



Chaque enquête devrait couvrir toute une palette d'aspects de la qualité de service et des conditions de son déplacement telles que l'utilisateur les perçoit. Chaque aspect peut être noté de 1 à 10 par exemple, et traité sous deux angles différents :

- quel est, selon vous, son degré d'importance ?
- quel a été le niveau de qualité fourni ?

En plus des questions habituelles permettant de dégager les tendances en termes de qualité de service, chaque enquête peut informer les usagers et obtenir leur point de vue sur les évolutions et améliorations envisagées.

Amélioration de la communication interne et de la planification

Un travail d'équipe, la connaissance des besoins des uns et des autres ainsi qu'une réflexion approfondie sont indispensables si l'on veut que les interventions d'entretien soient programmées et exécutées avec succès et en toute sécurité avec un minimum de perturbation et de gêne pour les usagers du tunnel. Il n'y a pas deux tunnels identiques en termes de taille, de complexité, d'implantation ou de structure du trafic. Dès lors, il incombe à chaque exploitant de tunnel d'identifier et d'analyser ses besoins puis d'y apporter des solutions satisfaisantes.

Dans bien des cas, le débriefing après les travaux peut être fort utile pour améliorer la planification future. Qu'est-ce qui a bien marché ? Qu'est-ce qui n'a pas marché ? Pourquoi ? Comment peut-on l'améliorer ? En outre, lors de ces débriefings, il ne faut pas oublier que le point de vue des personnes qui ont effectué les travaux est aussi important, sinon plus, que celui de l'encadrement.

Pour les interventions lourdes, notamment lorsque de la congestion est inévitable et qu'il faudra un complément de régulation du trafic et d'informations routières, il est également important que l'exploitant du tunnel fasse intervenir d'autres acteurs extérieurs (l'administration en charge des routes, la police, les services de secours, les transporteurs et les médias) et s'assure que tous les besoins sont satisfaits. Il est aussi important que les usagers qui se déplacent soient parfaitement informés.

3. CONCEPTION ET REMISE EN ÉTAT DES TUNNELS ROUTIERS URBAINS

► 3.1 GÉNÉRALITÉS SUR LA CONCEPTION ET LA REMISE EN ÉTAT

3.1.1 Les défis

Un tunnel doit être étudié, ou réétudié, conformément à la réglementation. Sa conception est fortement influencée par l'usage qui est envisagé (ou, en cas de

The survey should cover a wide range of aspects of service quality and the user's journey experience, which could be rated on a scale of say 1 to 10, looked at separately from two different viewpoints:

- How important do you rate it, and
- How well was the service provided ?

In addition to the standard trending service delivery questions, each individual survey can inform and obtain users views on proposed developments and improvements.

Improving internal communication and planning

Teamwork, understanding each others' needs and clear detailed thinking are essential if the requirements of each maintenance job are to be planned and carried out successfully and safely with minimum disruption and inconvenience to tunnel users. No two tunnels are identical in terms of size, complexity, layout or in terms of traffic patterns. It is for each tunnel operator to identify and analyse his own particular needs and provide satisfactory solutions.

In many cases post-completion debrief discussions will be a valuable aid to future planning. What went well? What did not? Why? How to improve? And in carrying out such debriefs it must not be overlooked that the views of the people who carried out the work are as important, if not more so, than managers and supervisors.

For major projects, particularly where some degree of traffic congestion will be unavoidable and additional traffic information and control will be required, it is also important for the tunnel operator team to involve the appropriate external agencies such as highway authorities, police, other emergency services, transport operators, media and publicity to ensure that all needs are met and the travelling public are well informed.

