

# **EXPLOITATION DES TUNNELS ROUTIERS**

19 septembre 2007 (après-midi)

## **COMITÉ TECHNIQUE 3.3 EXPLOITATION DES TUNNELS ROUTIERS**

### **RAPPORT INTRODUCTIF**

## SOMMAIRE

SOMMAIRE .....	3
MEMBRES DU COMITÉ AYANT CONTRIBUÉ AU RAPPORT .....	3
1. INTRODUCTION .....	4
1.1. Groupe de Travail 1 – Exploitation des tunnels .....	4
1.2. Groupe de Travail 2 - Gestion de la sécurité des tunnels .....	4
1.3. Groupe de Travail 3 - Facteurs humains pour la sécurité des tunnels.....	4
1.4. Groupe de Travail 4 - Détection, communication, équipements de sécurité.....	5
1.5. Groupe de Travail 6 - Ventilation et maîtrise des incendies.....	5
1.6. Présentation de la séance du congrès sur l'exploitation des tunnels routiers.....	5
2. DÉTECTION D'INCIDENTS BASÉE SUR LE TRAITEMENT D'IMAGES VIDEO.....	6
3. ÉVALUATION DES SYSTÈMES FIXES DE LUTTE CONTRE L'INCENDIE.....	7
3.1. Intérêt continu de l'AIPCR et positions antérieures .....	7
3.2. Nouveaux développements .....	8
3.3. Discussion et recommandations .....	9
4. FACTEURS HUMAINS ET SÉCURITÉ DANS LES TUNNELS DU POINT DE VUE DES USAGERS.....	10
5. RECOMMANDATIONS POUR LES TUNNELS ROUTIERS URBAINS .....	12
6. ORIENTATIONS FUTURES.....	13
6.1. Mesures de sécurité .....	14
6.2. Analyse de risques .....	14
6.3. Comportement humain .....	14
6.4. Gestion des tunnels, formation et exploitation .....	15
6.5. Gestion du trafic .....	15
6.6. Sécurité incendie .....	15
6.7. Ventilation.....	16
6.8. Divers .....	16
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	16
CONCLUSIONS PROVISOIRES.....	17

## **RÉSUMÉ**

De plus en plus de tunnels sont construits pour franchir des barrières naturelles ou traverser des zones urbaines. Les tunnels existants reçoivent un trafic croissant et un certain nombre d'entre eux ont besoin d'une rénovation. Dans tous les cas, des équipements efficaces et une exploitation sûre et efficiente sont nécessaires. Depuis sa création il y a cinquante ans, en 1957, le Comité technique 3.3 de l'Exploitation des Tunnels routiers de l'AIPCR étudie les divers aspects de la géométrie, des équipements, de l'exploitation, de l'impact sur l'environnement et de la sécurité des tunnels routiers.

La présente séance sur l'Exploitation des tunnels routiers présentera les activités et les résultats du Comité technique 3.3 pendant les quatre dernières années. Elle examinera plus en détail plusieurs sujets qui justifient une discussion avec l'assistance. D'autres sujets en relation avec la sécurité seront débattus au cours de la séance spéciale 15 sur la Gestion de la sécurité dans les tunnels routiers.

La séance sur l'Exploitation des tunnels routiers examinera les progrès récents en matière d'équipements techniques, y compris la détection d'incidents par traitement d'images vidéo et les systèmes fixes de lutte contre l'incendie. Alors que l'AIPCR a toujours déconseillé l'utilisation des systèmes traditionnels de sprinklers (systèmes dit « déluge ») avant que les utilisateurs du tunnel n'aient pu évacuer, les brouillards d'eau apportent de nouvelles possibilités : leur utilisation sera discutée au cas par cas parce qu'il n'est pas certain qu'ils apportent une sécurité supplémentaire ou présentent un bon rapport coût/efficacité dans tous les cas.

Un domaine plus neuf est celui du comportement des usagers, des exploitants et des équipes de secours dans les tunnels. La séance tirera les leçons de l'analyse de situations normales et d'urgence. Elle permettra de discuter de la meilleure façon de prendre en compte le comportement de l'utilisateur, et si possible de l'améliorer, grâce à la conception et l'exploitation des tunnels. En raison d'un trafic très élevé, les tunnels urbains soulèvent des questions spécifiques qui seront envisagées des points de vue de l'exploitant, de l'utilisateur et de la communauté locale.

La séance sera clôturée par une discussion avec l'assistance sur les orientations à prendre et sur les nouveaux sujets à étudier par le comité pendant les années à venir.

## **MEMBRES DU COMITÉ AYANT CONTRIBUÉ AU RAPPORT**

Art Bendelius, Etats-Unis  
Didier Lacroix, France  
Jean-Claude Martin, France  
Manuel Romana Ruiz, Espagne  
Pierre Schmitz, Belgique  
Urs Welte, Suisse  
Evert Worm, Pays-Bas  
Alan West, Royaume-Uni

## 1. INTRODUCTION

Durant le cycle 2004-2007 de l'AIPCR, le Comité technique 3.3 de l'Exploitation des tunnels routiers s'est préoccupé d'une série de questions-clés dans le cadre des termes de référence suivants :

- Offrir des tunnels plus sûrs
- Améliorer l'exploitation et l'entretien des tunnels
- Ventilation et extinction des incendies
- Prendre en compte les facteurs humains dans la sécurité des tunnels

