

2 CONCEPTS DE SÉCURITÉ POUR LES INCENDIES EN TUNNEL

2.1 Introduction

Le nombre et la longueur des tunnels routiers étant en augmentation rapide, ainsi que le nombre des personnes qui les utilisent, les questions de sécurité (notamment la sécurité en cas d'incendie) prennent une importance toujours croissante [6]. Lorsqu'il s'agit de prévenir et de contrer les effets d'un incendie dans l'espace unique, non compartimenté et confiné d'un tunnel, les différences entre les environnements souterrains et les autres environnements apparaissent si importantes qu'aucune comparaison directe ne peut être faite entre eux. Les communications, l'évacuation, la ventilation, le drainage, l'alimentation en eau et le contrôle du trafic, entre autres, présentent des caractères exacerbés lorsque la circulation se fait en souterrain ou sous l'eau.

Un grand nombre d'essais en laboratoire et en grandeur réelle ont été effectués et des projets réalisés au cours des deux dernières décennies, dans le but général d'optimiser les possibilités de protection des personnes et de préservation des ouvrages et de l'environnement en cas d'incendie. Cela a conduit à un certain nombre d'équipements et de systèmes de sécurité. Il est nécessaire de décrire le résultat de ces travaux, considérés aussi bien individuellement qu'en diverses combinaisons.

Le groupe d'experts de la Commission Économique pour l'Europe des Nations Unies – CEE ONU – [7] a classé les différents facteurs ayant une influence sur le niveau de sécurité dans les tunnels routiers en quatre groupes principaux, comme le montre le diagramme page 32. Seule une coopération active entre ces quatre groupes peut garantir la sécurité dans un tunnel.

Au cours de près de 50 années d'existence, le comité technique AIPCR de l'exploitation des tunnels routiers a fait progresser les principales questions concernant la géométrie des tunnels, leurs équipements (y compris la ventilation), le trafic, la sécurité, l'exploitation et, plus récemment, les préoccupations environnementales et le comportement humain. Le Comité n'est pas impliqué dans les questions de génie civil telles que creusement, soutènement et étanchéité qui n'ont pas un rapport direct avec l'exploitation du tunnel. Ces thèmes sont traités dans le cadre d'une collaboration concernant l'ensemble des ouvrages souterrains, y compris les tunnels ferroviaires et hydrauliques. L'Association internationale des Travaux en Souterrain (AITES) assure la coopération internationale sur ces questions, et tout doublon avec l'AIPCR est évité.

2 SAFETY CONCEPTS FOR TUNNEL FIRES

2.1 Introduction

As the number and length of road tunnels are rapidly increasing and more people travel through them, tunnel safety issues (including fire safety) take an ever greater importance [6]. When it comes to the system for preventing and mitigating fire in the unique non-compartmented, enclosed space of a tunnel, the differences between subterranean environments and other environments are so vast that there is no straightforward comparison between them. Communication, egress, ventilation, drainage, water supply and traffic control are amongst others all exacerbated when moved underground or under water.

A large number of laboratory and full scale tests have been performed and projects carried out during the last two decades with the overall objective of investigating the possibilities for optimal protection of people and preservation of property and the environment in the event of fires. This has led to a set of different safety installations and systems. There is a need to describe the effect of these efforts, both individually and in various combinations.

The group of experts of the United Nations Economic Commission for Europe – UNECE [7] – has classified the various factors influencing the level of safety in road tunnels into four main groups as shown in the diagram (page 33). Only the cooperative action of all four groups can guarantee safety in a tunnel.

During its nearly 50 years of existence, the PIARC Technical Committee on Road Tunnel Operation has advanced the main issues concerning tunnel geometry, equipment (including ventilation), traffic, safety, operation and, more recently, environmental concerns as well as human behaviour. The Committee is not involved in tunnel civil engineering topics such as excavation, support and waterproofing that are not specifically concerned with the operation of the tunnel. These fields are addressed within a framework of cooperative works common to all types of underground structures, including railway and hydraulic tunnels. The International Tunneling Association (ITA) accomplishes international cooperation on these topics, and any duplication with PIARC is prevented.

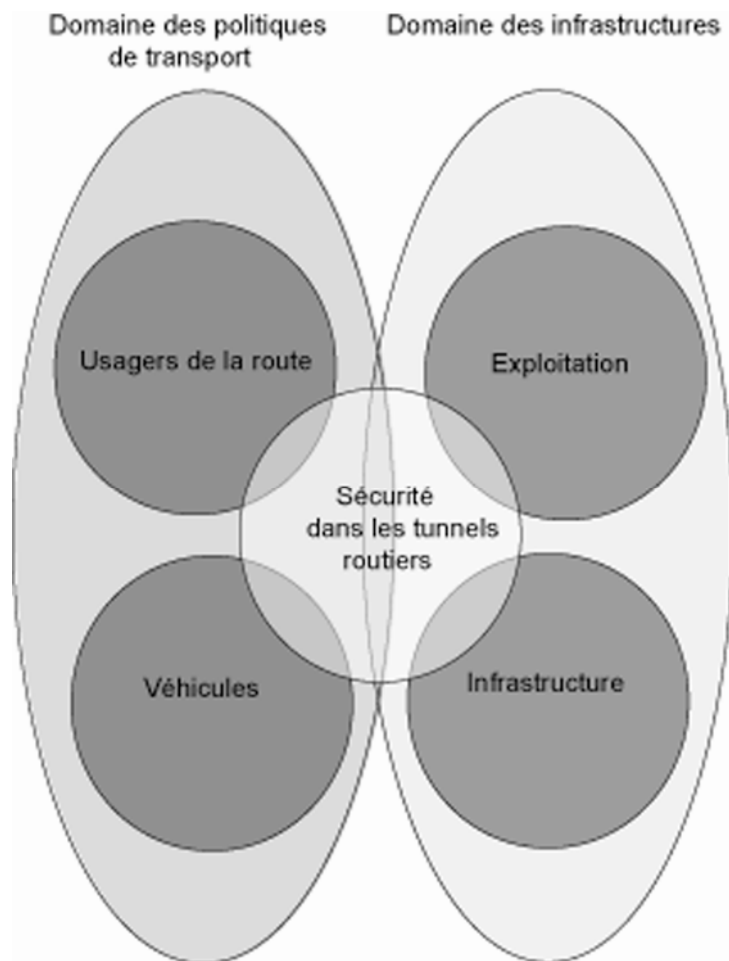


Figure 2.1 - Sécurité dans les tunnels routiers

2.2 Travaux antérieurs de l'AIPCR

Le Comité technique AIPCR de l'Exploitation des Tunnels routiers, par l'intermédiaire de son rapport intitulé « Maîtrise des incendies et des fumées dans les tunnels routiers » [2], a encouragé le développement de la sécurité contre les incendies dans les tunnels routiers. Le présent document ne remplace pas celui de 1999 ; mais des informations nouvellement disponibles y ont été intégrées. Le tableau 2.1 « Incendies graves dans les tunnels routiers » est une mise à jour du tableau 2.3.4 de la page 53 du rapport de 1999. L'annexe 12.1 fournit en outre de nouveaux détails en provenance de la Norvège sur les statistiques d'incidents et d'accidents.

2.3 Sécurité incendie en tunnel

- En première approche, on peut considérer que le niveau de sécurité à l'intérieur d'un tunnel devrait être comparable à celui que l'on trouve sur le réseau routier à l'extérieur du tunnel. Toutefois des approches alternatives sont possibles.

La sécurité dans les tunnels routiers a pour but premier de prévenir les accidents et de réduire les conséquences d'accidents éventuels.

