



ERMCO

AMÉLIORER LA SÉCURITÉ INCENDIE DANS LES TUNNELS :

Le choix d'une chaussée en béton

UNE CHAUSSÉE EN BÉTON AMÉLIORE LA SÉCURITÉ DES TUNNELS



© photo-daylight.com, Copyright libre de droits pour toutes publications éditées par les Membres de CEMBUREAU/BIBM/ERMCO y compris sites internet

Tunnel de Coïnte (liaison routière E25-E40) à Liège, en Belgique : utilisation d'une chaussée en béton pour une meilleure sécurité dans le tunnel

La longueur totale des tunnels utilisés pour le transport en Europe dépasse les 15 000 km. Les tunnels sont essentiels pour préserver l'infrastructure de transport. En Suisse, par exemple, environ 50% des autoroutes dont la construction est envisagée d'ici 2015 pour compléter le réseau routier devrait passer par des tunnels. Toutefois, les tunnels ne servent pas uniquement à traverser des montagnes. De plus en plus de tunnels sont construits sous des villes, à l'instar de Stockholm et Paris, pour décongestionner la circulation en surface. Des tunnels sont également construits sous des voies navigables, notamment les tunnels de Öresund et Storebælt en Scandinavie.

Les tunnels routiers et ferroviaires, de même que les tranchées couvertes, peuvent représenter un risque pour le public. Un choix approprié de matériaux et de conception permet de minimiser les risques.

Les incendies de tunnels - largement couverts par les médias - survenus récemment en Europe (voir tableau ci-dessous) ont prouvé qu'il est nécessaire de choisir des matériaux appropriés à la construction de tunnels afin d'assurer aux véhicules une fiabilité et une sécurité optimales. L'intensité de ces incendies est inévitablement extrême, provoquant des dégâts matériels et surtout des victimes. Les températures atteintes dans ces incendies de tunnels sont considérées comme très élevées (au-delà de 1000°C). Tous ces incendies se sont développés rapidement, pour durer de longues heures (jusqu'à 53 heures).

RÉCENTS INCENDIES CATASTROPHIQUES SURVENUS DANS LES TUNNELS EN EUROPE					
Incendie	Type de tunnel	Année	Durée & Température	Victimes	Véhicules endommagés
St Gothard Suisse	Route (1 tube) 16.3 km	2001	24 heures 1200°C	11 morts	10 voitures 23 camions
Gleinalm Autriche	Route (1 tube) 8.3 km	2001	37 minutes	5 morts	2 voitures
Kitzsteinhorn Autriche	Rail funiculaire 3.2 km	2000	Non connues	155 morts	1 train navette
Tauern Autriche	Route (1 tube) 6.4 km	1999	14 heures 1200°C	12 morts	26 voitures 14 camions
Mont-Blanc France-Italie	Route (1 tube) 11.6 km	1999	53 heures 1000°C	39 morts	10 voitures 23 camions
Palerme Italie	Route	1999	Non connues	5 morts	19 voitures 1 car
Eurotunnel Manche	Rail 52 km	1996	10 heures 1100°C	2 blessés	1 train navette

Source : diverses publications

Suite à ces catastrophes, ce type de construction est devenu un véritable challenge en matière de sécurité et d'environnement. La fermeture et les travaux de réparation sur ces sites ont des conséquences économiques et environnementales importantes.

L'opinion publique et les médias ont mis l'accent sur ces événements, forçant ainsi les autorités chargées de la réglementation à prendre rapidement des mesures de substitution, et certains aspects importants n'ont pas reçu toute l'attention nécessaire. La principale préoccupation de ces autorités est d'améliorer les conditions de sauvetage et de protection des personnes impliquées dans les accidents survenant dans les tunnels routiers, en se concentrant sur l'auto-évacuation des usagers de la route et sur les délais de sauvetage.

Toutefois, jusqu'à maintenant peu d'attention a été portée aux matériaux utilisés pour la construction des routes dans les tunnels. Les rédacteurs des cahiers des charges se concentrent généralement sur la sécurité, la solidité et la stabilité structurelles du tunnel, mais ne prennent pas en compte la surface de la route, qui est parfois une construction en revêtement hydrocarboné classique.

Tout en gardant à l'esprit ces différents aspects, il est important de prendre en compte la qualité de la chaussée. Lorsqu'un incendie se déclare dans un tunnel ouvert à la circulation, une chaussée incombustible et non toxique contribue à la sécurité des personnes (usagers et équipes de sauvetage), protège l'équipement et la structure du tunnel, et aide à préserver l'environnement.