En fonction de ces termes de référence, des stratégies ont été élaborées pour produire des rapports techniques et des articles, ainsi que pour organiser des séminaires internationaux et des ateliers. Les activités techniques ont été menées par cinq groupes de travail qui ont préparé les documents avant qu'ils ne soient discutés puis approuvés par le Comité. Le rapport d'activité de l'AIPCR comporte un exposé détaillé des activités et des résultats. La liste ci-dessous ne reprend que les rapports publiés ou préparés pendant le présent cycle :

### 1.1. Groupe de Travail 1 – Exploitation des tunnels

Rapport publié sous forme papier :

- Guide de bonne pratique pour l'exploitation et l'entretien des tunnels routiers (2005)

Rapport préparé pour le Congrès mondial de la Route de Paris :

- Guide pour le recrutement, la formation et l'organisation du personnel d'exploitation des tunnels routiers

Rapport en voie d'achèvement :

- Recommandations pour les maîtres d'ouvrage et les exploitants de tunnels routiers urbains

### 1.2. Groupe de Travail 2 - Gestion de la sécurité des tunnels

Rapports préparés pour le Congrès mondial de la Route de Paris:

- Approche intégrée de la sécurité des tunnels routiers
- Analyse de risques pour les tunnels routiers

Rapport en voie d'achèvement :

- Outils pour la gestion de la sécurité des tunnels routiers

### 1.3. Groupe de Travail 3 - Facteurs humains pour la sécurité des tunnels

Rapport préparé pour le Congrès mondial de la Route de Paris, en coopération avec le Groupe de travail 4 :

- Les facteurs humains et la sécurité dans les tunnels routiers du point de vue des usagers

Rapport en voie d'achèvement :

- Gestion de l'interface exploitant/équipes de secours dans les tunnels routiers

#### 1.4. Groupe de Travail 4 - Détection, communication, équipements de sécurité

Rapports publiés sous forme papier :

- Conception de la section transversale des tunnels routiers bi-directionnels (2004)
- Système de gestion des incidents de la circulation dans les tunnels routiers (2004)

Rapport préparé pour le Congrès mondial de la Route de Paris:

- Signalisation directionnelle sur un itinéraire comprenant des tunnels

Rapports en voie d'achèvement :

- Garages et postes de secours dans les tunnels routiers
- La vidéo détection dans les tunnels routiers : avantages et limites

#### 1.5. Groupe de Travail 6 - Ventilation et maîtrise des incendies

Rapports publiés sous forme papier :

- Tunnels routiers : émissions et besoins en air pour la ventilation (2004)
- Systèmes et équipements pour la maîtrise des incendies et des fumées dans les tunnels routiers (2007)

Rapports préparés pour le Congrès mondial de la Route de Paris:

- Tunnels routiers : guide pour l'optimisation de l'impact sur la qualité de l'air dans l'environnement
- Tunnels routiers : évaluation des systèmes fixes de lutte contre l'incendie

Rapport en voie d'achèvement :

- Tunnels routiers : stratégies d'exploitation de la ventilation

#### 1.6. Présentation de la séance du congrès sur l'exploitation des tunnels routiers

Les principales productions du Groupe de travail 2 et les derniers résultats du Groupe de travail 3 seront présentés et discutés lors de la séance spéciale 15 sur la « Gestion de la sécurité des tunnels routiers », de même que les activités des principaux intervenants dans ce domaine à l'extérieur de l'AIPCR.

La séance relative à l'Exploitation des tunnels routiers commencera par une vue d'ensemble des activités du Comité technique 3.3 pendant le cycle 2004-2007. Elle se concentrera ensuite sur quatre sujets d'étude dans des domaines qui ne sont pas traités dans la séance spéciale 15. Les sujets suivants ont été choisis pour être présentés au cours de cette séance car ils constituent des éléments critiques qui méritent une clarification et une discussion lors du congrès :

- Détection d'incidents basée sur le traitement d'images vidéo
- Évaluation des systèmes fixes de lutte contre l'incendie
- Facteurs humains et sécurité des tunnels du point de vue des usagers
- Recommandations pour les tunnels routiers urbains.

Le débat final aura pour objectif de rassembler les vues de tous les participants sur les orientations futures et les nouveaux sujets pour le Comité technique de l'Exploitation des tunnels routiers pendant le prochain cycle 2008-2011 de l'AIPCR.

Les chapitres suivants du présent rapport constituent une introduction à chaque sujet qui sera présenté et discuté pendant la séance.

## **2. DÉTECTION D'INCIDENTS BASÉE SUR LE TRAITEMENT D'IMAGES VIDEO**

Des systèmes de traitement d'images vidéo ont été fréquemment mis en œuvre dans des tunnels routiers durant les dernières années. Les applications de base de l'image vidéo sont :

- La surveillance des incidents
- La surveillance du trafic
- La régulation de la circulation.

Son utilisation pour le trafic est largement admise et bien documentée ; son utilisation pour la détection et la surveillance d'incidents est plus critique et est, jusqu'ici, l'objet de plus de critiques.

Les applications essentielles suivantes sont prises en considération pour les tunnels routiers:

- Détection d'incendie
- Détection de fumée
- Détection d'accident.