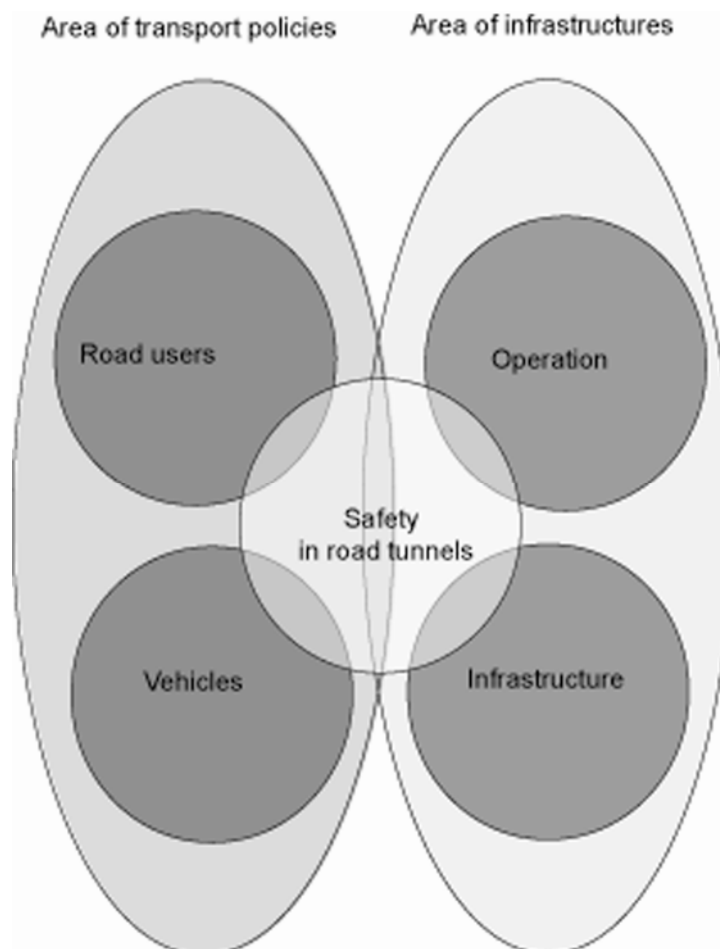


Figure 2.1 - Safety in road tunnels

2.2 Previous Work by PIARC

The PIARC Technical Committee on Road Tunnel Operation, through its 1999 report titled “Fire and Smoke Control in Road Tunnels,” [2] has fostered fire safety for road tunnels. The present document does not supersede the 1999 Report; however, some information that is newly available is included here. Table 2.1 “Serious Fire Accidents in Road Tunnels” is an update of Table 2.3.4 on page 53 in the 1999 Report. In addition, Appendix 12.1 provides new details from Norway regarding statistics on incidents and accidents.

2.3 Tunnel Fire Safety

- A first approach could consider that the safety level inside a tunnel should be comparable to that on the road system outside, as far as possible. However, alternative approaches are possible.

The safety in road tunnels will predominantly be aimed at the prevention of accidents and the reduction of consequences of possible accidents.

D'un point de vue statistique, le tunnel est généralement considéré comme la partie la plus sûre d'un réseau routier. En fait, la plupart des statistiques font état de peu d'accidents graves en tunnel par comparaison avec le réseau routier à ciel ouvert. Mais les conséquences d'un accident en tunnel peuvent très largement dépasser celles d'un accident à l'air libre.

Par conséquent, il est important de déployer tous les efforts techniques et organisationnels possibles pour assurer un niveau de sécurité aussi élevé que possible.

L'un des facteurs les plus importants pour le maintien du niveau de sécurité prévu est un schéma d'exploitation et d'entretien adéquat, bien étudié et systématique. La facilité d'entretien de l'ouvrage, y compris dans ses détails et ses équipements de sécurité, tout cela doit être pris en compte dès le début de la phase de conception.

Le présent chapitre traite d'un certain nombre d'aspects visant à réduire les accidents et leurs conséquences.

2.3.1 Objectifs de la sécurité incendie en tunnel

Les objectifs suivants ont été définis pour atteindre le niveau optimal de sécurité dans les tunnels routiers :

- Objectif principal : prévenir les événements critiques qui peuvent mettre en danger les vies humaines, l'environnement et les installations du tunnel.
- Objectif secondaire : réduire les conséquences des événements tels qu'accidents et incendies, c'est-à-dire mettre en place les conditions préalables pour :
 - ⇒ l'évacuation des personnes impliquées dans l'incident ;
 - ⇒ l'intervention immédiate des usagers afin d'éviter des conséquences plus graves (par exemple, un incendie peut généralement être éteint immédiatement après son déclenchement, mais, dix minutes plus tard, il se sera transformé en un véhicule entièrement en flammes) ;
 - ⇒ l'action efficace des services de secours ;
 - ⇒ la protection de l'environnement ;
 - ⇒ la limitation des dommages matériels.

The tunnel, from a statistical point of view, is generally deemed the safest part of the road network. In fact, most statistics show few serious tunnel accidents as compared to open road accidents. However, the consequences of a tunnel incident can far outweigh those of an open road incident.

Consequently, it is important to deploy all technical and organisational efforts available to obtain the designed safety level.

One of the most important factors in maintaining the designed safety level is an adequate, thoroughly planned and systematic operation and maintenance scheme. Maintainable construction, details and safety equipment, should all be considered at an early stage in the planning and design phase.

This section discusses a number of efforts for reducing accidents and their consequences.

2.3.1 Aims of Tunnel Fire Safety

The following objectives have been set for attaining the optimal level of safety in road tunnels:

- Primary objective: to prevent critical events that may endanger human life, the environment and tunnel installations.
- Secondary objective: to reduce consequences of events such as accidents and fires, i.e. to create the ideal prerequisites for:
 - people involved in the incident to evacuate;
 - the immediate intervention of road users to prevent greater consequences (e.g. a fire can generally be easily extinguished immediately after it breaks out, but ten minutes later it will have developed into a fully burning vehicle);
 - ensuring efficient action by emergency services;
 - protecting the environment;
 - limiting material damage.