3. DESIGN AND REFURBISHMENT OF URBAN ROAD TUNNELS

► 3.1 GENERAL ASPECTS RELEVANT FOR DESIGN AND REFURBISHMENT

3.1.1 Challenges

A tunnel has to be (re-)designed in accordance with legislation and the design is strongly influenced by the expected and desired use (or, in case of refurbishment,



remise en état, son utilisation effective). Dans le cadre des possibilités d'utilisation ainsi que de la réglementation, des choix sont opérés parmi les solutions réalisables sur le plan de la conception et de l'exploitation. Sur ces critères, et sur la base des recommandations nationales et, s'il y a lieu, internationales, le bureau d'études doit dresser la liste des équipements et des installations qui sont soit nécessaires, soit éminemment souhaitables.

Au début de l'étude, un document spécifique peut décrire tous les équipements du tunnel relatifs à la sécurité. Il peut aussi définir les risques d'événements anormaux, les répertorier par type et, si possible, faire une évaluation des risques en termes de fréquence et de conséquences.

Utilisation

L'utilisation d'un tunnel routier urbain est différente de celle d'un tunnel non urbain. Il est conseillé de toujours la définir en tenant compte du réseau routier et de l'infrastructure environnante.

Les spécificités liées à l'utilisation d'un tunnel urbain et du réseau routier auquel il appartient sont typiquement les suivantes :

- transport de marchandises dangereuses : dans bien des cas, on autorise moins de marchandises dangereuses dans les tunnels routiers urbains que dans les tunnels routiers non urbains. Mais les camions qui transportent ces marchandises et qui empruntent le tunnel présentent un plus grand risque en termes de conséquences pour le voisinage s'ils sont impliqués dans un accident (incendie, explosion, vapeurs toxiques) ;
- beaucoup plus de véhicules de transport en commun avec de nombreux voyageurs ;
- différences entre la limitation de vitesse à l'intérieur du tunnel et la limitation sur les voies urbaines de raccordement en amont et en aval du tunnel, ce qui agit négativement sur le comportement des conducteurs et entraîne des bouchons ;
- trafic plus dense provoquant des bouchons occasionnels ;
- structure pendulaire du trafic journalier provoquant des bouchons dans un certain sens ;
- bouchons plus nombreux en cas de problèmes : non seulement sur la route où se trouve le tunnel, mais aussi sur les voies d'accès en amont du problème ;
- des incidents minimes peuvent avoir des effets secondaires beaucoup plus importants en raison de l'imbrication des voies urbaines environnantes.

La prise en compte de ces spécificités pendant la phase d'étude peut conduire à prendre la décision soit d'intégrer dans la conception des mesures pour

actual use) of the tunnel. Within the possibilities and restrictions of use and legislation, choices are made based upon a consideration of possible solutions in design and in operation. On these criteria, the design team must compile a list of equipment and facilities that is (a) necessary and (b) highly desirable, based on national and, if appropriate, international guidelines.

At the very beginning of the design, a specific document may describe all tunnel installations related to safety, define the risks of abnormal events, classified by type and if possible include Risk Assessment in terms of frequency and consequences.

Use

The use of an urban road tunnel is different from that of non-urban highway tunnels. The use of an urban road tunnel should always be considered in conjunction with the use of the road network and the surrounding infrastructure.

Typical features connected with the use of an urban road tunnel and its road network are:

- dangerous goods transport: in many cases, in urban road tunnels, less dangerous goods are allowed than in highway tunnels. However, dangerous goods vehicles that do drive through the tunnel pose a greater risk in terms of consequences for the neighbourhood if these vehicles are involved in an accident (fire, explosion, toxic fumes);
- considerably more public transportation, carrying many passengers;
- speed limit differences between the road in the tunnel and the connecting urban and highway networks both upstream and downstream from the tunnel, having an adverse effect on driver behaviour and leading to congestion;
- more traffic causing occasional congestion;
- tidal flow nature of the daily traffic, causing congestion in specific directions;
- more widespread congestion effects when problems do arise: not only the road on which the tunnel is situated, but also the connecting road networks upstream from the problem;
- minor incidents can have much wider secondary effects due to the combination of highway and urban networks.

Considering these features during the design phase may lead to a decision either to include measures in the design aimed at avoiding adverse effects either to



corriger les effets négatifs, soit de prendre en compte les effets réels s'il n'est pas possible de réduire ceux-ci ou de les supprimer.