Des systèmes de détection d'incendie et de fumée basés sur la vidéo, qui permettraient l'élimination des systèmes classiques de détection d'incendie (comme les détecteurs thermiques linéaires, les détecteurs de fumée, etc.) sont actuellement fortement réclamés, d'une part pour des raisons de coût et d'autre part, on l'espère, pour une meilleure détection. Certains tunnels sont équipés des deux systèmes : détecteurs thermiques linéaires et systèmes à traitement d'images vidéo.

Ces systèmes sont continuellement améliorés mais il reste encore de nombreux problèmes à résoudre. En particulier, le taux de fausses alarmes est souvent trop élevé. Les situations suivantes produisent souvent des fausses alarmes : (1) du brouillard et de la brume entrant dans le tunnel au niveau des portails, (2) des émissions élevées de gaz d'échappement des camions, (3) l'encrassement des objectifs des caméras.

De plus, à l'origine, les systèmes de traitement d'images vidéo n'étaient pas conçus pour garantir des niveaux de sécurité élevés, de telle sorte que les systèmes comprenant les caméras, prises, câblages, interrupteurs, etc. ne sont pas toujours fiables et correctement surveillés. Des procédures de contrôle pour distinguer les fausses alarmes, les alarmes dues à l'environnement et les vraies alarmes n'ont pas souvent été établies ni présentées d'une façon appropriée (c'est à dire de la même manière que les procédures concernant les systèmes classiques de détection d'incendie).

Pendant la présentation sur la détection d'incidents par traitement d'images vidéo lors de cette séance, les résultats des travaux du Groupe de travail 4 du Comité technique de l'Exploitation des tunnels routiers (C3.3) seront décrits. Cette présentation traitera tous les aspects des systèmes de traitement d'images vidéo. Les éléments spécifiques suivants seront examinés :

- Discussion générale des composants typiques des systèmes
  - Les caméras
  - La structure
  - L'électronique
  - Les logiciels/algorithmes
- Intégration dans les systèmes de gestion du trafic existants
  - Utilisation avec les systèmes existants de télévision en circuit fermé (CCTV)
  - Interface avec les systèmes existants
  - Élimination des systèmes avec détection par boucles
- Entretien
- Procédures de réception
- Erreurs/ fausses alarmes (brouillard, brume ; aux portails)
- Essai de performance, adaptation des normes.

### **3. ÉVALUATION DES SYSTÈMES FIXES DE LUTTE CONTRE L'INCENDIE**

#### **3.1. Intérêt continu de l'AIPCR et positions antérieures**

Dans le contexte de ce rapport introductif et du travail effectué par le Groupe de Travail 6, le vocable « Système Fixe de Lutte contre l'Incendie (SFLI) » désigne des systèmes de contrôle de l'incendie, incluant les systèmes de sprinklers, de déluge, de brouillard d'eau et tous les autres systèmes qui sont fixés de manière permanente à la structure du tunnel et peuvent répandre un élément de lutte contre le feu tel que l'eau.

Les premières discussions sur les systèmes fixes de lutte contre l'incendie ont débuté au sein de l'AIPCR au cours du Congrès mondial de la route de 1983 à Sydney [1]. En 1999, lors du Congrès mondial de la route de Kuala Lumpur, des inquiétudes avaient été exprimées en ce qui concerne l'installation de systèmes fixes de lutte contre l'incendie, principalement parce que beaucoup d'incendies dans les tunnels débutent dans le compartiment interne fermé du moteur d'un véhicule. Il a en outre été clairement établi que, dans la plupart des cas, les systèmes fixes de lutte contre l'incendie ne sont pas en mesure d'éteindre les incendies importants de véhicules, contrairement à ce qu'on croit souvent .

A titre d'exemple, l'AIPCR a présenté les recommandations suivantes, dans sa publication « Maîtrise des incendies et des fumées dans les tunnels routiers » [2] :

"La raison pour laquelle la plupart des pays n'utilise pas ces dispositifs dans les tunnels est que la majorité des incendies prennent naissance dans un compartiment fermé et que les dispositifs d'arrosage ne sont d'aucune utilité tant que l'incendie y est confiné."

"Cependant l'utilisation des sprinklers soulève un certain nombre de problèmes :

- (1) l'eau peut provoquer une explosion dans l'essence..., si on ne lui ajoute pas des additifs appropriés
- (2) un risque existe que le feu soit éteint mais que des gaz inflammables soient produits et provoquent une explosion
- (3) la vapeur d'eau peut blesser les personnes
- (4) la couche de fumée est refroidie et déstratifiée, si bien qu'elle peut recouvrir l'ensemble du tunnel
- (5) la visibilité est réduite
- (6) l'entretien peut être coûteux."

L'AIPCR a également indiqué dans la publication de 1999 [2] que les sprinklers (SFLI) pouvaient être utilisés pour refroidir des véhicules afin de limiter la propagation de l'incendie du véhicule initial en feu vers d'autres autour de lui. En ce qui concerne le processus d'évacuation lors d'un incendie dans un tunnel, l'AIPCR était alors d'avis que des sprinklers ou des systèmes de déluge (SFLI) - s'ils sont installés - ne devaient pas être mis en route avant que tous les occupants aient été évacués.

### 3.2. Nouveaux développements

Durant ces dernières années, un nombre important d'études et de recherches a été mené sur les systèmes fixes de lutte contre l'incendie, afin d'essayer de répondre aux nombreuses questions posées et d'obtenir une meilleure connaissance du rôle et de l'efficacité de ces systèmes dans les tunnels.