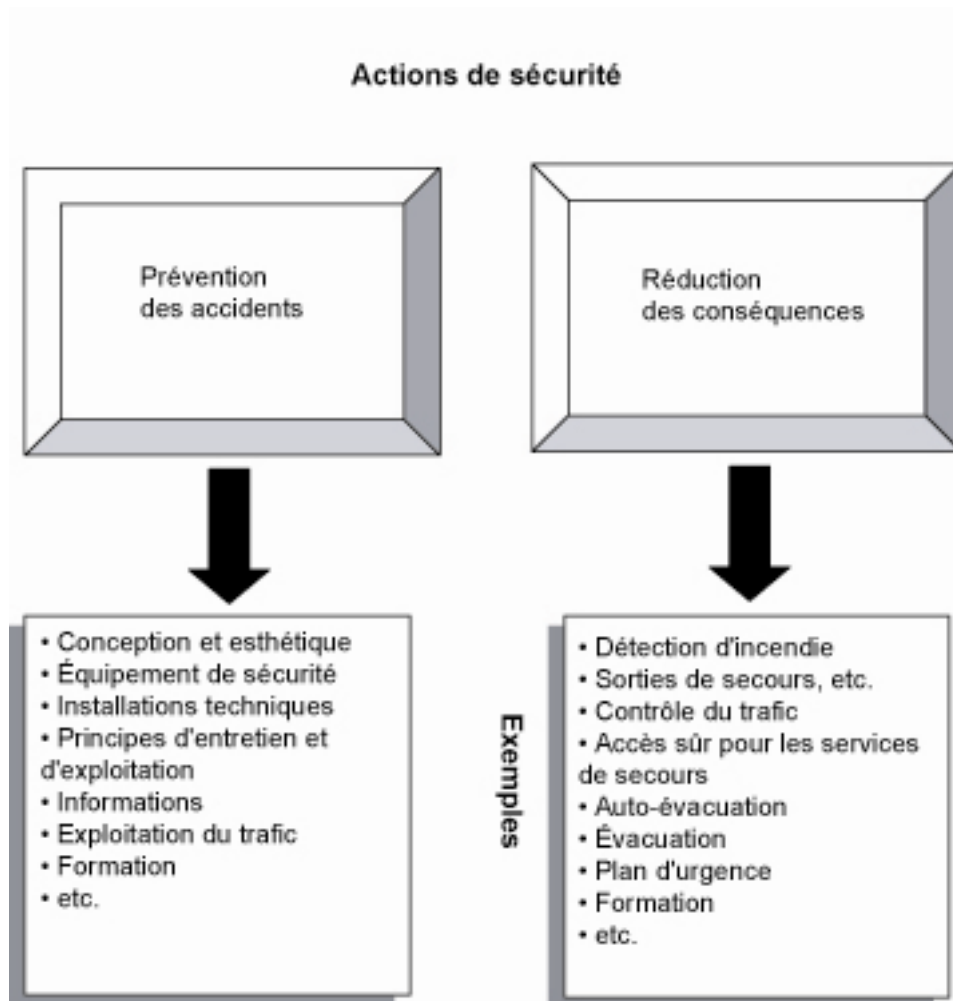


Figure 2.2 - Concept de sécurité global

2.3.2 Remarques sur les accidents en tunnel

L'annexe 12.1 contient le dernier rapport de la Norvège sur les statistiques d'incidents et accidents.

Le tableau 2.1 donne des informations sur un certain nombre d'incendies graves dans des tunnels routiers.

2.3.3 Sécurité pendant les phases de projet, de construction, d'exploitation et d'entretien

La construction d'un tunnel routier peut se diviser selon les éléments suivants : études préliminaires, étude de site, programmation, développement conceptuel, conception détaillée, construction, puis mise en service et exploitation. Le schéma général de réalisation doit assurer la continuité et des inter-relations étroites entre ces éléments, qui ont souvent une nature itérative.

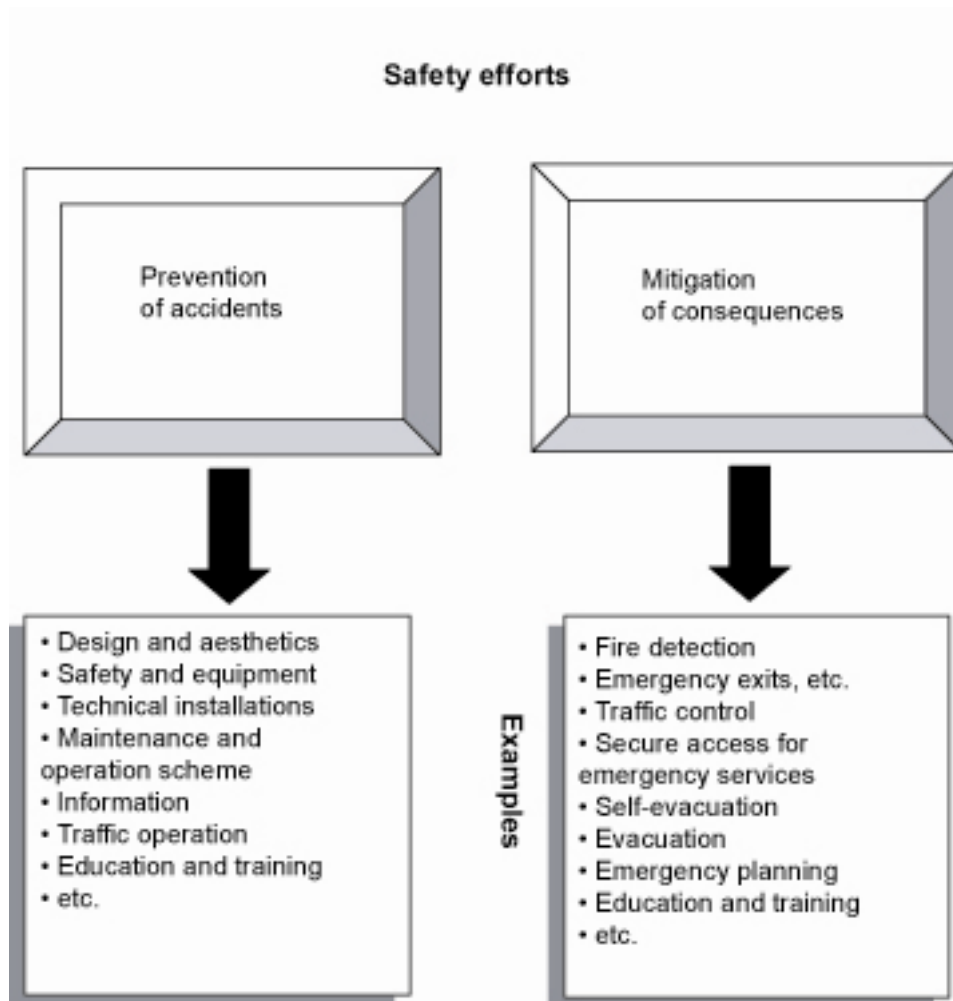


Figure 2.2 - The global safety concept

2.3.2 Remarks on Tunnel Accidents

Appendix 12.1 contains the latest report from Norway regarding incident and accident statistics.

Table 2.1 gives information on a number of serious fire accidents in road tunnels.

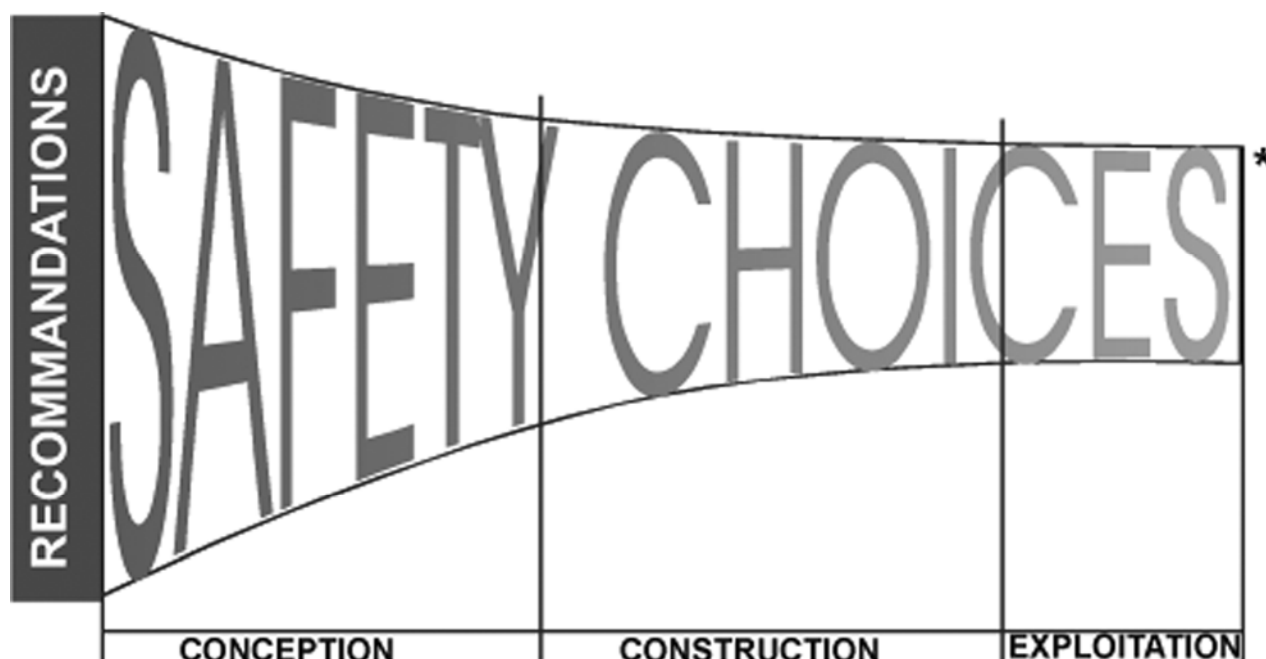
2.3.3 Safety during Design, Construction, Operation and Maintenance Phases

Building a road tunnel can be subdivided into the following elements: preliminary studies, site investigation, physical planning, conceptual development, detailed design, construction, then commissioning and operation. The overall development scheme should provide for continuity and close interrelations between these elements, which are often iterative in nature.