Ainsi, les autobus et autocars peuvent présenter des difficultés particulières pour l'exploitation d'un tunnel si leurs spécificités n'ont pas été prises en compte durant la phase d'étude du tunnel. En effet, ces véhicules nécessitent un équipement spécial de dépannage et de remorquage ; de plus ils peuvent transporter jusqu'à une centaine de personnes. Plus que les voitures de tourisme, les autobus et autocars transportent des personnes âgées ou à mobilité réduite, ce qui pose des problèmes en cas d'évacuation. La prise en compte, lors de l'étude d'un tunnel, du rôle des autobus peut donc avoir un effet sur la géométrie du tunnel (pour permettre l'accès des véhicules spéciaux de dépannage ou de remorquage) et sur les voies d'évacuation.

Certaines spécificités des tunnels routiers urbains peuvent influencer sur le niveau et/ou la fréquence de congestion de la circulation. En voici quelques exemples :

- la largeur de la chaussée, qui peut (ou peut ne pas) permettre de maintenir la capacité d'absorption de trafic du tunnel, même si un véhicule est arrêté à l'intérieur ;
- le nombre des issues de secours, qui est étroitement lié au nombre d'utilisateurs présents dans le tunnel ;
- les conditions de fonctionnement de la ventilation en cas d'incendie avec un bouchon à l'intérieur du tunnel.

Le tunnel par rapport à la zone urbaine environnante

L'implantation d'un tunnel dans une zone fortement urbanisée fait peser de nombreuses contraintes sur sa conception :

- problèmes évidents par rapport au choix de l'implantation : on peut concevoir un tunnel qui réponde à toutes les règles de sécurité et de performances, mais qui soit tout simplement impossible à inscrire physiquement dans la ville. En effet, les abords des têtes de tunnel sont parfois réduits et il peut ne pas y avoir assez de place pour stocker les véhicules et les contenir pendant un incident dans le tunnel. Les tunnels sous-fluviaux ont des profils en long qui entraînent des variations de vitesse dans les différentes parties du tunnel. Cela accroît le risque de voir des véhicules tomber en panne dans un bouchon ;
- la construction d'un tunnel dans un sol mou peut ébranler les fondations des bâtiments voisins ;
- les exigences liées à l'évacuation des fumées, aux structures nécessaires au rejet des gaz d'échappement et au bruit peuvent poser problème dans une zone sensible ;

take into account the real effects of the features if it is not possible to reduce or counteract them.

Buses, for example, can pose particular difficulties for tunnel operation if their specific role is not taken into account during tunnel design. They require special equipment for breakdown recovery and towing. They also can carry up to one hundred people. Passengers may, more so than in regular cars, be elderly and/or have mobility difficulties, which has consequences for their abilities and speed in case there is a need for escape. During the design of a tunnel, considering the role of buses may therefore have an effect on the design of both the tunnel geometry (to allow for special repair or towing vehicles) and the escape routes.

Some specific features of urban road tunnels may influence traffic congestion in term of level and/or frequency. Examples of these features are:

- the width of the carriageway, which can (or can not) allow to keep the traffic volume capacity of the tunnel even if a vehicle is stopped inside;
- the number of emergency exits, that is closely connected to the number of present users in the tunnel;
- the operating requirements of ventilation in case of fire with congestion inside the tunnel.

