

CRITÈRES DE CONCEPTION AIPCR POUR LA RÉSISTANCE AU FEU DES STRUCTURES DES TUNNELS ROUTIERS

par Didier LACROIX, président du comité technique AIPCR de l'exploitation des tunnels routiers (C3.3).

Alfred HAACK, ancien président de l'Association internationale des travaux en souterrain (AITES).

INTRODUCTION

Depuis une quinzaine d'années, les risques dus aux incendies dans les tunnels sont de mieux en mieux pris en compte, ce qui s'est traduit par une amélioration dans la maîtrise des fumées, l'évacuation des usagers, les moyens de communication, etc. (voir par exemple [5]). Toutefois, dans la plupart des pays, la protection des structures des tunnels n'avait pas été sérieusement envisagée avant les tragiques incendies des tunnels du Mont-Blanc et des Tauern, en 1999. Il est alors apparu que les dommages structurels peuvent avoir des conséquences très préjudiciables en termes de patrimoine représenté par le tunnel, mais aussi de la sécurité des usagers et des équipes de secours. D'un autre côté, une protection totale des tunnels contre l'incendie le plus important possible serait, dans la plupart des cas, à la fois très coûteuse et inutile. Il a donc semblé nécessaire d'approfondir le sujet par une approche internationale.

Un accord de coopération a été conclu entre le Comité technique de l'exploitation des tunnels routiers (C3.3) de l'Association mondiale de la route (AIPCR) et l'Association internationale des travaux en souterrain (AITES). Bien que l'ingénierie de la sécurité incendie soit de plus en plus utilisée dans d'autres domaines, où elle permet une approche performantielle de la résistance au feu, l'AIPCR et l'AITES ont convenu que cette démarche n'était pas encore suffisamment aboutie en ce qui concerne les

PIARC DESIGN CRITERIA FOR RESISTANCE TO FIRE FOR ROAD TUNNEL STRUCTURES

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

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

INTRODUCTION

The risks due to fire in tunnels have been more and more considered in the last fifteen years, leading to improved provisions for smoke control, users evacuation, communication means, etc. (see for instance [5]). However, the protection of tunnel structures had not been seriously taken into account in most countries before the dramatic fires in the Mont-Blanc and Tauern tunnels in 1999. It appeared that structural damage can have very prejudicial consequences on the capital represented by the tunnel, but also on the safety of the users and rescue teams. On the other hand, a complete tunnel protection against the worst possible fire would very often be both very expensive and unnecessary. Consequently an international refinement of this issue was felt necessary.

A co-operation agreement was established between the Technical Committee on Road Tunnel Operation (C3.3) of the World Road Association (PIARC) and the International Tunnelling Association (ITA). Although fire safety engineering is more and more used in other fields as a performance-based approach to fire resistance, it was agreed between PIARC and ITA that such an approach was not mature enough with regard to tunnels. Consequently their joint effort has aimed at a deterministic temperature-

tunnels. Leurs travaux conjoints se sont par conséquent orientés vers une approche déterministe basée sur des courbes température-temps (démarche descriptive, plus classique), dans une première étape tout au moins. L'AIPCR s'est chargée de définir les objectifs de résistance au feu des tunnels routiers : incendies de dimensionnement (courbes température-temps essentiellement) et durées de résistance nécessaires. L'AITES s'est penchée sur les techniques et les matériaux de construction à utiliser pour atteindre ces objectifs de résistance.

Le comité technique AIPCR de l'exploitation des tunnels routiers a confié la définition des objectifs à son groupe de travail n° 6 « Maîtrise de l'incendie et des fumées ». L'AITES a délégué la rédaction des recommandations en matière de construction à son groupe de travail n° 6 « Entretien et réparation des ouvrages souterrains ». Des réflexions préliminaires sur les objectifs de résistance au feu des structures de tunnel ont été publiées en 1999 dans le rapport de l'AIPCR « Maîtrise des incendies et des fumées dans les tunnels routiers » [5]. Une première proposition de critères de conception a été présentée par l'AIPCR à l'AITES en février 2001, comme une définition initiale des objectifs de résistance. Les commentaires et les contributions à la discussion de l'AITES ont été pris en compte pour l'améliorer.