Il faut s'efforcer d'éviter une progression indépendante des différents aspects au cours de la phase de projet pour ne pas avoir de dépassements de coûts pendant la construction et l'exploitation. Des vérifications périodiques sont généralement effectuées pendant les phases de projet. Les mêmes procédures doivent être adoptées tout au long de la conception et de la construction, afin de maîtriser le projet du point de vue de l'exploitation, de l'entretien et de la sécurité.

L'optimisation du projet implique l'évaluation détaillée de tous les facteurs affectant les performances (y compris la sécurité) et les coûts, y compris les impacts sur l'environnement et les relations contractuelles entre les parties.

Les éléments de sécurité d'un tunnel sont définis principalement pendant les premières phases du projet (c'est-à-dire le développement conceptuel). La possibilité de faire des choix en fonction de la sécurité est de plus en plus restreinte au fur et à mesure que les phases de projet, de conception, de construction et d'exploitation avancent (voir Figure 2.3).



* Choix de sécurité

Figure 2.3 - Choix de sécurité

Par ailleurs, les exigences de sécurité concernant un tunnel routier ne sont pas immuables. Des changements dans les besoins en trafic, des améliorations générales dans les normes routières, ainsi que des facteurs sociaux et économiques élargis peuvent, au fil du temps, demander une remise à jour des exigences initiales de service et de sécurité. Si cela se produit pendant la phase d'exploitation du tunnel, et s'il se confirme que le projet initial doit être modifié, les changements nécessaires doivent prendre en compte les éventuelles interférences avec l'exploitation de l'ouvrage.

Independent advance of the various aspects should be prevented in the design phase to avoid costly extras during construction and operation. Periodic reviews are generally conducted during design stages. The same procedures should be adopted all through the development of the project and construction in order to check the project from the operation, maintenance and safety points of view.

Project optimisation entails thorough assessment of all factors affecting performance (including safety) and cost, including environmental impacts and contractual relationship between all parties.

The safety features of a tunnel are mainly established during the first phases of design (i.e., conceptual development). The possibility to make safety-related choices becomes more and more diminished as the planning, design, construction and operation phases advance (see Figure 2.3).

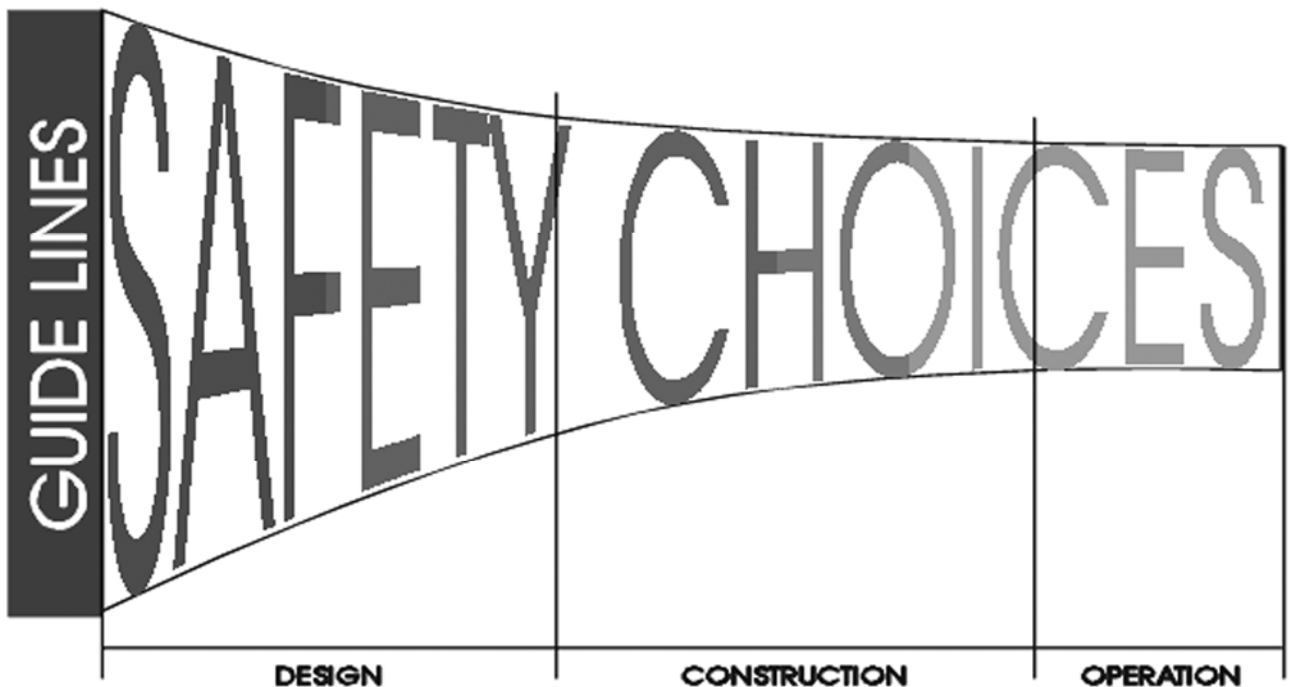


Figure 2.3 - Safety choices

On the other hand, the safety requirements set for a road tunnel are not immutable. In the course of time, changes in traffic demands, general improvements in road standards, and broader social and economic factors may call for upgrading the initial requirement for service and safety. If this occurs during the operation phase of the tunnel, and it is determined that the initial design should be modified, the required changes have to take into account the possible interferences with the operation of the facility.

Tableau 2.1 – Incendies graves dans les tunnels routiers

Date	Longueur du tunnel	Lieu/ Pays	Véhicule dans lequel l'incendie s'est déclaré	Cause la plus probable de l'incendie	Durée de l'incendie	Conséquences		
						Usagers	Véhicules endommagés	Structures et Équipements
13 mai 1949	Holland 2 550 m	New York USA	Camion avec 11 t. de disulfide de carbone	Charge tombée du camion - explosion	4 h	66 blessés inhalation de fumée	10 camions 13 voitures	Dommmages graves sur 200 m
31 août 1968	Moorfleet 243 m	Hambourg Allemagne	Remorque avec 14 t. de granulats PE	Blocage des freins	1 h 30 min	aucun	1 remorque	Dommmages graves sur 34 m
28 janvier 1974	Mont Blanc 11 600 m	France-Italie	Camions avec 21 t. de billes d'acier	Moteur	15 min	1 blessé	1 camion	N/A
14 août 1975	Guaderrama 2 345 m	Madrid Espagne	Camion avec remorques remplies de résine de pin	N/A	2 h 45 min	aucun	1 camion	Dommmages graves (fermé pendant 21 jours)
11 août 1976	Croisement BP - A6 430 m	Paris France	Camion avec tambours de 16 t. de film polyester	Vitesse élevée	1 h	12 blessés légers (fumée)	1 camion	Dommmages graves sur 150 m
11 août 1978	Velsen 770 m	Velsen Pays-Bas	4 camions 2 voitures	Collision par l'arrière	1 h 20 min	5 morts 5 blessés	4 camions 2 voitures	Dommmages graves sur 30 m
11 juillet 1979	Nihonzaka 2045 m	Shitsuoka Japon	4 camions 2 voitures	Collision par l'arrière	159 h	7 morts 1 blessé	127 camions 46 voitures	Dommmages graves sur 1 100 m
17 avril 1980	Kajiwara 740 m	Japon	1 camion avec 3 600 l de peinture dans 200 bidons	Collision avec la paroi et retournement	1 h 20 min	1 mort	1 camion, 4t 1 camion, 10t	Dommmages graves sur 280 m
15 juillet 1980	Sakai 459 m	Japon	6 camions lourds, 3 camions, 2 voitures	Collision multiple	3 h	5 morts 5 blessés	10 véhicules	Dommmages graves
17 avril 1982	Caldecott 1028 m	Oakland USA	1 voiture, 1 car 1 camion avec 33 000 l d'essence	Collision par l'arrière	2 h 40 min	7 morts 2 blessés	3 camions 1 car 4 voitures	Dommmages graves sur 580 m
Février 1983	Pecorila Galleria 662 m	Gênes Savone Italie	Camion de poissons	Collision par l'arrière	N/A	9 morts 22 blessés	10 voitures	Peu de dommages