Il y a des avantages considérables à construire la chaussée en béton. Le béton est incombustible et ne produit pas d'émissions nocives dans un feu, ce qui assure une sécurité maximale en cas d'incendie important. En outre la formulation du béton a évolué, pour apporter à la fois stabilité et solidité structurelles pendant la phase de construction du tunnel.

Il est vivement conseillé aux exploitants des tunnels et aux autorités chargées de la réglementation de prendre des mesures préconisant des chaussées en béton dans tous les nouveaux tunnels. Le décret autrichien de septembre 2001 imposant des chaussées en béton pour tout nouveau tunnel d'une longueur supérieure à un kilomètre peut servir de référence. (Voir encadré Normes nationales actuelles)

Les autorités de lutte contre l'incendie recommandent des « chaussées incombustibles, n'émettant pas de fumée toxique et qui soient de couleur claire pour une meilleure visibilité. Le béton devrait par conséquent être préféré au revêtement hydrocarboné traditionnellement utilisé, qui s'enflamme et émet des gaz toxiques ».

Citation extraite du Congrès CTIF (Comité international de prévention et d'extinction du feu) tenu le 8 Novembre 2002 sur « Les tunnels sont-ils assez sûrs ? » à Regensdorf, Suisse.

CHAUSSÉES EN BÉTON DANS LES TUNNELS ROUTIERS & TRANCHÉES COUVERTES

Pour améliorer la sécurité globale des tunnels routiers, il est nécessaire de construire des *chaussées incombustibles et non toxiques*, qui assurent une sécurité maximum aux usagers, aux installations et à l'environnement.



© photo-daylight.com, Copyright libre de droits pour toutes publications éditées par les Membres de CEMBUREAU/BIBM/ERMCO y compris sites internet

Tunnel de Kinkempois (liaison routière E25-E40) à Liège, en Belgique, comportant une chaussée en béton

Les avantages des chaussées en béton dans les tunnels et passages souterrains sont les suivants :

- **Une meilleure sécurité pour les usagers et la structure**
- **Une durabilité accrue de la chaussée, des installations et de la structure**
- **Une maintenance réduite**
- **Une contribution à la protection de l'environnement et au développement durable**

Ces facteurs déterminants devraient être pris en compte par une approche globale dès le dimensionnement du tunnel, ceci afin d'optimiser la sécurité des personnes et des biens, la protection de l'environnement et le comportement des ouvrages.

➤ **Sécurité accrue des personnes et des structures**

Les chaussées en béton incombustible et non toxique contribuent à la sécurité des tunnels.

Les mesures actives (ventilation, désenfumage, alarmes, détecteurs de fumée) sont des éléments qui contribuent à la sécurité incendie dans les tunnels. Toutefois de meilleures mesures passives devraient être envisagées en parallèle, telles que l'utilisation de matériaux totalement incombustibles comme une chaussée en béton.

En cas d'incendie, une chaussée en béton présente un comportement satisfaisant, facilitant l'évacuation des usagers et l'approche des équipes de secours (sapeurs-pompiers et services d'aide médicale d'urgence).

- **Une chaussée en béton est incombustible et non toxique**

Du fait de sa composition purement minérale, le béton est un matériau inerte, stable et non inflammable.

Le béton est par conséquent classé dans les matériaux à haut coefficient de sécurité incendie et ne contribue aucunement à la charge calorifique.

En cas d'incendie, la chaussée en béton assure de bonnes conditions pour l'évacuation des usagers et pour l'intervention des équipes de secours et des sapeurs-pompiers, dans la mesure où une chaussée de béton ne brûle pas.

Une chaussée en revêtement hydrocarboné brûle à une température avoisinant les 500°C (bien au-dessous de la température observée dans les incendies de tunnels) et s'ajoute à la charge calorifique. En cas d'incendie, l'augmentation de température provoquée par la combustion de la chaussée en revêtement hydrocarboné peut endommager l'équipement et les systèmes de sécurité du tunnel, ce qui met en péril l'évacuation des usagers et l'intervention des équipes de secours.

Le laboratoire de l'Université de Cergy Pontoise (France) a réalisé des tests d'incendie comparatifs sur le comportement à haute température (conformément à la courbe feu ISO 834) d'échantillons de matériaux en enrobé hydrocarboné et en béton utilisés dans les chaussées. (Voir figures 1 & 2)

Les résultats de cette étude¹ portant sur la toxicité et le comportement thermique (analyse chimique des fumées et gaz émis durant la combustion de l'échantillon) montrent qu'un **revêtement hydrocarboné a un pouvoir calorifique important**.