Cette première proposition a également été présentée à l'Organisation internationale de normalisation (ISO) et au Comité européen de normalisation (CEN). Les commentaires de ces deux organismes ont aussi été utilisés pour réviser la proposition, notamment en ce qui concerne les étapes ultérieures. Les commentaires des membres du comité technique AIPCR de l'exploitation des tunnels routiers ont également été intégrés. Ce comité a finalement approuvé une proposition révisée, qui a été présentée à l'AITES en février 2002.

Les fruits de la coopération AITES/AIPCR sont des recommandations conjointes à la fois sur les objectifs et sur les moyens de les atteindre :

- Les objectifs sont décrits au chapitre 7 « Critères de conception pour la résistance au feu des structures » du nouveau rapport AIPCR « Systèmes et équipements pour la maîtrise des incendies et des fumées dans les tunnels routiers » [19].
- Les matériaux et les méthodes de construction font l'objet des nouvelles « Recommandations pour la résistance au feu des tunnels routiers » de l'AITES [30].

Le présent article est cosigné par l'AIPCR et l'AITES, pour faire preuve de leur accord sur son contenu. Il présente les objectifs et les critères relatifs à la résistance au feu des structures des tunnels, tels que définis par l'AIPCR, et se fonde sur le chapitre 7 du rapport AIPCR déjà mentionné [19]. Le reste de ce rapport est décrit dans un article ci-joint d'Arthur Bendelius, animateur du groupe de travail n° 6 du comité technique C3.3 de l'AIPCR. Les nouvelles recommandations de l'AITES [30] sont présentées dans un autre article ci-joint de Henry Russel, animateur du groupe de travail n° 6 de l'AITES.

time curve design (more classical, prescriptive approach), at least as a first step. The role of PIARC was to define the objectives of resistance to fire of road tunnel structures: design fires (mainly temperature-time curves) and required resistance times. ITA dealt with the construction techniques and materials to be used to meet these resistance objectives.

The PIARC Technical Committee on Road Tunnel Operation entrusted its working group No. 6 'Fire and smoke control' with the definition of the objectives. ITA put its working group No. 6 "Maintenance and repair" in charge of dealing with the constructional recommendations. Preliminary thoughts on objectives for fire resistance of tunnel structures were published in 1999 in the PIARC report "Fire and smoke control in road tunnels" [5]. A first draft PIARC proposal for design criteria was put forward to ITA in February 2001 as an initial definition of the resistance objectives. Comments and contributions to the discussion from ITA were taken into account to improve the proposal.

The draft proposal was also presented to the International Standardization Organisation (ISO) and the European Committee for Standardization (CEN). Their comments were taken into account to revise the proposal, especially as regards future steps. Comments from members of the PIARC technical committee on Road Tunnel Operation were also integrated. This committee finally approved a revised proposal, which was presented to ITA in February 2002.

The final outcomes of the ITA/PIARC co-operation are joint recommendations on both the objectives and the way to meet them:

- The objectives are described in chapter 7 "Design criteria for structure resistance to fire" of the new PIARC report "Systems and equipment for fire and smoke control in road tunnels" [19].
- The materials and construction methods are described in the new ITA "Guidelines for structural fire resistance for road tunnels" [30].

This article is co-signed by PIARC and ITA to show their joint agreement on its contents. It presents the objectives and criteria for tunnel structure resistance to fire, as prepared by PIARC, and is based on chapter 7 of the aforementioned PIARC report [19]. The rest of this report is described in an adjoining article by Arthur Bendelius, the leader of PIARC C3.3 working group No. 6. The new ITA guidelines [30] are presented in another adjoining article by Henry Russel, the leader of ITA working group No. 6.

CONTEXTE

Les objectifs que vise la résistance au feu des tunnels peuvent être résumés comme suit :

- Les personnes présentes dans le tunnel doivent pouvoir évacuer par leurs propres moyens ou être aidées pour atteindre un lieu sûr.
- Les opérations de secours doivent pouvoir être réalisées en sécurité.
- Des mesures de protection doivent être prises pour éviter des dommages matériels de grande ampleur.

La sécurité des usagers du tunnel et des équipes de secours constitue le principal objectif.

La protection des biens implique que le tunnel ne doit pas s'effondrer pendant une durée déterminée. Il est particulièrement important d'éviter l'effondrement de la structure dans le cas des tunnels immergés et des tunnels supportant des bâtiments. La protection des biens vise également les coûts pour la société occasionnés par l'interruption de la liaison routière pendant les opérations de reconstruction nécessaires.