Table 2.1 - Serious fire accidents in road tunnels

Date	Tunnel Length	Location/ Country	Vehicle Where Fire Occurred	Most Possible Cause of Fire	Duration of Fire	Consequences		
						People	Damaged Vehicles	Structures and Installations
13 May 1949	Holland 2,550 m	New York USA	Lorry with 11 tons of carbon disulfide	Load falling off lorry - explosion	4 hr	66 injured smoke inhalation	10 lorries 13 cars	Serious damage over 200 m
31 August 1968	Moorfleet 243	Hamburg Germany	Trailer with 14 tons of PE granulate	Brakes jamming	1 hr 30 min	none	1 trailer	Serious damage over 34 m
28 January 1974	Mont Blanc 11,600 m	France-Italy	Lorry with 21 tons of steel billet	Motor	15 min	1 injured	1 lorry	N/A
14 August 1975	Guaderrama 2,345	Madrid Spain	Truck with tanks filled with pine resin	N/A	2 hrs 45 min	none	1 truck	Serious damage (closed for 21 days)
11 August 1976	Crossing BP - A6 430 m	Paris France	Lorry with drums of 16 tons polyester film	High speed	1 hr	12 light injuries (smoke)	1 lorry	Serious damage over 150 m
11 August 1978	Velsen 770 m	Velsen Nederland	4 lorries 2 cars	Front-rear collision	1hr 20 min	5 dead 5 injured	4 lorries 2 cars	Serious damage over 30 m
11 July 1979	Nihonzaka 2,045 m	Shizuoka Japan	4 lorries 2 cars	Front-rear collision	159 hr	7 dead 1 injured	127 lorries 46 cars	Serious damage over 1,100 m
17 April 1980	Kajiwara 740 m	Japan	1 lorry with 3,600 l of paint in 200 cans	Collision with side wall and overturning	1 hr 20 min	1 dead	1 lorry, 4t 1 lorry, 10t	Serious damage over 280 m
15 July 1980	Sakai 459 m	Japan	6 heavy lorries, 3 lorries, 2 cars	Multiple collision	3 hr	5 dead 5 injured	10 vehicles	Serious damage
17 April 1982	Caldecott 1,028 m	Oakland USA	1 car, 1 coach 1 lorry with 33,000 l of petrol	Front-rear collision	2 hr 40 min	7 dead 2 injured	3 lorries 1 coach 4 cars	Serious damage over 580 m
February 1983	Pecorila Galleria 662 m	Gênes Savone Italy	Lorry with fish	Front-rear collision	N/A	9 dead 22 injured	10 cars	Little damage

5 mai 1983	Fréjus 12 870 m	France-Italie	Camion de matières plastiques	Moteur	~2 h	Aucun	1 camion	Dommages à la dalle du plafond et aux équipements
2 avril 1984	St. Gothard	A2 Suisse	Camions de matières plastiques	Moteur	24 min	Aucun	1 camion	Dommages graves sur 30 m
1 juillet 1984	Felbertauern 5 281 m	Autriche	Bus	Blocage des freins	1 h 30 min	Aucun	1 bus	Dommages sur la chaussée et le plafond
9 sept. 1986	L'Arme 1 105 m	Nice France	Camion avec remorque	Freinage après vitesse élevée	N/A	3 morts 5 blessés	1 camion 4 voitures	Certains équipements détruits
18 février 1987	Gumefens 343 m	Berne Suisse	1 camion	Collision par l'arrière	2 h	2 morts	2 camions 1 van	Dommages légers
19 août 1990	Røldal 4 656 m	Røldal Norvège	Transporteur VW avec remorque	Moteur	50 min	1 blessé	1 tracteur 1 remorque	Peu de dommages
11 janvier 1990	Mont Blanc 11 600 m	France-Italie	Camion avec 20 t. de coton	Moteur	30 min	2 blessés	1 camion	Certains équipements détruits
1993	Serra Ripoli 442 m	Bologne-Florence Italie	1 voiture et camion avec rouleaux de papier	Collision	2 h 30 min	4 morts 4 blessés	5 camions 11 voitures	Peu de dommages
13 juin 1993	Hovden 1 290 m	Høyanger Norvège	Moto 2 voitures	Collision par l'arrière	1 h	5 blessés	1 moto 2 voitures	111 m de matériau d'isolation détruit
27 février 1994	Huguenot 3 914 m	Afrique du Sud	Bus avec 45 passagers	Défaillance électrique	1 h	1 mort 28 blessés	1 autocar	Dommages graves
10 avril 1995	Pfander 6 719 m	Autriche	Camion avec remorque	Collision	1 h	3 morts 4 blessés	1 camion 1 van 1 voiture	Dommages graves
18 mars 1996	Isola delle Femmine 148 m	Palermo Italie	1 citerne avec gaz liquide + 1 petit bus	Collision par l'arrière	2 h	5 morts 20 blessés	1 citerne 1 bus 18 voitures	Dommages graves. Tunnel fermé pendant 2,5 jours

5 May 1983	Frejus 12,870 m	France-Italy	Lorry with plastic material	Motor	~2 hrs	None	1 lorry	Damage to roof slab and equipment
2 April 1984	St. Gotthard	A2 Switzerland	Lorry with plastic material	Motor	24 min	None	1 lorry	Serious damage over 30 m
1 July 1984	Felbertauern 5,281 m	Austria	Bus	Blocking brakes	1 hr 30 min	None	1 bus	Damage to pavement and ceiling
9 September 1986	L'Arme 1,105 m	Nice France	Lorry with trailer	Braking after high speed	N/A	3 dead 5 injured	1 lorry 4 cars	Some equipment destroyed
18 February 1987	Gumefens 343 m	Berne Switzerland	1 lorry	Front-rear collision	2 hr	2 dead	2 lorries 1 van	Slight damage
19 August 1990	Røldal 4,656 m	Røldal Norway	VW transporter with trailer	Motor	50 min	1 injured	1 transporter 1 trailer	Little damage
11 January 1990	Mont Blanc 11,600 m	France-Italy	Lorry with 20 tons of cotton	Motor	30 min	2 injured	1 lorry	Some equipment destroyed
1993	Serra Ripoli 442 m	Bologne-Florence Italy	1 car and lorry with rolls of paper	Collision	2 hr 30 min	4 dead 4 injured	5 lorries 11 cars	Little damage
13 June 1993	Hovden 1,290m	Høyanger Norway	Motorcycle 2 cars	Front-rear collision	1 hr	5 injured	1 motorcycle 2 cars	111 m insulation material destroyed
27 February 1994	Huguenot 3,914 m	South Africa	Bus with 45 passengers	Electrical fault	1 hr	1 dead 28 injured	1 coach	Serious damage
10 April 1995	Pfander 6,719 m	Austria	Lorry with trailer	Collision	1 hr	3 dead 4 injured	1 lorry 1 van 1 car	Serious damage
18 March 1996	Isola delle Femmine 148 m	Palermo Italy	1 tanker with liquid gas + 1 little bus	Front-rear collision	2 hrs	5 dead 20 injured	1 tanker 1 bus 18 cars	Serious damage. Tunnel closed for 2.5 days

