827, key code 84, bank code: 13807, desk code: 00061, domiciliation: BPBA CARQUEFOU;
- by credit card (VISA international or MASTERCARD only) indicating -with the signature of the bearer-transfer allowed in euros, the number of the charged account and the validity of the credit card.