En dépit des réalisations actuelles, il reste de bonnes raisons d'être prudent et de peser les avantages de l'installation d'un système fixe de lutte contre l'incendie dans un tunnel routier. Il est vivement recommandé que, au cas par cas, une étude de faisabilité, accompagnée d'une analyse de risques et d'une analyse coûts-avantages soit conduite pour chaque installation de SFLI.

La gestion des risques d'incendies vis-à-vis des tunnels routiers et de leurs usagers est depuis longtemps un sujet de préoccupation central pour la conception et l'exploitation des tunnels. Une gamme de techniques et de technologies a été développée et affinée pour prendre en compte ces risques d'incendie. Leur mise en oeuvre a eu comme conséquence que les tunnels sont devenus une des parties les plus sûres d'un réseau routier moderne, avec des taux d'accidents, de blessés et de décès plus faibles que dans n'importe quel autre partie du réseau routier.

Les incendies qui ont eu lieu en tunnel de 1999 à 2001 et qui ont eu comme conséquence des pertes de vies humaines, des blessés et des dégâts à l'infrastructure, ont été nettement plus graves que s'ils avaient eu lieu à l'air libre. Les circonstances qui ont conduit à chacun de ces incendies étaient toutefois des scénarios typiques d'incident : ce furent la nature et l'ampleur des conséquences qui étaient inattendues car les incidents ou accidents de départ n'étaient ni étranges ni improbables.

Ces importants incendies récents dans des tunnels routiers nous ont rappelé que les conséquences d'un incident dans un tunnel peuvent – dans certaines circonstances - être plus graves que s'ils se produisaient à l'air libre. Ces graves conséquences peuvent toucher à la fois les usagers et l'infrastructure du tunnel.



Cela a conduit à réclamer des améliorations supplémentaires des techniques et technologies de gestion des risques liés aux incendies dans les tunnels.

Une famille de techniques et de technologies qui rencontre actuellement un nouvel intérêt (et qui est l'objet d'une promotion active) est celle des systèmes fixes de lutte contre l'incendie (SFLI). De tels systèmes ont été utilisés dans les bâtiments depuis de nombreuses années et ont été adaptés pour être utilisés dans les tunnels routiers depuis au moins vingt ans ; quelques-uns font actuellement l'objet de recherches intensives et ont été récemment installés.

L'objectif actuel de l'utilisation des systèmes fixes de lutte contre l'incendie est de ralentir le développement et la croissance du feu, de minimiser ou d'éviter totalement la propagation du feu d'un véhicule à un autre et donc d'améliorer les conditions d'évacuation et de secours.

### 3.3. Discussion et recommandations

Dans le cadre de cette présentation, il sera débattu de l'impact fonctionnel que les SFLI peuvent avoir sur la performance des systèmes de sécurité incendie en tunnel. De plus, des informations seront données sur des cas concrets d'utilisation des SFLI dans des tunnels routiers de plusieurs pays. Les types de systèmes disponibles seront également présentés.

Un SFLI ne devrait être installé que là où sa performance est démontrée par une approche systémique d'ingénierie de la sécurité en tunnel. Les SFLI sont un des nombreux outils disponibles pour améliorer la sécurité des usagers et la protection de l'infrastructure - et l'examen de l'opportunité de SFLI devrait toujours être entrepris en gardant à l'esprit qu'ils sont une des nombreuses options disponibles pour la sécurité des tunnels.

Il faut insister sur le fait que la sécurité en tunnel demande un examen approfondi de l'ensemble du système composé de l'infrastructure, de l'exploitation, des usagers et des véhicules. L'évaluation de n'importe quel élément d'équipement, y compris un système fixe de lutte contre l'incendie, devrait être faite en tant qu'élément du système entier, sur la base des scénarios d'incendie possibles.

Comme le succès des SFLI dépend d'une activation rapide du système au bon moment, vis à vis de l'auto sauvetage des usagers du tunnel, d'autres aspects devraient être examinés dans la conception du tunnel. Ce pourraient être des facteurs tels que le financement de l'entretien (légal/contractuel), la culture de l'entretien et du contrôle, et la compétence et l'efficacité des réactions opérationnelles. Ces facteurs sont importants en plus des questions techniques telles que la vitesse de détection des incidents, l'exactitude de la localisation et les temps de réaction.

On peut conclure que, puisque l'utilisation des SFLI peut affecter des aspects fondamentaux d'un incendie et de ses conséquences – y compris le développement du feu et sa puissance thermique, l'humidité, la stratification, la visibilité, la température de l'air autour du foyer et la probabilité de flash-over – elle ne doit être considérée que comme un des éléments d'un système global de sécurité du tunnel.

#### **4. FACTEURS HUMAINS ET SÉCURITÉ DANS LES TUNNELS DU POINT DE VUE DES USAGERS**

A la suite des incendies dans les tunnels du Mont Blanc, des Tauern et du Gotthard, la sécurité des tunnels routiers a suscité une importante attention du public dans les pays européens. Ceci a conduit à une évaluation des réglementations nationales existantes et à l'élaboration d'une directive européenne concernant les exigences de sécurité minimales applicables aux tunnels du réseau routier transeuropéen [3].