31 octobre 1997	St. Gothard 16.918 m	A2 Suisse	Transporteur avec 8 voitures privées chargées	Moteur	3 h	2 blessés	1 camion 8 voitures	N/A
24 mars 99	Mont Blanc 11.600 m	France-Italie	Camion avec farine et margarine	Auto-inflammation	53 h	39 morts	23 camions 10 voitures 1 moto 2 camions pompiers	Dommmages graves. Tunnel réouvert en mars 2002
29 mai 1999	Tauern 6 401 m	A10 Salzburg- Spittal Autriche	Camion de peinture	Collision par l'arrière 4 voitures et 2 camions	14 h	12 morts 49 blessés	14 camions 26 voitures	Dommmages graves
14 juillet 2000	Seljestad 1 272 m	E 134 Drammen - Haugesund Norvège	Un incendie de diesel s'était déclaré avant la collision dans le compartiment moteur du semi-remorque qui a provoqué les collisions multiples.	Collision par l'arrière. Un semi- remorque a poussé une voiture sur 4 voitures arrêtées derrière un autre camion.	45 min	6 blessés	1 camion 6 voitures 1 moto	Dommmages graves. NOK 1 mill. Tunnel fermé pendant 1,5 jours
28 mai 2001	Prapontin 4409 m	A32 Torino - Bardonecchia Italie	Camion chargé de légumes	Auto-mise à feu des pneus	15 min	11 blessés par la fumée	1 camion	Fermé jusqu'à 6/6 en direction de Turin (est)
6 août 2001	Gleinalm 8 320 m	A9 près de Graz Autriche	Voiture	Collision frontale van - voiture	50 min	5 morts 4 blessés	1 voiture 1 van	Dommmages graves. Ré-ouvert le 07 août 2001
24 oct. 2001	St. Gothard 16 918 m	A2 Suisse	Camion	Collision frontale 2 camions	6 h	11 morts	2 camions 13 voitures	Dommmages graves. Fermé 2 mois
27 janvier 2002	Roppener 5 100 m	A12 Autriche	Bus	Moteur	1 h	2 blessés	N/A	N/A
3 nov. 2002	Homer 1 200 m	Nouvelle- Zélande	Bus	N/A	N/A	4 blessés	1 bus	N/A

31 October 1997	St. Gotthard 16,918 m	A2 Switzerland	Transporter with 8 private cars loaded	Motor	3 hrs	2 injured	1 lorry 8 cars	N/A
24 March 1999	Mont Blanc 11,600 m	France-Italy	Lorry with flour and margarine	Self-ignition	53 hrs	39 dead	23 lorries 10 cars 1 motorcycle 2 fire engines	Serious damage. Tunnel reopened March 2002
29 May 1999	Tauern 6,401 m	A10 Salzburg-Spittal Austria	Lorry with paint	Front-rear collision 4 cars and 2 lorries	14 hrs	12 dead 49 injured	14 lorries 26 cars	Serious damage
14 July 2000	Seljestad 1,272 m	E 134 Drammen - Haugesund Norway	The trailer-lorry that caused the multiple collisions had a diesel fire in the engine room before the collision.	Front-rear collision. A trailer-lorry pushed a car into 4 cars that had stopped behind another lorry.	45 min	6 injured	1 lorry 6 cars 1 MC	Serious damage. NOK 1 mill. Tunnel closed for 1.5 days
28 May 2001	Prapontin 4,409 m	A32 Torino - Bardonecchia Italy	Lorry charged with vegetables	Self ignition of tyres	15 min	11 injured by smoke	1 lorry	Closed until 6/6 in direction Torino (east)
6 August 2001	Gleinalm 8,320 m	A9 near Graz Austria	Car	Front collision van - car	50 min	5 dead 4 injured	1 car 1 van	Serious damage. Reopened 07 aug 01
24 October 2001	St. Gotthard 16,918 m	A2 Switzerland	Lorry	Front collision 2 lorries	6 hours	11 dead	2 lorries 13 cars	Serious damage. Closed 2 months
27 January 2002	Roppener 5,100 m	A12 Austria	Bus	Motor	1 hr	2 injured	N/A	N/A
3 November 2002	Homer 1,200 m	New Zealand	Bus	N/A	N/A	4 injured	1 bus	N/A

2.3.4 Plans d'intervention d'urgence

La stratégie d'exploitation et de contrôle du tunnel devrait être définie en se basant sur la nature et l'environnement du tunnel, ainsi que sur la disponibilité et la proximité de la police locale, des pompiers, des services de secours et autres.

Les actions normales d'exploitation du tunnel et de contrôle de la circulation incluent ordinairement l'entretien de l'ouvrage et des équipements, la mise en place du personnel des salles de commande (le cas échéant), l'inspection et la vérification des véhicules, afin d'assurer que les réglementations sont bien observées.

Les manuels d'exploitation des équipements, les plans d'entretien, un stock général et approprié de pièces de rechange et des outils spécialisés doivent être constitués pendant la phase de projet et être facilement disponibles pendant les opérations ordinaires d'exploitation.

En cas d'urgence, sont nécessaires : une structure de commande permettant de gérer la situation, des véhicules de secours avec conducteurs et équipages, des pompiers, la mise en œuvre des signaux et des communications entre le responsable du tunnel et son personnel, et une communication adéquate entre les équipes de secours et le public. Les tunnels de grande longueur ayant un trafic particulièrement chargé peuvent requérir une certaine redondance des personnels et des équipements d'urgence mentionnés ci-dessus.

Il est important de prévoir la formation, les méthodes de mise à jour, ainsi que des exercices permettant de préparer le personnel à réagir en cas d'accident ou d'anomalie. Voir le chapitre 8 pour plus de détails.

Le projet doit prendre en compte les activités qui se dérouleront sur le site et celles qui se dérouleront ailleurs. Le schéma général doit inclure des instructions pour le remplacement périodique et l'amélioration des équipements.

2.3.5 Risques et analyse des risques

Les risques associés à un tunnel doivent être identifiés et évalués systématiquement pendant la phase de projet. Une analyse des risques consiste à estimer à la fois les conséquences d'un accident et la probabilité qu'a un tel accident de se produire. Elle a pour but d'identifier et éventuellement de quantifier les risques, afin de pouvoir les éliminer ou les réduire, et aussi de comparer les solutions alternatives pour servir de base aux prises de décision pendant les phases de construction et d'exploitation.

2.3.4 Emergency Planning

The tunnel operation and control strategy should be established based on the nature and site of the tunnel, as well as the availability and proximity of local police, fire-fighting, rescue and other services.

Normal tunnel operation and enforcement action normally provides for maintenance of the structure and equipment, manning of control rooms (if any), inspection and examination of vehicles to ensure that regulations are being observed.

Equipment operating manuals, maintenance schedules, overall and appropriate stock of spare parts and special tools should be developed during the design phase of the tunnel project and be readily available during ordinary operation.

In the event of an emergency, the following is required: a command structure to deal with the situation, rescue vehicles with drivers and crews, fire brigade, operation of signals and communications between tunnel manager and tunnel staff, and adequate communication between emergency crews and with the public. Long tunnels with particularly heavy traffic may require some redundancy of the people and emergency equipment mentioned above.

Important activities are training, updating techniques, and exercises that prepare staff to react to accidents and abnormalities. See Chapter 8 for more details.

Project planning should take into account activities to be conducted at the site and those to be conducted elsewhere. The overall scheme should include provisions for periodic replacement and improvement of equipment.