The tunnel in relation to the urban area

Situating a tunnel in a densely developed urban area creates a lot of pressure on the design:

- the obvious problems in relation to location: if one designs a tunnel that meets all rules and regulations for safety and efficiency, it may simply be physically impossible to fit it in in the city. Portal approaches may be short due to this and there may be a lack of space for marshalling and holding vehicles during an incident in the tunnel. Underwater tunnels may necessarily have long sag curve vertical alignments, causing differences in driving speed in different parts of the tunnel, and increasing the chance of vehicle breakdowns during congestion;
- the disturbance of foundations of nearby buildings caused by building a tunnel in soft soil conditions;
- the requirements of exhaust smoke and of exhaust surface structures and noise in a sensitive area;



- si des immeubles doivent être rachetés en vue de leur démolition, cela suscite généralement une résistance plus ou moins forte de la part de leurs propriétaires. En zone urbaine, il n'est pas rare d'avoir à négocier avec (beaucoup) plus de propriétaires et de disposer d'un nombre d'options plus restreint. De surcroît, le prix des terrains est plus élevé ;
- le souhait logique des habitants et des administrations de construire des logements au-dessus d'un tunnel (terrestre) entraîne pour ceux qui habitent à cet endroit des risques supplémentaires en cas de catastrophe ;
- il faut traiter la sécurité des usagers dans le tunnel mais aussi la sécurité des personnes qui se trouvent dans les environs immédiats : il est conseillé d'analyser des scénarios du type explosion ou gros incendie pour étudier leurs conséquences et les moyens permettant d'en atténuer les effets ;
- influence des constructions contiguës : le niveau de sécurité du tunnel peut être suffisamment élevé en soi, mais s'avérer insuffisant dès lors que l'on autorise la construction d'immeubles qui jouxtent le tunnel ou sont même construits à la verticale de celui-ci ;
- grande diversité du trafic, depuis le trafic local et de proximité jusqu'au trafic de transit, souvent combiné avec le trafic des heures de pointe dont la direction est opposée le matin et le soir. Dans certains cas, des tubes (ou des voies) affectés alternativement à un sens et l'autre peuvent constituer une solution pour un trafic pendulaire ;
- intégration dans le système d'exploitation du réseau existant, avec l'étude des bretelles d'accès et de sortie ;
- le réseau routier, en amont et en aval du tunnel, est susceptible d'être beaucoup plus complexe que dans le cas d'un tunnel non urbain. En raison de cette complexité le trafic entrant peut aborder le tunnel par vagues et non en flot continu, tandis qu'en aval de la tête de sortie, le débit du trafic sortant peut être interrompu.

Congestion

Comme on l'a vu plus haut, les spécificités liées aux caractéristiques du trafic et à l'emplacement d'un tunnel routier urbain entraînent des bouchons fréquents si elles ne sont pas prises en compte durant la phase d'étude.

Il est souhaitable d'empêcher ou de réduire le plus possible un bouchon dans un tunnel, car :

- cela altère très vite la qualité de l'air dans le tunnel ;
- les moteurs des véhicules peuvent chauffer et provoquer des pannes, surtout dans les tunnels à fortes et longues pentes ;
- un séjour prolongé dans l'enceinte du tunnel peut stresser les occupants des véhicules et les rendre claustrophobes ;

- if there is a need to buy and demolish property, it usually causes some or a lot of resistance among the present owners. In an urban area one is likely to have to deal with (many) more owners and have less alternatives to choose from. Also, the land values are higher;
- the logical desire of inhabitants and administrators to build on the roof of a (land) tunnel, causing additional risks for those located on top of the tunnel during a calamity;
- the balance between the safety of tunnel users and the safety of persons in the immediate surroundings. In relation to this, scenarios such as explosions and large fires should be analysed for consequences and possible means of alleviating the effects;
- the influence from, and upon, (plans for) adjoining constructions. The safety level of the tunnel by itself may be sufficiently high, but when allowing for buildings next to the tunnel or even to be placed on top of the roof, it may not be enough;
- the wide variety of traffic: from local, short-distance, to through traffic, often combined with rush hour traffic in opposing directions morning and evening. In some cases, tidal flow tubes (or lanes) can be a solution;
- integration in the network management traffic system including the design of access and exit ramps;
- the road network, both upstream and downstream from the tunnel, is likely to be a lot more complex than in case of a non-urban tunnel. Entering traffic may approach the tunnel in waves rather than in a continuous stream due to the complexity of the road network upstream from the tunnel. The exiting traffic flow may be interrupted downstream of the exit portal.