Dans de nombreux pays, les maîtres d'ouvrage de tunnels se sont rendus compte que les ingénieurs impliqués dans la construction, les équipements de la gestion des tunnels pouvaient concevoir d'excellentes mesures, signalisations et systèmes d'aide aux usagers des tunnels en cas de situations normales du trafic et en cas de situations critiques ; toutefois il n'avait jamais été démontré si les usagers comprendraient réellement ces mesures et ces signalisations et s'ils utiliseraient les dispositifs et les équipements de la façon prévue par les concepteurs.

A la suite des incendies en tunnel mentionnés ci-dessus, l'Union européenne a financé une série de réseaux thématiques et de projets de recherche afin d'arriver à une meilleure compréhension des facteurs qui déterminent la sécurité des tunnels routiers, y compris le comportement humain.

En 2000 le Comité technique AIPCR de l'Exploitation des tunnels routiers (C3.3) a décidé de mettre sur pied un groupe de travail qui examinerait les facteurs humains. Ce groupe a produit, entre autres, des recommandations à l'intention des conducteurs professionnels et non professionnels. Il a commencé en 2004 à préparer des recommandations en matière de conception et d'exploitation des tunnels sous l'angle du comportement humain. Par la suite, ce projet a été mené en coopération avec le Groupe de Travail 4 « Détection, Communication, Équipements de sécurité ».

Le résultat de ce travail commun est un rapport intitulé « Facteurs humains et sécurité des tunnels routiers du point de vue des usagers ».

Les chapitres principaux de ce rapport sont :

- Aspects généraux des facteurs humains
- Comportement humain dans les tunnels routiers en situation normale
- Comportement humain dans les tunnels routiers en situation dégradée
- Recommandations pour améliorer la sécurité des tunnels routiers dans des conditions normales de circulation
- Recommandations pour éviter l'aggravation de conditions critiques de circulation dans les tunnels routiers

Les deux derniers chapitres traitent d'exigences supplémentaires par rapport aux exigences minimales de la directive européenne. Il s'avère que ces exigences minimales incluent déjà de nombreuses interfaces entre la conception et l'exploitation du tunnel d'une part et les usagers d'autre part : on citera les distances maximales entre garages, les distances entre les postes de secours, l'équipement des postes de secours et en particulier l'indication au moyen d'une signalisation uniforme des garages, des postes de secours et de leurs équipements.

Le chapitre « Aspects généraux des facteurs humains » présente des modèles qui décrivent le processus humain de décision. Ce chapitre est destiné à donner aux professionnels des tunnels un bref contexte théorique dans le cadre duquel mieux appréhender le comportement humain.

Le chapitre « Comportement humain dans les tunnels routiers en situation normale » contient des observations relatives au comportement des usagers lors de l'approche, de l'entrée, de la traversée et de la sortie d'un tunnel.

Le chapitre « Comportement humain dans les tunnels routiers en situation dégradée » contient des réflexions sur la congestion, la panne d'un véhicule et les accidents et également sur le comportement humain dans des situations d'incendie.

Basé sur les modèles théoriques du comportement humain et sur les résultats des enquêtes, des expériences et des études du comportement humain réel, le rapport recommande des mesures additionnelles pour améliorer la sécurité des tunnels routiers en situation normale de trafic et des mesures pour empêcher l'aggravation des situations critiques du trafic.

Pour chaque mesure, les groupes de travail ont :

- formulé les objectifs
- décrit les mesures minimales telles que mentionnées dans la directive européenne
- discuté des lacunes possibles entre les objectifs et les mesures ou l'efficacité des mesures en gardant à l'esprit les facteurs humains
- recommandé des mesures additionnelles.

Concernant les situations normales, le document recommande des mesures additionnelles sur :

- la formation et l'information,
- l'information des conducteurs atteignant la dernière sortie avant un tunnel,
- la signalisation directionnelle,
- l'information des conducteurs approchant un tunnel,
- les indications et la signalisation se rapportant aux conditions atmosphériques,
- la conception des têtes des tunnels,
- la conception géométrique du profil en travers,
- la conception intérieure,
- le guidage du trafic.

Les mesures additionnelles recommandées dans le cas des situations critiques traitent des points suivants :

- Marquages et signaux routiers à l'approche d'un tunnel et dans le tunnel en cas de congestion, de fermeture de voies ou de fermeture complète du tunnel
- Garages et postes de secours
- Facilitation de l'extinction d'incendies mineurs par les usagers du tunnel
- Alerte des usagers du tunnel
- Signalisation des itinéraires d'évacuation et des sorties de secours
- Guidage des usagers du tunnel au-delà des sorties de secours
- Information des usagers dans le tube non affecté du tunnel

Les conclusions essentielles sont que :

- la conception des tunnels et leur exploitation devraient tenir compte des facteurs humains ;
- les conducteurs ont besoin d'une meilleure compréhension de la façon dont ils devraient se comporter dans les tunnels ;
- une assez grande longueur de route (si possible 150 à 200 m) en amont du tunnel ne devrait contenir aucun panneau d'information ;
- de tels panneaux devraient pouvoir être remarqués par leur forme et être répétés pour faciliter leur compréhension ;
- les dispositifs de sécurité du tunnel devraient être facilement reconnaissables même en trafic normal ;
- les signaux d'alarme devraient être fournis par de multiples moyens redondants.