2.3.5 Risk and Risk Analysis

The risks associated with a tunnel should be systematically identified and evaluated during the design stage. A risk analysis is an estimation of both the consequences of an accident and the likelihood (probability) that such an accident will occur. The aim of the risk analysis is to identify and possibly quantify the risks in order to be able to eliminate or reduce them, as well as to compare alternative methods as a basis for decision-making processes during the construction and operation phases.

Une analyse des risques, pour un tunnel, inclut les risques d'accidents mortels et de blessures en liaison avec l'utilisation du tunnel, y compris les blessures causées aux tiers (c'est-à-dire les personnes qui n'utilisent pas directement le tunnel lorsque l'accident se produit), les risques associés à l'endommagement de l'ouvrage tels que les effets sur l'intégrité et la longévité structurelles, ainsi que les risques pour la santé et l'environnement. L'évaluation des conséquences des pannes, des dommages structurels et l'impact négatif sur l'environnement, s'ils sont significatifs, peut aussi inclure les coûts résultant de l'interruption de la circulation, les coûts de remplacement, les coûts concernant les tiers, par exemple les dommages causés à d'autres ouvrages, et les coûts de perte de production.

Les événements suivants peuvent être pris en compte :

- accidents de la route,
- incendies de véhicules,
- accidents résultant du transport de marchandises dangereuses,
- incendies de bâtiments et ouvrages adjacents,
- effondrement total ou partiel de la structure du tunnel,
- interruption des fonctions de sécurité, telles qu'éclairage, ventilation, réseaux de signalisation,
- effet des accidents et événements externes.

Les données entrées dans une analyse des risques peuvent inclure les statistiques d'accidents, les taux de fréquence, ainsi que les coûts des accidents. Les données d'entrée, objets de référence et modèles de calcul doivent toujours être soigneusement choisis et correctement documentés. Dans une analyse des risques en tunnel routier, il est essentiel de traiter de façon correcte les relations spécifiques entre la conception géométrique de la route, les statistiques d'accidents et le comportement des usagers. De nouveaux travaux sur les analyses de risques sont actuellement menés par le comité technique AIPCR de l'exploitation des tunnels routiers et seront publiés dans les prochaines années.

2.4 Le concept de sécurité

Toutes les actions visant à la sécurité d'un tunnel, aussi bien pour prévenir les accidents que pour réduire leurs conséquences, peuvent être classées selon les catégories suivantes :

- dispositifs de génie civil du tunnel : tous les ouvrages de génie civil qui ont une influence sur la sécurité ou sont conçus pour améliorer la sécurité ;
- équipements du tunnel : tous les équipements, à l'intérieur ou à l'extérieur du tunnel, qui ont une influence sur la sécurité ou sont conçus pour améliorer la sécurité ;

A tunnel risk analysis includes the risks of fatalities, injuries in conjunction with the use of the tunnel, including third-party injuries (i.e. persons who are not directly using the tunnel when the accident occurs), risks associated with damage to the structure such as effects on structural integrity and durability, and risks to health and the environment. The evaluation of the consequences of breakdowns, structural damage and negative environmental impact, if significant, can also include the costs that will result from the disruption in traffic flow, replacement costs, third-party costs, such as damage to other structures, and the cost of losses in production.

Events such as the following may be taken into consideration:

- road accidents;
- vehicle fires;
- accidents due to the transportation of hazardous goods;
- adjacent building and structure fires;
- collapse of the tunnel structure or part of it;
- interruption of safety functions such as lighting, ventilation, signal systems;
- effect of external accidents and events.

The input data used for a risk analysis may include accident statistics, accident frequency ratios, and costs of accidents. The input data, reference objects and calculation models should always be carefully selected and properly documented. In a road tunnel risk analysis, it is essential that the specific relationship between road geometrical design, accident statistics, and user behaviour be treated in a proper way. More work on risk analyses is being performed by the PIARC Technical Committee on Road Tunnel Operation and will be published in the next years.

2.4 The Safety Concept

All actions aimed at tunnel safety, both for prevention of accidents and mitigation of consequences, can be classified in the following categories:

- tunnel structural facilities: all civil engineering works that have influence on safety or are designed in order to improve safety;
- tunnel equipment: all equipment inside or outside of the tunnel that has influence on safety or is designed to improve safety;

- entretien, exploitation, vérification du respect des règles de circulation, gestion des urgences : toutes les mesures techniques et d'exploitation ou les ressources humaines qui ont une influence sur la sécurité ou sont prévues pour améliorer la sécurité ;
- comportement humain des usagers du tunnel.

Chaque mesure prise a pour but de réduire le risque global. La « gestion des urgences » est un moyen de gérer les risques résiduels qui, pour des raisons techniques, fonctionnelles et/ou économiques, ne peuvent être résolus de façon différente. Le schéma suivant en précise le processus.

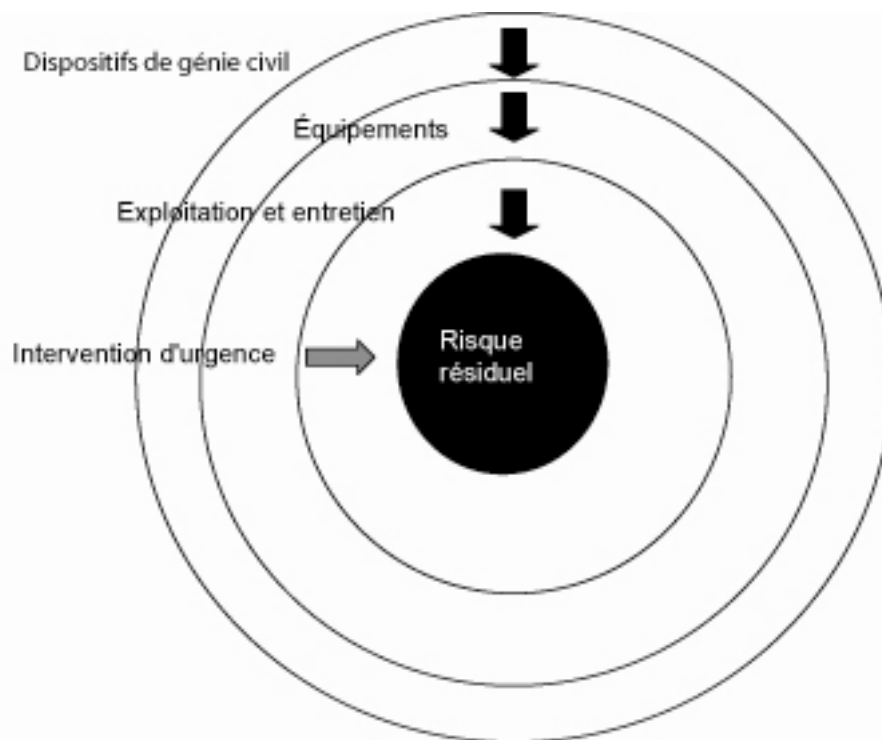


Figure 2.4 - Risques résiduels

Planifier la sécurité dans les procédures de projet, de construction et d'exploitation des tunnels routiers a pour but de trouver un équilibre entre des niveaux optimaux de sécurité et des coûts de construction et d'exploitation raisonnables. Cet objectif doit couvrir à la fois l'exploitation ordinaire et les interventions planifiées en réponse aux incidents sortant du quotidien.

Avant de commencer tout projet, il est nécessaire de décider ce que l'on demande au produit final. Dans le cas des tunnels routiers, de telles décisions ne peuvent pas être prises sans que soit considéré le reste du réseau routier et les équipements afférents.

La réponse aux questions de sécurité se trouve donc parfois englobée dans un objectif tel que « le tunnel doit être au moins aussi sûr que le reste du réseau routier », comme il a été dit au début de ce chapitre. Ce but est normalement atteint dans les tunnels (par exemple les tunnels norvégiens), et en fait on peut constater que les taux d'accidents sont plus faibles dans les tunnels de grande longueur que sur les routes à l'air libre.