La protection de l'environnement doit être assurée dans des situations particulières, telles qu'une production de gaz de combustion toxique ou des effets secondaires provoqués par un effondrement de la structure. La protection de l'environnement doit surtout être prise en compte dans les choix en matière de réaction au feu des matériaux utilisés pour la construction des tunnels. Elle n'est pas abordée dans cet article.

CRITÈRES DE CONCEPTION

Toute structure de tunnel doit avant tout respecter un critère fondamental : elle ne doit présenter aucun risque d'effondrement en chaîne ; la défaillance d'un élément ne doit pas entraîner le report sur d'autres parties de la structure d'une charge pouvant provoquer leur rupture.

Spécifications concernant les courbes température-temps

Plusieurs courbes température-temps ont été proposées jusqu'à aujourd'hui. La figure 1 montre la courbe ISO 834, la courbe hollandaise RWS, la courbe allemande ZTV-ING et une courbe française dite d'hydrocarbures « majorée », notée HCM (ou HC_{inc} en anglais), qui est obtenue à partir de la courbe d'hydrocarbures (HC) de l'Eurocode 1, partie 2-2, en multipliant les températures par un facteur de 1300/1100.

BACKGROUND

The objectives for fire resistance of tunnel structures can be summarised as follows:

- People inside the tunnel shall be able to evacuate by themselves or be assisted to a safe place.
- Rescue operation shall be possible to be performed under safe conditions.
- Protective measures shall be taken against extensive loss of property.

The safety of tunnel users and rescue personnel is the main objective.

Protection of property means that the tunnel structure must not collapse during a specified time period. To avoid structural collapse is especially important for submerged tunnels and tunnels under buildings. Protection of property also comprises the societal costs due to the break in road connection during necessary reconstruction activities.

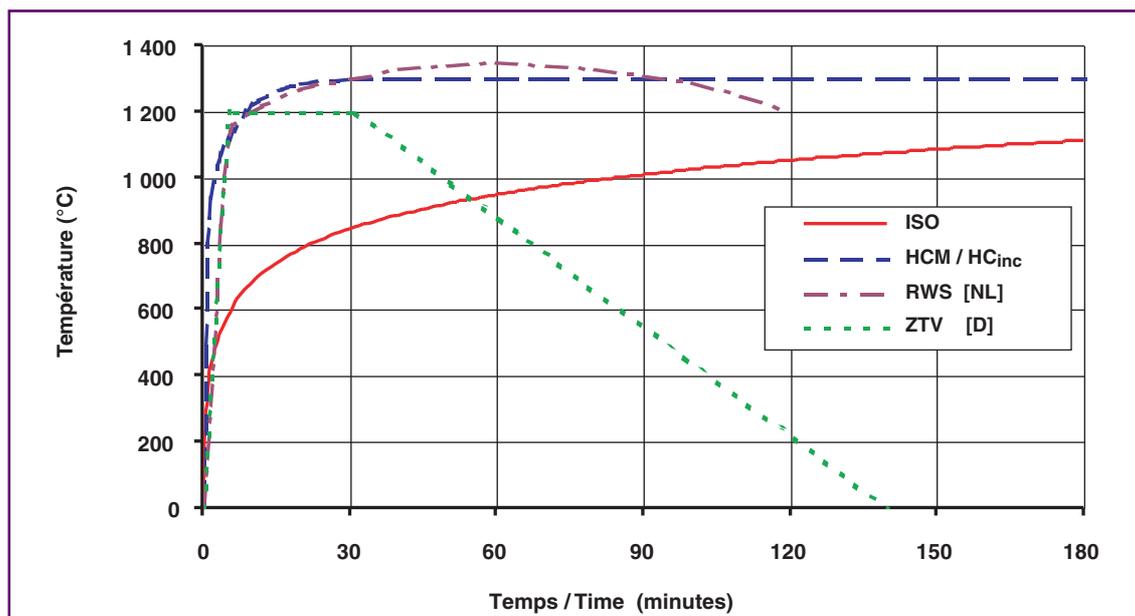
Protection of environment would be valid in special cases such as release of toxic combustion gases or secondary effects caused by a collapse of the structure. Protection of environment will mostly be taken care of in the design for reaction to fire of materials used in tunnel construction and is not dealt with in this article.