## **5. RECOMMANDATIONS POUR LES TUNNELS ROUTIERS URBAINS**

Un tunnel routier urbain est souvent caractérisé par les difficultés que le trafic intense cause à la gestion efficace du trafic lui-même, et à l'entretien des équipements.

Les tunnels modernes en zone urbaine comportent un certain nombre de systèmes techniques dont certains composants sont critiques pour une exploitation sûre du tunnel. Il y a donc un lien étroit entre une exploitation sûre et un processus d'entretien bien étudié.

Les installations des tunnels comportent divers niveaux complexes et techniques. Pour effectuer l'entretien, il est parfois possible de travailler dans des locaux techniques facilement accessibles sans entrer dans le tunnel lui-même. Mais dans certains cas il est absolument nécessaire d'aller dans le tunnel et ceci peut impliquer de fermer une ou plusieurs voies.

L'entretien des équipements des tunnels est obligatoire mais par ailleurs, dans des tunnels à trafic très élevé, l'exploitant peut difficilement trouver des périodes de temps appropriées pour les travaux d'entretien, en particulier pour les équipements et les systèmes installés dans la partie dédiée au trafic. Des activités d'entretien trop fréquentes pourraient être mal perçues par les usagers.

Cette présentation examinera donc les problèmes spécifiques liés au trafic élevé et à la difficulté de fermer les tunnels urbains. Elle comparera les meilleures pratiques pour les travaux d'entretien, y compris le choix des équipements et des systèmes au moment de la conception du tunnel.

Le but de la présentation est également d'examiner les besoins de l'exploitant du tunnel ainsi que les besoins des usagers du tunnel et de la communauté en général, et d'élaborer des propositions destinées à réduire au minimum les conflits potentiels entre ces différents besoins. Ces propositions couvriront tous les aspects de conception du tunnel qui peuvent influencer défavorablement l'exploitation : la conception des équipements et des systèmes, les exigences des prescriptions techniques et de l'entretien.

Les sujets à discuter sont :

- points liés aux tunnels :
  - quelles sont les exigences à satisfaire par les équipements en ce qui concerne leur sécurité, disponibilité et durabilité, afin de garantir une exploitation sûre?
  - quelles exigences doivent-elles être satisfaites pour permettre les travaux d'entretien dans un tunnel routier urbain avec une perturbation minimale du trafic ?
- points liés au contrôle du trafic :
  - quelles conditions de trafic (trafic normal, trafic interrompu, cas d'urgence, catastrophes) devraient-elles être contrôlées d'une manière sûre et durant quelle période ?
- points liés à l'entretien :
  - quelles procédures assurent-elles qu'un tunnel routier urbain puisse être entretenu d'une manière efficace et efficiente, en tenant compte de la sécurité du personnel d'entretien et de tous les usagers ?
- points liés à l'organisation :
  - quelles mesures d'organisation devraient-elles être prises pour s'assurer que le personnel d'entretien puisse travailler efficacement et d'une manière efficiente ?
  - quelles mesures d'information devraient-elles être prises en ce qui concerne les usagers, les médias, le public dans son ensemble, les responsables politiques et la presse ?
- points liés au retour d'expérience après les événements :
  - que peut-on apprendre de l'expérience et comment peut-on l'appliquer à la conception de nouveaux tunnels ?

## 6. ORIENTATIONS FUTURES

Depuis sa création il y a cinquante ans en 1957, le Comité AIPCR des Tunnels routiers (maintenant Comité technique AIPCR de l'Exploitation des tunnels routiers) traite des sujets liés à l'exploitation des tunnels routiers. Pendant ces années le Comité technique a été responsable de la rédaction et de la publication de plus de 40 documents. Cependant, en dépit de la quantité de travail effectuée, il reste beaucoup à accomplir dans les domaines de l'exploitation des tunnels, de la gestion, de la sécurité, du comportement humain, de la détection, des communications, de la ventilation et de la lutte contre l'incendie.

Le présent chapitre donne une liste de points que les membres du C3.3 et ses groupes de travail estiment utiles de traiter lors du prochain cycle de l'AIPCR, qui couvrira les années 2008 à 2011. Ces points ont été classés de façon à faciliter la lecture mais ne figurent pas dans un ordre de priorité. Ces thèmes potentiels de futurs travaux sont présentés ici pour discussion pendant la séance.

### 6.1. Mesures de sécurité

- Développer une politique concernant les personnes handicapées en liaison avec des incidents dans les tunnels routiers, en ce compris l'adaptation appropriée de l'infrastructure.
- Étudier des méthodes de prévention des accidents dans les tunnels (y compris l'utilisation de systèmes intelligents, la sanction automatique des contraventions, la rupture de la monotonie de longs tunnels, la considération spéciale des zones à fréquence accrue d'incidents près des extrémités, etc.).
- S'intéresser aux méthodes pour la (les projets de) rénovation : étapes à franchir, liaison aux impositions de la directive de l'Union Européenne.
- Évaluer le risque lié à de nouveaux tunnels suréquipés par comparaison aux tunnels existants plus anciens.
- Examiner des méthodes pour réduire les délais d'intervention des services de secours. Prendre en considération l'automatisation des actions initiales.
- Développer des recommandations pour la gestion de la circulation de marchandises dangereuses dans les tunnels routiers.
- Élaborer des recommandations concernant la conception des trottoirs de secours.
- Prendre en considération des éléments de sécurité pour faire face au terrorisme.