- Une surface en enrobé hydrocarboné prend feu entre 428°C et 530°C, après 8 minutes d'échauffement.
- Les premières vapeurs émises sont ressenties 5 minutes après le début d'augmentation de chaleur. Les gaz émis sont toxiques, dont certains asphyxiants (CO₂).
- Le revêtement hydrocarboné perd ses caractéristiques mécaniques (seuls les granulats restent, mais sans être liés) et ne peut plus remplir sa fonction principale.

A titre de comparaison,

- Le béton est incombustible et ne dégage pas de fumée.
- Le béton ne change pas de forme lorsqu'il est soumis à de hautes températures, et il conserve la plupart de ses caractéristiques mécaniques.

Sources : *Characterisation of asphalt exposed to high temperature: Application to fire case of asphalt pavement*, Albert Noumowe, Cergy Pontoise University, 2003. (version anglaise)

Revêtement de chaussée en enrobé hydrocarboné ou en béton en situation d'incendie, Albert Nouwome, EPU Editions Publibook Université, Paris, 2003. (version française)

¹ *Characterisation of asphalt exposed to high temperature: Application to fire case of asphalt pavement*, Albert Noumowe, Cergy Pontoise University, 2003. (version anglaise)

Revêtement de chaussée en enrobé hydrocarboné ou en béton en situation d'incendie, Albert Nouwome, EPU Editions Publibook Université, Paris, 2003. (version française)

Les figures 1 & 2 indiquent les résultats du test consistant à chauffer dans un four pendant une heure des échantillons prismatiques

d'enrobé hydrocarboné (à gauche) et de béton (à droite), à une température de 750°C conformément à la courbe feu ISO.



Figure 1 Comparaison d'échantillons d'enrobé hydrocarboné (à gauche) et de béton (à droite) après exposition à une température de 750°C

Source : Caractérisation de revêtement hydrocarboné exposé à une température élevée : Application au cas d'incendie sur chaussée bitumineuse, Albert Noumowe, Université de Cergy Pontoise, 2003.