DESIGN CRITERIA

A preliminary and basic criterion to be met by any tunnel structure is that there should not be any risk of progressive collapse: the local failure of any element should not lead to an increased load on other parts of the structure which may cause their failure.

Terms of reference

There are several time-temperature curves proposed to date. Figure 1 sketches the ISO 834, the Dutch RWS curve, the German ZTV-ING curve and a French 'increased' Hydrocarbon curve, HC_{inc}, in which the temperatures are multiplied by a factor of 1300/1100 from the basic Hydrocarbon (HC) curve of Eurocode 1 Part 2-2.


Figure 1

Courbes température-temps ISO, HC_{inc} (aussi notée HCM), RWS et ZTV
Temperature versus time curves for ISO, HC_{inc}, RWS and ZTV standards

Les recommandations pour la conception de la structure doivent prendre en compte la courbe température-temps en fonction des événements qui peuvent se produire dans le tunnel. Les premières étapes du développement de l'incendie, et par suite la première partie de la courbe, sont à prendre en compte pour l'évacuation pendant le temps prévu à cet effet. Pendant cette période, il ne doit se produire aucun effondrement pouvant toucher les zones où peuvent se trouver des usagers ou des sauveteurs.

L'écaillage de la structure peut se produire dans les premières étapes de l'incendie. Toutefois, il n'a jamais été signalé de conséquence majeure pour les équipes de pompiers, même si ce phénomène peut indiquer une dégradation rapide de la structure. En revanche, il convient de préoccuper pendant l'intervention des pompiers de la chute d'équipements tels que ventilateurs, panneaux ou luminaires accrochés au plafond ou sur les piédroits. Cette question de résistance au feu a été abordée dans le rapport AIPCR [1], qui stipule :

« Dans tous les cas [...], l'exigence minimale est que les gros équipements ne doivent pas tomber lors de l'évacuation des usagers ou lorsque le personnel de secours est encore dans le tunnel. Cela signifie qu'aucun équipement lourd ne doit tomber lorsqu'il est exposé à des températures de 400 à 450 °C durant le temps requis pour la lutte contre l'incendie (dans un tunnel, de telles températures produisent un niveau de rayonnement d'environ 5 kW/m², ce qui est le maximum tolérable pour les pompiers). »

Des abris (antérieurement appelés « refuges ») ne doivent être construits dans un tunnel que s'il existe un cheminement permettant aux sauveteurs de rejoindre les

Recommandations for design of the structure should consider the time-temperature curve with regard to the possible events within the tunnel. The early stages of the fire development, hence the first part of the curve, will be taken into account for escape during the time conceived for evacuation. There should be no collapse during this period that can affect the zones where there may be users or rescuers.

Spalling of the structure can occur in the early stages of a fire but no incidents have been reported where it has had major consequences for firemen, although it may indicate a rapid deterioration of the structure. On the other hand, a concern at the time of fire service intervention would be the collapse of items, such as jet fans, signs or lights from the tunnel ceiling or walls. This question of fire resistance has been addressed in the PIARC report [1], which states:

"In all cases [...], the minimum requirement is that heavy equipment should not fall down when evacuating users or rescue personnel are in the tunnel. This means that no heavy item must fall under exposure to temperatures of 400-450°C during the time necessary to fight fire (in a tunnel, such temperatures can produce a radiation level of about 5 kW/m², which is the maximum tolerable value for firemen)."

Shelters should only be provided in a tunnel if there is an access way for rescuers to reach the users waiting in the shelter and assist them to the outside. If such shelters are

usagers qui s'y seront réfugiés et de les aider à atteindre l'extérieur. Si de tels abris sont aménagés, ils doivent être capables de résister pendant deux heures à la chaleur et aux gaz chauds, afin de pouvoir protéger les usagers dans l'attente des secours.

Il convient d'examiner pendant quelle durée totale les structures doivent résister au feu défini par la courbe retenue. Ainsi, en France, on prévoit une durée de 2 heures pour l'intervention des pompiers. Passé ce délai, le tunnel n'est plus considéré comme sûr. Si le tunnel se situe sous un bâtiment ou s'il est dans un autre cas où la protection des biens a de lourds enjeux, on peut envisager une durée plus longue.

available, their resistance against heat and hot gases over about two hours would be needed for protection prior to rescue.