Congestion

The specific features connected with the use and location of an urban road tunnel, as discussed before, will result in frequent congestion if they are not considered during the design phase.

Congestion in a tunnel should be prevented or reduced as much as possible because:

- it has a very rapid adverse effect on air quality in the tunnel;
- it may lead to increased vehicle overheating and vehicle breakdowns, especially in tunnels with steep and long slopes;
- prolonged delay within the confines of the tunnel can also induce claustrophobic reaction and stress in vehicle occupants;



- un bouchon peut gêner le passage des véhicules de secours qui se rendent sur le lieu d'un accident, soit dans le tunnel soit dans ses environs, ce qui peut entraîner un retard inacceptable de l'intervention des secours ;
- dans les tunnels à ventilation longitudinale, celle-ci se met en marche en présence de grandes quantités de gaz d'échappement ou en cas d'incendie. En général, le sens est celui du trafic, afin de protéger les gens pris au piège derrière l'accident, en amont de l'incendie. Le trafic en aval peut sortir du tunnel en toute sécurité. Mais en cas de bouchon en aval de l'incendie, les usagers vont s'y trouver piégés et leur situation va empirer si la ventilation est mise en marche (automatiquement). C'est pourquoi l'étude de la ventilation doit tenir le plus grand compte des situations d'incendie en cas de bouchon.



Illustration de la densité de trafic d'un tunnel urbain

- congestion combined with a lack of space can prevent a smooth passage by emergency vehicles to either accidents in the tunnel, or emergencies in the vicinity, resulting in an unacceptably long emergency services response time;
- in tunnels with longitudinal ventilation, the ventilation is switched on in case of large amounts of exhaust fumes or in case of a fire. The direction is usually in the driving direction to protect people trapped behind the accident, upstream from the fire. Traffic downstream can safely drive out of the tunnel. In case of a congestion downstream from the fire, people will be trapped there. Their situation will worsen if ventilation is (automatically) switched on. It is the reason why the ventilation design has to take very carefully into account fire events in case of congestion.



Example of traffic density in an urban tunnel

3.1.2 Recommandations concernant la conception et la remise en état

Gestion du trafic et des interventions

- Il est conseillé que la différence de limitation de vitesse avec le réseau routier amont soit être la plus faible possible. De même, pour éviter la formation de bouchons dans le tunnel, il est préférable que la limitation de vitesse en aval du tunnel ne soit pas inférieure à celle qui est imposée en amont.
- Il est recommandé d'intégrer la probabilité de congestion dans l'analyse des besoins de ventilation.

3.1.2 Recommendations for design and refurbishment

Traffic and intervention management

- Speed limit differences on the upstream road network should be kept to a minimum. Also, the speed limit on the roads downstream from the tunnel should preferably not be lower than the speed(s) upstream to avoid congestions in the tunnel;
- include the likelihood of congestion in the analysis of ventilation requirements;



- De même il est recommandé d'intégrer la probabilité de pannes des véhicules dans la conception de la chaussée, afin de maintenir la capacité d'absorption de trafic même si un véhicule est bloqué à l'intérieur du tunnel.
- La géométrie et l'infrastructure du réseau devraient être étudiées de manière à éviter la formation de bouchons dans le tunnel (on trouvera dans la partie suivante des recommandations propres à la géométrie et à l'infrastructure).
- Il est souhaitable d'intégrer des mesures permettant de maintenir la sécurité en cas de bouchons.
- Il est recommandé de prendre des mesures adaptées à une gestion efficace et proactive du trafic, par exemple la fermeture rapide des voies pour permettre le passage des véhicules de secours.
- Il est souhaitable que la conception intérieure évite tout sentiment de claustrophobie ou d'angoisse aux usagers du tunnel
- Pour limiter le nombre des incidents et des bouchons, il est recommandé d'utiliser le plus efficacement possible les systèmes de régulation du trafic modernes, et cela sur une zone étendue.