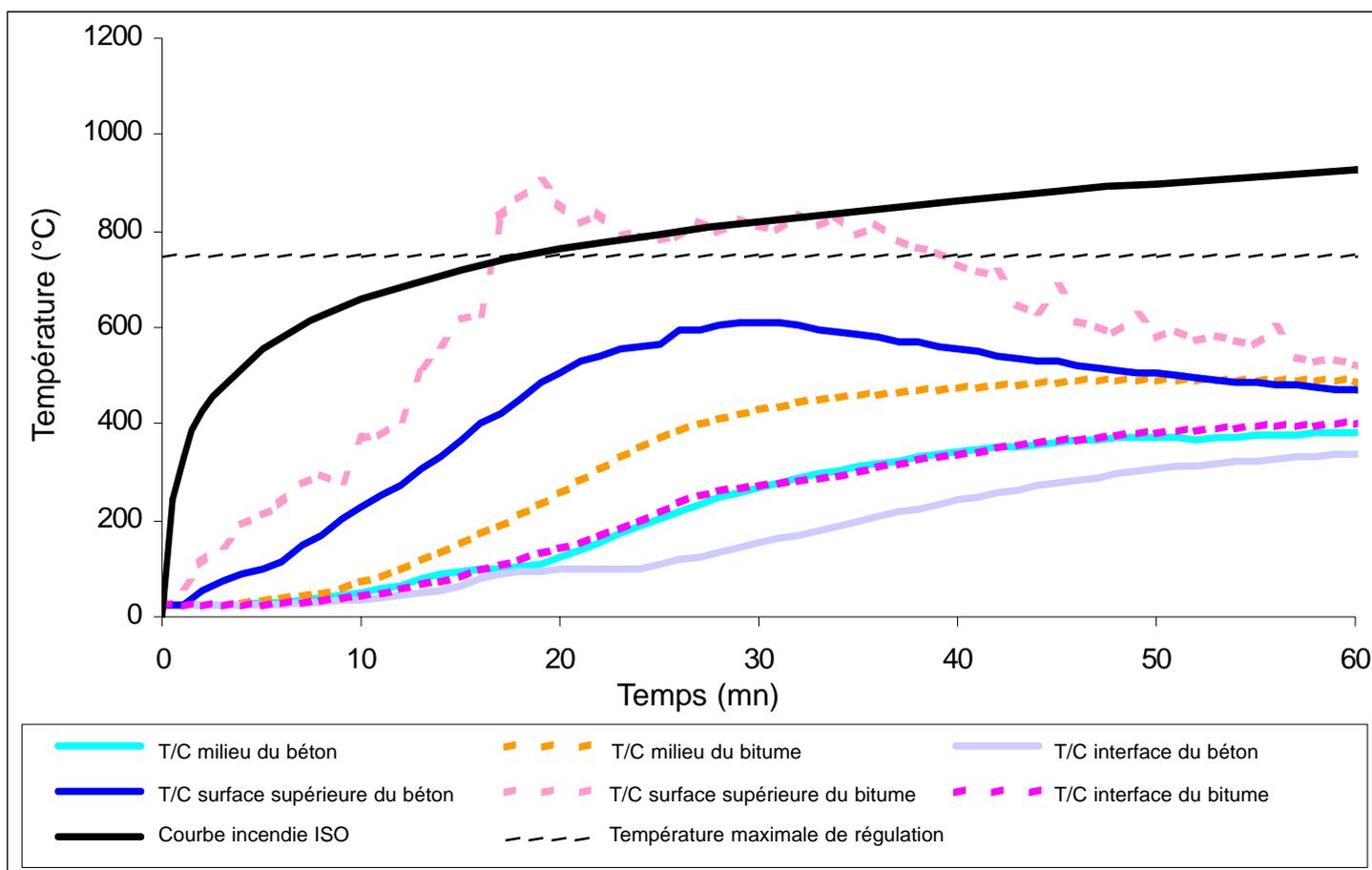


Figure 2 Comparaison de courbes de température pour le béton et l'enrobé hydrocarboné sur une durée de 1 heure.

Source : Caractérisation de revêtement hydrocarboné exposé à une température élevée : Application au cas d'incendie sur chaussée bitumineuse, Albert Noumowe, Université de Cergy Pontoise, 2003.

A titre d'exemple, une chaussée routière constituée d'une couche de 25 cm de grave-bitume et recouverte d'une couche de roulement en enrobé hydrocarboné de 5 cm a un potentiel

calorifique d'environ 1600 MJoules par m². En comparaison, un véhicule léger (c.-à-d. une voiture moyenne) produit 18000 MJoules pendant sa combustion complète. (Voir tableau ci-dessous)

Type	Potentiel calorifique en MJ Energie dégagée durant la combustion
1 m ² de chaussée en revêtement hydrocarboné	1 600
1 voiture moyenne	18 000
1 camion moyen (y compris charge combustible)	125 000

Dans l'incendie du tunnel du Mont-Blanc en mars 1999, la chaussée en revêtement hydrocarboné a été endommagée sur une distance de 1 200 m. La combustion de cette chaussée a dégagé une énergie calorifique supplémentaire équivalente à la combustion de 85 voitures ou 12 camions.

Sources : *Rapport du 30 juin 1999 de la mission administrative d'enquête technique sur l'incendie survenu le 24 mars 1999 au tunnel routier du Mont Blanc, Ministère de l'Intérieur - Ministère de l'Equipement, des Transports et du Logement.*

Tunnel du Mont Blanc - Températures atteintes dans la chaussée et comportement au feu de la chaussée, Document interne, Laboratoire Central des Ponts & Chaussées, France, Décembre 2000.

Rapport d'activité 2001 du LCPC, Laboratoire Central des Ponts & Chaussées, France, 2002.

Etudes spécifiques des dangers, Guide méthodologique du CETU, Centre d'Etudes des Tunnels, Dossier Pilote des Tunnels, Edition 2002.

- **Une chaussée en béton ne produit pas d'émissions nocives.**

En revanche :

Une chaussée en enrobé hydrocarboné dégage de la fumée, des gaz toxiques et polluants (dioxyde et monoxyde de carbone, etc.) ainsi que des substances nocives.

Elles produisent aussi de la suie qui réduit la visibilité au travers des pare-brise et obstrue les filtres des véhicules de secours.

En conséquence :

- L'évacuation des usagers est ralentie et/ou plus dangereuse.
- L'intervention des équipes de secours et des sapeurs-pompiers est ralentie et/ou plus dangereuse.

- **Une chaussée en béton ne change pas de forme à haute température et conserve la plupart de ses caractéristiques mécaniques.**

En revanche :

Une chaussée en revêtement hydrocarboné perd ses propriétés mécaniques.