- maintenance, operation, enforcement, emergency management: all technical and operational measures or human resources that have influence on safety or are forecast to improve safety;
- human behaviour of tunnel users.

Each measure taken is aimed at reducing the overall risk. “Emergency handling” is a way to manage the residual risk that, for technical, functional and/or economical reasons cannot be solved in a different way. The following scheme outlines the process.

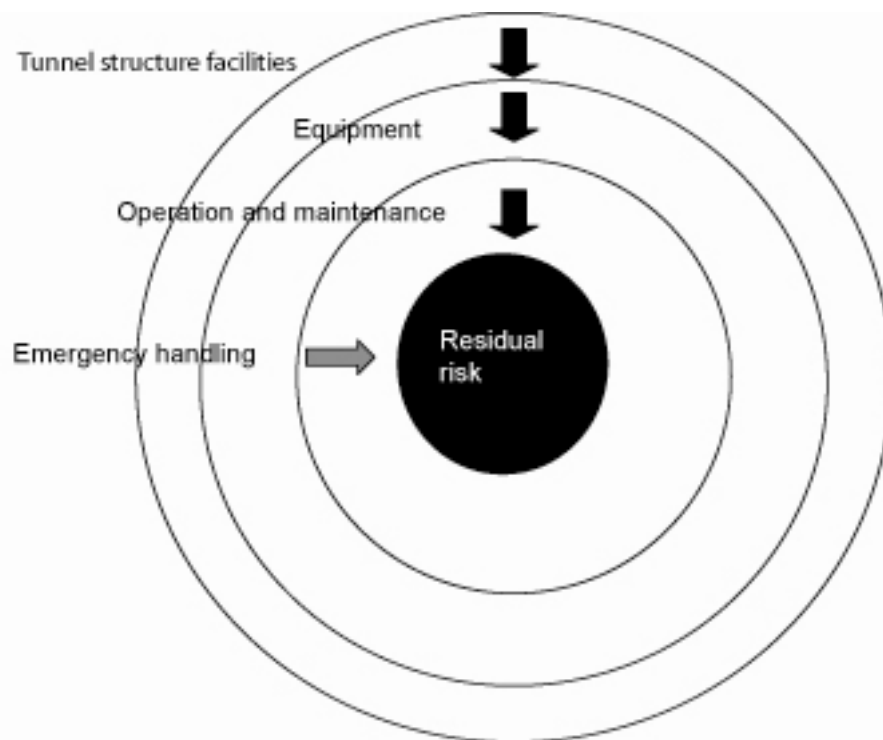


Figure 2.4 - Residual risk

The aim of safety planning in the design, construction and operating procedures of road tunnels is to find the balance between optimal safety standards and reasonable construction and operation costs. This aim must cover both routine operation and planned responses to non-routine incidents.

Before beginning any design, it is necessary to decide what is required of the finished product. In the case of road tunnels, such decisions cannot be made without considering the rest of the road system and relevant facilities.

Accordingly, the answer to the question of safety is sometimes encapsulated in an aim such as "the tunnel should be at least as safe as the rest of the road system", as mentioned in the beginning of this section. This aim is normally achieved in tunnels (e.g. the Norwegian tunnels), and in fact accident rates lower than those on the open road can be found in longer tunnels.

Toutefois, ramener le niveau de risque en cas d'accident grave à l'intérieur d'un tunnel à celui d'une route à l'air libre n'est pas facilement réalisable.

L'approche mentionnée ci-dessus présente l'avantage d'être quantifiable, au moins aux yeux de celui qui analyse les risques. Elle permet aux projeteurs et aux exploitants d'évaluer les priorités et invite à considérer le tunnel comme partie intégrante d'un réseau plus vaste, et non comme une simple entité isolée.

Elle néglige cependant l'une des contraintes pratiques les plus importantes – l'argent. Elle place également la sécurité à l'écart d'autres questions importantes, comme les avantages et/ou les inconvénients résultant de la présence d'un tunnel. Cette même approche peut viser un objectif plus élevé : on peut désirer que les accidents soient ramenés à un niveau inférieur à celui de routes comparables à l'air libre. L'équilibre n'est pas facile à établir, mais, dans tous les cas, il doit être basé sur une comparaison des coûts et de l'efficacité des mesures.

En outre, la quantification des risques est loin d'être une science exacte. Par exemple, il n'existe aucune comparaison satisfaisante entre 50 accidents entraînant chacun un mort et un accident impliquant 50 morts. Cela résulte de la perception commune des événements dans le monde réel, tels qu'ils sont rapportés par les médias. Le concept de sécurité dans un tunnel routier doit prendre en compte ce fait. En outre, les modèles disponibles pour quantifier les probabilités et les conséquences des accidents comportent de fortes incertitudes, dues par exemple au caractère limité des données existantes sur les accidents graves.

Une approche alternative, que certaines autorités préfèrent, est connue sous l'acronyme de « ALARP » (As Low As Reasonably Practicable). Dans cette approche, le but est de garantir que les risques sont « aussi faibles qu'il est raisonnable en pratique », le mot-clé étant « raisonnable ». L'interprétation de « raisonnable en pratique » dépend inévitablement du point de vue de la personne qui opère ce jugement (exploitant, usager, juriste, etc.). Une telle approche est limitée par le fait qu'une analyse coût/bénéfice n'est jamais favorable si l'on compare les investissements en tunnel et les autres investissements à l'air libre.

D'autres autorités se réfèrent à des règles de conception plus ou moins descriptives, et exigent que tout projet de tunnel ait un niveau de sécurité équivalent ou supérieur à ce qui résulterait de la stricte application de ces règles.

En tout état de cause, la sécurité ne consiste pas à adopter simplement toutes les mesures de sécurité possibles mais est la conséquence d'un équilibre judicieux entre les facteurs de risques prévus et les meilleures mesures « raisonnablement » possibles.

However, to bring the level of risk in the case of a major accident inside a tunnel to that of the open road is not easily achievable.

The above-mentioned approach has the advantage of being quantifiable, at least in the eyes of the risk analyst. It enables designers and operators to assess priorities and encourages the consideration of the tunnel as part of a wider network, and not as a single, isolated entity.

However, it neglects one of the most influential, real-world constraints -- money. It also separates safety from other important issues such as benefits and/or disadvantages arising from the existence of the tunnel. With the same approach the target can be higher: accidents can be targeted to a reduced percentage of the outside level on comparable roads. The equilibrium is not easy to find, but in any case has to be found on a cost/effectiveness basis.

Furthermore, the quantification of risk is far from being an exact science. For example, there is no satisfactory comparison between 50 incidents involving one death and one incident involving 50 deaths. This is a consequence of the common perception of events in the actual world as portrayed by the media. The safety concept for a road tunnel must take this fact into account. Additionally, the available models for quantifying accident probabilities and consequences have large uncertainties, e.g. due to a limited database for large accidents.

An alternative approach, preferred by some regulatory authorities, is known by the acronym "ALARP". In this approach, the aim is to ensure that risks are "As Low As Reasonably Practicable", the key operative word being "reasonably". The interpretation of "reasonably practicable" inevitably depends on the point of view of the person making the judgment (operator, user, lawyer, etc.). Such an approach is limited by the fact that a cost/benefit analysis will never be positive if comparing investments in tunnel with other investments in the open air.

Other authorities refer to more or less prescriptive guidelines, and require that any tunnel design has a safety level equivalent to or higher than what would result from the strict application of the guidelines.

In any case, safety is not the simple adoption of all possible countermeasures for safety, but is the consequence of an adequate balance between the forecast risk factors and the "reasonably" best possible countermeasures.