The overall duration for structures resistance to fire as defined by the curve will need to be considered. For instance, in France current thinking is 2 hours for the fire brigade intervention; after 2 hours it would be considered to be unsafe. If the tunnel is under a building and in other cases where protection of property is an important issue, a longer time may be considered.

Recommandations proposées

Les critères de conception proposés sont présentés dans le tableau 1. Une distinction est établie selon le type de trafic (et donc le potentiel calorifique éventuel) et selon les conséquences d'une défaillance structurelle due au feu : lorsque celles-ci sont inacceptables, une protection contre un incendie très grave est nécessaire (tunnel immergé ou dans un terrain instable, par exemple) ; lorsqu'elles sont limitées, aucune protection n'est nécessaire (tunnel creusé dans un terrain stable, par exemple).

Proposed guidelines

The proposed design criteria are presented in Table 1. This table makes a distinction according to the type of traffic (and consequently the possible fire load) and the consequences of a structural failure due to a fire (when the consequences are unacceptable, a protection against a very severe fire is required - e.g. submerged tunnel or in unstable ground; when the consequences are limited, no protection is needed - e.g. tunnel in stable ground).

Tableau 1 :
Recommandations du C3.3 de l'AIPCR

Table 1:
Recommendations of PIARC C3.3

| Type de trafic Traffic type | Structure principale Main Structure | | | Structures secondaires (4) Secondary Structures (4) | | | | |
|---|---|--|--|--|--|---|---|---|
| | Immergée ou sous/à l'intérieur d'une superstructure Immersed or under /inside superstructure | Tunnel dans un terrain instable Tunnel in unstable ground | Tunnel dans un terrain stable Tunnel in stable ground | Tranchée couverte Cut & Cover | Gaines de ventilation (5) Air Ducts (5) | Issues de secours vers l'extérieur Emergency exits to open air | Issues de secours vers un autre tube Emergency exits to other tube | Abris (6) Shelters (6) |
| Voitures / Camionnettes Cars / Vans | ISO 60 mn/min | ISO 60 mn/min | (2) | (2) | ISO 60 mn/min | ISO 30 mn/min | ISO 60 mn/min | ISO 60 mn |
| Camions / Camions-citernes Trucks/ Tankers | RWS/HC _{inc} 120 mn/min (1) | RWS/HC _{inc} 120 mn/min (1) | (3) | (3) | ISO 120 mn/min | ISO 30 mn/min | RWS/HC _{inc} 120 mn/min | RWS/HC _{inc} 120 mn/min (7) |

(1) 180 mn peuvent être nécessaires pour un trafic très lourd de camions transportant des matières combustibles.

(2) La sécurité n'est pas un critère et n'exige pas une résistance au feu (au-delà des mesures nécessaires pour éviter un effondrement en chaîne). La prise en compte d'autres objectifs peut conduire aux exigences suivantes :

- ISO 60 mn dans la plupart des cas ;
- aucune protection si une protection de la structure serait trop onéreuse par rapport au coût et à la gêne occasionnés par des travaux de réparation après un incendie (couverture légère pour la protection contre le bruit, par exemple).

(3) La sécurité n'est pas un critère et n'exige pas une résistance au feu (au-delà des mesures nécessaires pour éviter un effondrement en chaîne). La prise en compte d'autres objectifs peut conduire aux exigences suivantes :

- RWS/HC_{inc} 120 mn si une protection forte est nécessaire pour les biens (tunnel sous un bâtiment, par exemple) ou en raison d'une influence importante sur le réseau routier ;
- ISO 120 mn dans la plupart des cas, si elle garantit une protection d'un coût raisonnable pour limiter les dommages matériels ;
- aucune protection si une protection de la structure serait trop onéreuse par rapport au coût et à la gêne occasionnés par des travaux de réparation après un incendie (couverture légère pour la protection contre le bruit, par exemple).

(4) Autres structures secondaires : à définir dans le cadre de chaque projet.

(5) En cas de ventilation transversale.

(6) Les abris doivent être reliés à l'extérieur.

(7) Une durée supérieure peut être utilisée s'il y a un trafic très lourd de camions transportant des matières combustibles et si l'évacuation des abris est impossible dans un délai de 120 mn.