### 6.2. Analyse de risques

- Mettre à jour les statistiques d'accidents pour les tunnels routiers.
- Compiler une description exhaustive de l'effet de chacun des différents systèmes de sécurité en matière de sécurité.
- Développer un document relatif aux niveaux d'acceptation des risques pour les tunnels routiers. Les résultats pourraient devenir une base pour des méthodes d'ingénierie de la sécurité au feu.
- Développer des codes de conduite pour des méthodes d'analyse de risques, y compris l'évaluation du niveau de sécurité, l'utilisation d'analyse de la FDE(S) (fiabilité - disponibilité – possibilité d'entretien - sécurité), analyse simplifiée des risques, leur mise en application là où des normes de l'Union Européenne ne peuvent pas être établies.

### 6.3. Comportement humain

- Continuer le développement de recommandations concernant le comportement recommandé dans un tunnel routier en développant des documents de présentation pour les écoles de conduite et pour des cours de formation plus poussés (par exemple pour les conducteurs professionnels), et un dépliant pour des campagnes d'information.
- Développer des pictogrammes normalisés internationaux.
- Déterminer comment amener les conducteurs à garder une distance suffisante (durée dans le temps) entre les voitures dans les tunnels.
- Déterminer comment s'assurer que les conducteurs comprennent ce qui est attendu d'eux en cas d'incident : lorsqu'un tunnel est en cours de fermeture, quand l'évacuation est exigée, etc.
- Entreprendre une étude de l'esthétique du tunnel, au regard de la sécurité routière, y compris la conception, les couleurs, les modèles, le contraste et le niveau de l'éclairage.

#### 6.4. Gestion des tunnels, formation et exploitation

- Achever l'étude des responsabilités dans la gestion de la sécurité des tunnels routiers, y compris l'organisation des tâches (par exemple directeur de tunnel et responsable de la sécurité) les qualifications nécessaires.
- Développer des procédures pour diriger des exercices et la formation des équipes de secours et des exploitants.
- Éditer un manuel intégré sur la manière de procéder aux analyses post-incident.
- Développer des recommandations pour améliorer l'exploitation du tunnel, basées sur des données réelles provenant d'incidents, du trafic et de l'entretien.
- Développer des recommandations pour l'équipement des salles de contrôle et leur organisation, y compris des critères et des procédures pour la centralisation du contrôle de plusieurs tunnels en un seul centre.
- Préparer des recommandations mises à jour concernant la gestion de l'entretien, y compris l'inspection et la réparation des tunnels.
- Développer les exigences d'exploitation minimales pour des situations de mauvais fonctionnement et pour des incidents, y compris des conditions minimales d'exploitation sûre, des situations où le tunnel ou un tube doit être fermé, critères pour la réouverture du tunnel.
- Développer des outils de repérage des paramètres variables (tels que le coût énergétique, les fréquences d'incident, les volumes de trafic, etc.).
- S'occuper de la réduction des frais d'exploitation (mise à jour du rapport précédent de l'AIPCR).
- Évaluer les outils d'estimation du coût des équipements pour toute leur durée de vies, y compris un aperçu du coût et de la durée de vie attendue des équipements du tunnel de manière à optimiser globalement les coûts initiaux et les coûts d'exploitation.

#### 6.5. Gestion du trafic

- Évaluer l'optimisation des travaux d'entretien / de rénovation en ce qui concerne le maintien ou la déviation totale du trafic pour les tunnels à un ou deux tubes.
- Développer des critères pour la conception des tunnels urbains pour faire face à la congestion due aux conditions physiques à la sortie (par exemple ronds points, feux de circulation, etc.) ou à l'intérieur du tunnel (par exemple échangeurs souterrains) y compris la prise en considération des systèmes intelligents de trafic.
- Développer des méthodes pour éviter les files d'attente à l'intérieur des tunnels.

#### 6.6. Sécurité incendie

- Finaliser mise à jour des feux de conception.
- Continuer à suivre de près tous les développements des systèmes fixes de lutte contre l'incendie, y compris le développement de recommandations pour l'application de tels systèmes.
- Évaluer le rôle de l'ingénierie du feu basée sur la performance dans la conception de la sécurité incendie des tunnels.
- Étudier la rentabilité des dispositifs de protection contre les incendies dans des tunnels par comparaison avec une réduction des risques sur les camions eux-mêmes (par exemple une meilleure résistance et une capacité maximale réduite des réservoirs de carburant, systèmes de suppression de l'incendie à bord des véhicules, etc.).

## 6.7. Ventilation

- Mettre à jour les besoins en ventilation suite aux nouvelles réductions d'émissions de polluants par les véhicules et prise en considération de nouveaux polluants.
- Continuer les études des particules dans l'air du tunnel, y compris les moyens de réduire leur quantité.
- Évaluer les systèmes de commande de la ventilation des systèmes de tunnels routiers urbains complexes avec de multiples entrées et sorties.