Suite à la combustion du liant, seuls les granulats demeurent, mais ne sont plus liés entre eux. Pour cette raison, le matériau ne peut plus remplir sa fonction principale, et retarde l'action des services de secours.

- **Une chaussée en béton contribue à la sécurité des usagers par une meilleure visibilité, une vigilance accrue des conducteurs, et des distances de freinage plus courtes.**

Tous les ouvrages souterrains devraient être considérés par les usagers de la route comme potentiellement dangereux. Pour une meilleure sécurité routière, une certaine discontinuité devrait être établie entre l'intérieur et l'extérieur du tunnel.

Clarté et luminosité sont des propriétés intrinsèques au béton :

- La luminosité de la chaussée en béton offre une meilleure visibilité aux usagers de la route.
- Du fait de sa luminosité, la chaussée en béton requiert moins d'éclairage électrique, ce qui réduit non seulement la consommation d'énergie, mais aussi l'investissement initial et les coûts d'entretien.

Moduler l'aspect brut de la route en choisissant une texture appropriée incite les usagers à rester vigilants grâce à une perception sonore.

La distance de freinage est plus courte sur une surface en béton, grâce à une meilleure adhérence à la route.

En conclusion, lutter contre un incendie dans un tunnel devient beaucoup plus difficile lorsque l'accessibilité est réduite, lorsque le feu dégage de grandes quantités de fumée et lorsque le rayonnement de chaleur est considérable. Pour ces raisons, les pompiers préconisent l'utilisation de matériaux intérieurs résistant au feu afin d'améliorer la protection au feu dans les tunnels. (Voir citation du CTIF en page 2)

➤ **Durabilité accrue de la chaussée, des installations et des structures**

Une chaussée incombustible en béton permet au propriétaire du tunnel de s'assurer que ses ouvrages seront protégés.

Les dommages étant limités avec une chaussée en béton, les délais de remise en état sont réduits, et le tunnel peut être remis en service plus rapidement.

Les dommages causés aux biens sont dus à une charge calorifique importante. Toute adjonction de matériau combustible contribuant à la charge calorifique augmente d'autant les dégâts causés aux unités de contrôle du tunnel et aux installations. En outre, la fermeture d'un tunnel pendant une longue période entraîne inévitablement des perturbations importantes de la circulation et augmente le risque d'accident, le flux de trafic étant dévié.

➤ **Maintenance réduite**

Une chaussée en béton garantit la durabilité des caractéristiques mécaniques de la chaussée (pas d'orniérage), une uniformité de surface et une bonne adhérence à la surface de roulement.

L'utilisation d'une chaussée en béton offre par conséquent les avantages suivants :

- Réduction des cycles de maintenance/réparation, donc durée réduite des travaux routiers, fermeture plus courte du tunnel avec itinéraires de déviation provoquant des nuisances en termes de pollution.
- Restriction des travaux routiers en la présence des usagers de la route, donc moins d'ouvriers sur le chantier qui est une source d'accidents.

Avec une chaussée en béton :

- ⇒ Les risques d'accidents sont réduits.
- ⇒ Les coûts de maintenance sont diminués.
- ⇒ L'environnement est protégé.

➤ **Contribution à la protection de l'environnement et au développement durable**

Une chaussée en béton à une durée de vie importante, ce qui préserve les matières premières et contribue par conséquent au développement durable.

Durant sa période d'exploitation, une chaussée en béton dans un tunnel requiert moins de maintenance et de travaux de remise en état, et permet de diminuer la consommation d'énergie (éclairage électrique). Ceci a pour conséquence de limiter la pollution dans le tunnel et de réduire les nuisances à l'environnement entraînées par les itinéraires de déviation lorsque le tunnel est fermé.

Le béton est résistant au carburant automobile : un déversement accidentel de carburant n'endommage pas la chaussée, et les produits dangereux peuvent être évacués directement dans les rigoles construites à cet effet.

En fin de vie, la chaussée en béton peut être recyclée en granulats qui seront utilisés pour fabriquer de nouvelles couches de fondations de chaussées ou pour un nouveau béton.

La durabilité du béton garantit une uniformité de surface et une meilleure adhérence, ce qui contribue également à un meilleur respect de l'environnement (respect pour la pureté de l'air, les sols, les personnes, etc.) grâce à :

- ⇒ Une utilisation limitée des matériaux fossiles et une consommation d'énergie moindre.
- ⇒ Un air de meilleure qualité.
- ⇒ Une pollution réduite.