(1) 180 min may be required for very heavy traffic of trucks carrying combustible goods

(2) Safety is not a criteria and does not require any fire resistance (other than avoiding progressive collapse). Taking into account other objectives may lead to the following requirements:

- ISO 60 min in most cases;
- no protection at all if structural protection would be too expensive compared to cost and inconvenience of repair works after a fire (e.g. light cover for noise protection)

(3) Safety is not a criteria and does not require any fire resistance (other than avoiding progressive collapse). Taking into account other objectives may lead to the following requirements:

- RWS/HC_{inc} 120 min if strong protection is required because of property (e.g. tunnel under a building) or large influence on road network;
- ISO 120 min in most cases, when this provides a reasonably cheap protection to limit damage to property;
- no protection at all if structural protection would be too expensive compared to cost and inconvenience of repair works after a fire (e.g. light cover for noise protection)

(4) Other secondary structures: should be defined on a project basis

(5) In case of transverse ventilation

(6) Shelters should be connected to the open air

(7) A longer time may be used if there is a very heavy traffic of trucks carrying combustible goods and the evacuation from the shelters is not possible within 120 min

Le tableau 1 utilise la courbe ISO ainsi que la courbe RWS ou HC_{inc} pour définir les critères de conception dans les différentes circonstances. Le comité C3.3 de l'AIPCR estime que les courbes RWS et HC_{inc} correspondent à des niveaux de résistance au feu très similaires et qu'il convient d'utiliser une seule de ces deux courbes (ou une courbe similaire). Le SC2/CT 92 de l'ISO pense également qu'on peut indifféremment utiliser l'une ou l'autre, mais considère que la courbe HC_{inc} est un meilleur choix, plus naturel, si une seule courbe doit être adoptée. Le comité C3.3 de l'AIPCR propose actuellement d'utiliser l'une ou l'autre de ces courbes qui conduisent à des résultats très similaires.

Table 1 uses the ISO curve and either the RWS or the HC_{inc} curve to define design criteria for different circumstances. PIARC C3.3 believes that the RWS and HC_{inc} curves correspond to very similar levels of fire resistance, and only one of the two should be used (or a similar curve). ISO TC92/SC2 also believes that which one you use has no impact, but considers that the HC_{inc} curve is a more natural, better choice, should one only be kept. Currently PIARC C3.3 proposes that any of these curves can be used, with very similar results.

ÉTAPES FUTURES

Introduction des courbes d'incendie en tunnel dans les normes européennes et internationales

Le comité C3.3 de l'AIPCR a jugé qu'il serait utile que les normes internationales prennent en compte la spécificité des incendies violents dans les tunnels. Cette position a reçu l'appui de la Commission économique pour l'Europe des Nations unies (CEE ONU). Dans son rapport final [31], le groupe d'experts sur la sécurité dans les tunnels routiers de la CEE ONU recommande au titre de la mesure 3.07 « l'introduction dans les normes internationales d'une courbe température-temps représentant un incendie violent dans un tunnel, pour garantir une bonne résistance au feu des structures et des équipements indispensables à la sécurité ». Il fait à ce sujet référence au travail conjoint de l'AIPCR et de l'AITES.

Le groupe de travail n° 6 du comité C3.3 de l'AIPCR a pris contact avec le Comité européen de normalisation (CT 250 « Eurocodes structuraux ») pour lui proposer d'introduire une courbe température-temps représentative des incendies très graves en tunnel (RWS ou HC_{inc}) dans la norme européenne appropriée. Le CT 250 du CEN a répondu en mars 2001 qu'il n'y avait pas d'objection fondamentale à l'inclusion de cette nouvelle courbe. Toutefois, l'Eurocode « Actions sur les structures » était sur le point de passer du stade de prénorme à celui de norme et il était trop tard pour ajouter des éléments nouveaux. Cette question devrait être examinée lors de la première révision de l'Eurocode. Parallèlement, l'introduction des règles de calcul correspondantes devrait être envisagée dans les Eurocodes relatifs aux différents matériaux. Ce même comité suggérerait qu'entre-temps l'AIPCR demande au CT 127 du CEN, chargé des méthodes d'essai au feu, s'il serait possible de définir une courbe d'incendie en tunnel pour les essais de résistance au feu. Cela pourrait donner un statut plus officiel aux essais réalisés avec cette courbe.