## 6.8. Divers

- Réexaminer tous les rapports techniques existants de l'AIPCR traitant des tunnels afin de les intégrer et de les mettre à jour dans un seul ou un petit nombre de rapports (par conséquent, au moins les éléments de dimensionnement seront les mêmes pour tous les rapports ; tous les doubles emplois pourront être supprimés et toutes les lacunes seront facilement identifiables et pourront faire l'objet de nouveaux développements).
- Préparer une évaluation rétrospective des critères de conception initiaux et des hypothèses à la fin de la construction d'un tunnel. En supposant que tout fonctionne correctement, les critères initiaux de conception sont-ils satisfaits ?

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Les rapports techniques mentionnés dans l'introduction de ce rapport (chapitre n° 1) ont été publiés ou rédigés pendant le cycle 2004-2007 et sont les références principales pour cette séance. Le présent rapport fait en outre référence aux documents suivants :

- [1] Comité technique des Tunnels routiers de l'AIPCR (C-5), rapport au XVIIème Congrès mondial de la Route, Sydney, Australie, Rapport 17.05.B, octobre 1983.
- [2] Comité technique des Tunnels routiers de l'AIPCR (C-5) « Maîtrise des incendies et des fumées dans les tunnels routiers », AIPCR, Paris, France, rapport 05.05.B, 1999.
- [3] « Exigences de sécurité minimales applicables aux tunnels du réseau routier transeuropéen », directive 2004/54/CE du Parlement européen et du Conseil, 29 avril 2004 ; Journal officiel de l'Union européenne L, pp. 56–76, 7 juin 2004.



## CONCLUSIONS PROVISOIRES

De plus en plus de tunnels sont construits pour franchir des barrières naturelles ou traverser des zones urbaines. Les tunnels existants accueillent un trafic croissant et un certain nombre d'entre eux ont besoin d'une rénovation. Dans tous les cas, des équipements efficaces et une exploitation sûre et efficiente sont nécessaires. Depuis sa création il y a cinquante ans en 1957, le Comité AIPCR des tunnels routiers (aujourd'hui appelé Comité technique AIPCR de l'Exploitation des tunnels routiers) examine les questions touchant l'exploitation des tunnels routiers.

Pendant le cycle 2004-2007, 5 rapports issus du cycle précédent ont été menés à bonne fin et publiés, 7 nouveaux rapports ont été préparés et 6 autres rapports sont en cours d'achèvement. Plusieurs sujets traités par ces rapports justifiaient une présentation et une discussion au cours du XXIIIème Congrès mondial de la route et pourraient mener aux conclusions suivantes :

### Détection d'incidents basée sur le traitement d'images vidéo

Des systèmes de détection d'incidents basés sur le traitement d'images vidéo sont mis en oeuvre dans un nombre toujours croissant de tunnel routiers, afin de déclencher des alarmes quand des situations potentiellement dangereuses se produisent. Ils se fondent généralement sur les caméras utilisées pour la surveillance du tunnel.

Ces systèmes sont continuellement améliorés, car il y a encore des problèmes à résoudre. Le taux de fausses alarmes est souvent élevé et les composants des systèmes ne sont pas toujours fiables ni correctement surveillés. Des méthodes devraient être établies pour faire la distinction entre les fausses alarmes, les alarmes dues à l'environnement et les vraies alarmes.

### Évaluation des systèmes fixes de lutte contre l'incendie

L'utilisation de systèmes fixes de lutte contre l'incendie dans les tunnels routiers est un sujet fortement discuté depuis de nombreuses années. De nouveaux développements technologiques ont conduit à des systèmes qui visent à ralentir le développement du feu, à réduire sa propagation et finalement à améliorer les conditions d'évacuation et de secours.

Les systèmes fixes de lutte contre l'incendie peuvent effectivement affecter les aspects fondamentaux d'un incendie, en particulier sa rapidité de croissance et sa puissance thermique, ainsi que ses conséquences finales. Ils ont un impact sur l'humidité, la stratification, la visibilité, la température de l'air autour du foyer et la probabilité de flash-over. Pour ces raisons, les systèmes fixes de lutte contre l'incendie ne doivent être considérés que comme une partie d'un système de sécurité intégré. Leur applicabilité et rentabilité dans les tunnels doivent par conséquent être examinées au cas par cas.

## Facteurs humains et sécurité dans les tunnels du point de vue des usagers

Le rôle essentiel des facteurs humains dans la sécurité des tunnels routiers est devenu évident après les incendies dramatiques en tunnel des années 1999 à 2001. Ces facteurs devraient maintenant être pris en considération systématiquement dans la conception des tunnels et de leurs systèmes d'exploitation.

Il est des plus important que les automobilistes comprennent comment se comporter dans les tunnels, à la fois dans des situations normales et dans des situations critiques, et soient formés pour cela. Réciproquement, les équipements de sécurité qui sont à la disposition des usagers dans les tunnels devraient être reconnaissables et facilement compris par eux.

## Recommandations pour les tunnels routiers urbains

Le trafic intense dans les tunnels urbains occasionne des difficultés spécifiques pour la gestion efficace du trafic et l'entretien des équipements. Ces questions, qui peuvent affecter l'ensemble de la zone environnant un tunnel, devraient être prises en considération dès les phases initiales de la conception d'un tunnel, ainsi que dans l'exploitation quotidienne.

Il est nécessaire de prendre en considération les besoins de l'exploitant du tunnel et les besoins des usagers des tunnels, aussi bien que ceux de la communauté plus large. La conception des équipements et des systèmes et les exigences de l'entretien devraient viser à réduire autant que possible les conflits potentiels entre besoins différents.