En cas d'incendie, la chaussée en béton incombustible ne dégage pas de suie qui adhère aux parois et ne nécessite pas de nettoyage régulier, ce qui est nocif pour l'environnement.

TUNNELS FERROVIAIRES

Dans le cadre de la politique de transports intégrés (camions sur trains), le développement du réseau routier est une priorité du réseau Transeuropéen de transport (RTE-T) encouragée par la Commission Européenne.

Une solution simple consiste à poser les voies de chemin de fer sur une chaussée en béton incombustible et non toxique, permettant un accès plus rapide et plus proche des équipes de secours par rapport à un ballast en granulats, dans la mesure où il est difficile d'appliquer des mesures préventives dans les tunnels très longs ou très profonds.

UNE CHAUSSÉE EN BÉTON CONTRIBUE À UNE SÉCURITÉ ACCRUE DANS LES TUNNELS

La sécurité d'un tunnel dépend d'une série de mesures.

Les mesures préventives de protection au feu au niveau de l'infrastructure et de l'exploitation sont associées à des mesures de lutte contre le feu, impliquant de choisir des matériaux adaptés (résistant au feu).

Il importe de donner toutes les garanties possibles pour assurer la sécurité, et ainsi éviter tous les matériaux (structure ou

équipement) susceptibles d'être dangereux du fait de leur combustion, de la production de fumées et de gaz agressifs.

Le choix du béton pour les chaussées dans les tunnels permet d'améliorer la sécurité tout en réduisant les coûts.

Le matériau béton est sûr par nature dans un incendie, et n'augmente en aucun cas la charge calorifique.

BIBM, CEMBUREAU et ERMCO

- **Demandent l'adoption de mesures de contrôle permettant de garantir la sécurité dans les tunnels.**
- **Recommandent la prescription de chaussées en béton incombustible et non toxique** car ces matériaux et techniques sont les mieux adaptés pour assurer la sécurité des personnes et des installations, tout en protégeant l'environnement pour un coût moindre.

Le décret autrichien (voir encadré Normes nationales actuelles) peut servir de référence.

Normes nationales actuelles

Le *Décret autrichien* de septembre 2001 relatif aux directives sur la construction de tunnels «Projektierungsrichtlinien RVS 9.234» impose des chaussées en béton dans les nouveaux tunnels d'une longueur supérieure à un kilomètre.

En *Slovaquie*, le Ministère du transport et l'administration de la route slovaque exige depuis 2001 la construction de chaussées en béton dans tout nouveau tunnel.

En *Espagne*, les autorités publiques recommandent l'utilisation de chaussées en béton dans les tunnels.

Les objectifs à atteindre par une réglementation sur la sécurité au feu dans les tunnels (telle qu'elle est définie par l'AIPCR¹) sont les suivants :

- Sauver des vies en rendant l'évacuation possible.
- Faciliter les opérations de secours et de lutte contre l'incendie.
- Prévenir les explosions.

- Limiter les dommages dans le tunnel (équipement, bâtiments adjacents, génie civil).

en (tel que défini par le groupe d'Experts sur la sécurité dans les tunnels routiers TRANS/AC²) :

- Prévenant les risques.
- Limitant les conséquences.

¹ AIPCR Comité des Tunnels routiers (C5) Rapport sur la "Maîtrise des incendies et des fumées dans les tunnels routiers" 05.05.B publié en 1999.

² Recommendations of the Group of Experts on Safety in Roads Tunnels – Final Report, TRANS/AC.7/9, United Nations Economic and Social Council, 10 December 2001.

© Copyright: CEMBUREAU/BIBM/ERMCO
Avril 2004

Tous droits réservés. Aucune partie de ce rapport ne peut être reproduite, enregistrée ou transmise par un moyen électronique, mécanique ou autre sans l'autorisation préalable de l'éditeur.



Rue d'Arlon 55 - BE-1040 Bruxelles
Tél.: + 32 2 234 10 11 — Fax: + 32 2 230 47 20
E-mail: secretariat@cembureau.be
Internet: www.cembureau.be



Rue Volta 12 - BE-1050 Bruxelles
Tél.: + 32 2 735 60 69 — Fax: + 32 2 734 77 95
E-mail: mail@bibm.org
Internet: www.bibm.org

ERMCO

Rue Volta 8 - BE-1050 Bruxelles
Tél.: + 32 2 645 52 12 — Fax: + 32 2 735 14 67
E-mail: secretariat@ermco.org
Internet: www.ermco.org