De la même façon, le groupe de travail n° 6 du comité C3.3 de l'AIPCR a proposé au SC4/CT 92 de l'ISO « Ingénierie de la sécurité incendie » d'inclure la même courbe température-temps représentative d'incendies très graves

FUTURE STEPS

Introduction of tunnel fire curves into European and international standards

PIARC C3.3 felt it useful that the relevant international standards took into account the speciality of large tunnel fires. This was supported by the Economic Commission for Europe of the United Nations (UN ECE). In their final report [31], the UN ECE group of experts on safety in road tunnels recommended as Measure 3.07 the "introduction into international standardization of a time-temperature curve, representing a violent fire in a tunnel, thus ensuring adequate resistance to fire of those structures and equipment which are indispensable for safety", and referred to the joint work by PIARC and ITA.

PIARC C3.3 working group No. 6 got in touch with the European Committee for Standardization (CEN/TC 250 'Structural Eurocodes') and proposed that a temperature-time curve representative of very severe tunnel fires (either RWS or HC_{inc}) be introduced into the relevant European standard. CEN/TC 250 answered in March 2001 that there was no fundamental objection to the inclusion of such a new curve. However, the Eurocode dealing with "Actions in case of fire" was in the process of being converted from a pre-standard into a full standard, and it was too late to include any new material. This should be considered at the first revision of this Eurocode. At the same time, the introduction of the supporting calculation rules should be considered for inclusion in the "material" dependent Eurocodes. In the meanwhile, they suggested that PIARC ask CEN/TC 127, in charge of fire test methods, if it would be possible to define a tunnel fire curve for fire resistance tests. This could give a more official status to tests carried out using this curve.

PIARC C3.3 working group No. 6 similarly proposed ISO/TC 92/SC4 "Fire Safety Engineering" to include the same temperature-time curve representative of very severe tunnel fires into the relevant international standard. ISO/TC

en tunnel dans la norme internationale appropriée. Le SC4/CT 92 de l'ISO a répondu qu'il hésitait à recommander une seule courbe température-temps représentative de tous les incendies qui peuvent se produire dans des tunnels. Sa mission était précisément d'établir des recommandations pour élaborer des scénarios d'incendies de dimensionnement « sur mesure » pour l'évaluation de la sécurité incendie d'une installation particulière. Le SC2/CT 92 de l'ISO « Confinement du feu » a donné une réponse similaire. Ce sujet est traité dans le paragraphe suivant.

Ingénierie de la sécurité incendie

Le SC2 et le SC4 du CT 92 de l'ISO, ainsi que plusieurs membres des groupes de travail de l'AIPCR et de l'AITES, ont rappelé que chaque tunnel était unique en ce qui concerne le déroulement d'un scénario d'incendie et qu'il existait de nombreux paramètres importants :

- le type et la densité du trafic, et par conséquent le potentiel calorifique et sa répartition spatiale, ainsi que l'éventuelle propagation de l'incendie,
- la configuration du profil en travers, la longueur et la déclivité du tunnel,
- la conception et la capacité du système de ventilation du tunnel,
- l'utilisation éventuelle de mesures actives pour limiter le feu comme les systèmes d'aspersion ou les brouillards d'eau,
- la rugosité de la surface du tunnel et les variations du profil en travers,
- l'inertie thermique des parois du tunnel,
- etc.

En raison des températures très élevées, il pourrait exister un risque de surdimensionnement des tunnels si on applique les courbes RWS ou HC_{inc} indépendamment de la situation réelle de l'ouvrage. De nouveaux principes d'ingénierie de la sécurité doivent être recherchés et mis au point afin d'établir, à l'avenir, des incendies de dimensionnement mieux adaptés aux tunnels. Le SC4/CT 92 de l'ISO a proposé à l'AIPCR d'établir des contacts officiels pour approfondir cette approche. Le comité C3.3 de l'AIPCR étudie actuellement la suite à donner à cette proposition.

CONCLUSION

La coopération entre l'AIPCR et l'AITES sur la résistance au feu des structures des tunnels routiers a été fructueuse. Des critères de conception rationnels ont été élaborés par le groupe de travail n° 6 « Maîtrise de l'incendie et des fumées » du comité technique AIPCR de l'exploitation des tunnels routiers et ont été approuvés par le comité [19]. Des méthodes de construction répondant

92/SC4 answered that they were hesitant to recommend only one temperature-time curve as being representative of fires that could develop in all tunnels. Indeed their mandate was to recommend how design fire scenarios and design fires should be tailored for a fire safety engineering assessment of a specific facility. A similar answer was received from their colleagues of ISO/TC 92/SC2 "Fire containment". This issue is dealt with in the following paragraph.

Fire Safety Engineering

Both ISO/TC 92/SC2 and SC4, as well as several members of PIARC and ITA working groups mentioned that every tunnel is unique as concerns the development of a fire scenario and numerous parameters are of importance :

- the type and density of traffic, and consequently the fire load and its distribution (area), as well as the possible fire spread,
- the cross-section configuration, the length and inclination of the tunnel,
- the ventilation design and ventilation capacity of the tunnel,
- the possible use of active mitigation measures such as sprinklers or water mist,
- the roughness of the tunnel surface and changes in cross-section,
- the thermal inertia of the tunnel boundaries,
- etc.

Due to the very high temperatures, there might be a risk for an overdesign of tunnels when applying the RWS or HC_{inc} curves independent of the real situation of the tunnel. New safety engineering principles should be explored and developed to establish more appropriate design fires for tunnels in the future. ISO/TC 92/SC4 has proposed PIARC to establish a formal liaison to further explore this approach. PIARC C3.3 is currently considering how to proceed with this proposal.

CONCLUSION

The cooperation between PIARC and ITA on resistance to fire of road tunnel structures has been fruitful. Rational design criteria have been developed by Working Group No. 6 "Fire and Smoke Control" of the PIARC Technical Committee on Road Tunnel Operation and have been approved by this Committee [19]. Constructional solutions which meet these criteria have

à ces critères ont été mises au point par le groupe de travail n° 6 de l'AITES « Entretien et réparation des ouvrages souterrains » [30]. Elles apportent une réponse aux exigences de résistance au feu des tunnels routiers qui figurent dans les dernières recommandations ou législations internationales, telles les recommandations sur la sécurité dans les tunnels routiers de la CEE ONU déjà citées [31] ou la récente directive de l'Union européenne concernant les « Exigences de sécurité minimales applicables aux tunnels du réseau routier trans-européen » [32].

Les critères de conception préconisés par l'AIPCR sont basés sur des courbes température-temps déjà existantes, afin de tirer parti de l'expérience acquise avec leur utilisation. La courbe ISO est représentative des incendies de voitures particulières ou de camionnettes, ainsi que de la plupart des incendies de poids lourds, qui ne connaissent pas un développement très violent. Les incendies de poids lourds les plus graves, qui impliquent une augmentation très rapide de la température et un dégagement de chaleur intense, sont caractérisés par une courbe spécifique (RWS ou HC_{inc}). L'utilisation de l'un ou l'autre de ces incendies de dimensionnement et la durée de résistance nécessaire dépendent du rôle spécifique de chaque élément de structure dans la sécurité générale du tunnel.

Ces critères de conception sont essentiellement descriptifs, même si les moyens pour y répondre peuvent être divers. Leur utilisation représentera un grand pas en avant. Des progrès ultérieurs pourraient être envisagés par l'utilisation de l'ingénierie de la sécurité incendie, dont l'application aux tunnels demeure un sujet de recherche.

been finalised by ITA Working Group No. 6 "Maintenance and Repair" [30]. Together they bring an answer to the requirements for fire resistance of road tunnel structures which appear in recent international guidelines or legislations, such as the aforementioned UN ECE "Recommendations on Safety in Road Tunnels" [31] or the recent European Union directive on "Minimum Safety Requirements for Tunnels in the Trans-European Road Network" [32].

The PIARC design criteria are based on already-existing temperature-time curves, so as to take advantage of past experience in their use. The ISO curve is representative of passenger car or van fires, as well as most HGV fires, which do not have a very violent development. The most serious HGV fires, with a very quick temperature rise and intense heat output, are characterized by a specific curve (RWS or HC_{inc}). The use of one or the other of these design fires and the required resistance time are dependent on the specific role of each structural element in the overall tunnel safety.

These design criteria are mainly prescriptive, even though the means to meet them can be various. Their application will represent quite a serious step forward. Further progress could be sought in the use of fire safety engineering, whose application to tunnels is still a subject for research.