Optimisation des coûts sur la durée de vie

Dès le début du projet, le coût d'exploitation d'un tunnel devrait être pris en considération lors des choix d'investissement. Un petit investissement supplémentaire dans le projet initial peut permettre d'économiser beaucoup d'argent et de gêne pour l'entretien et l'exploitation. Par conséquent, pour choisir parmi les différentes solutions possibles, le maître d'ouvrage doit prendre en compte non seulement le coût d'investissement, mais aussi le coût de l'entretien (y compris la gêne causée aux usagers et au grand public par les travaux d'entretien).

En général, ce sont les spécificités de la situation qui dictent les priorités choix. Considérons, par exemple, les deux aspects suivants : le rôle du tunnel dans le réseau existant et la nature du trafic :

- un tunnel peut être situé dans un réseau routier complet avec un nombre suffisant de déviations possibles. Dans un autre cas, il peut s'agir d'une liaison stratégique permettant de franchir un obstacle physique, sans autre itinéraire possible ;
- le trafic peut présenter des fluctuations importantes selon un cycle journalier ou hebdomadaire, mais il peut aussi être relativement constant avec un niveau élevé 24 heures sur 24, 7 jours sur 7. Et tous les types de conditions intermédiaires sont possibles.

Dans le cas d'un tunnel pour lequel il n'y a aucun itinéraire de rechange satisfaisant et qui connaît un trafic constamment élevé, l'incidence de l'entretien sur le trafic peut être si forte que des investissements supplémentaires substantiels sont inévitables dans le projet initial.

- include the likelihood of failures in the design of the carriageway so as to keep the traffic volume capacity even if a vehicle is stopped inside the tunnel;
- design the network geometry and infrastructure so as to avoid congestion in the tunnel (specific recommendations for geometry and infrastructure will be given in the next section);
- include measures to maintain safety in the presence of congested traffic;
- include adequate measures for effective and pro-active traffic management, e.g. allowing for rapid closure of lanes for passage of emergency services;
- the interior design should be aimed at preventing feelings of claustrophobia or anxiety in tunnel users.
- to limit further escalation of incidents and the growth of congestion, it is recommended that best use be made of modern, computerized, wide-area traffic control systems.

Whole life costing optimisation

From the start of the project, the cost of operation of a tunnel should be taken into consideration when making investment choices. A small extra investment in the initial plan may save a significant amount of money and inconvenience for maintenance and operation. Consequently, the owner has to consider the balance of investment cost for design solutions on the one hand, and maintenance cost (including inconvenience for the users and the general public resulting from maintenance activities) on the other.

The specific situation will usually set the priorities. Consider, for example, these two dimensions: the function of the tunnel in the road network and the traffic pattern:

- a tunnel may be situated in a comprehensive route network with sufficient route options. On the other hand, it may be a strategic link to cross a physical barrier, with no other available route alternative;
- traffic may conform to a clear pattern on a daily or weekly cycle, or it may be fairly constant with a high level of demand 24*7. All kinds of intermediate conditions are possible.

In case of a tunnel with no suitable (safe) alternative route and constantly high traffic intensity, the impact of maintenance on traffic may be so large, that substantial additional investments are inevitable in the initial project.



Choix de conception et documentation

Apartir de tous ces éléments, on opère des choix pour les solutions de conception et de construction et pour l'organisation devant gérer le tunnel. Durant ce processus, il est vivement recommandé de consulter les exploitants de tunnels similaires existants, afin de tirer des enseignements de leurs expériences respectives.

Dans ce processus, il est crucial que tous les choix soient documentés avec des rapports d'analyse. Il est également conseillé, en vue des améliorations futures, de conserver les critères d'étude de base ainsi que les niveaux de seuil, et notamment l'identification des systèmes vitaux et la fonctionnalité requise de chacun d'eux. Plus un tunnel routier urbain et ses équipements sont complexes, plus il est important de veiller à ce que les manuels d'exploitation et d'entretien soient détaillés et le personnel convenablement formé. Ainsi, l'exploitant du tunnel peut consulter toutes les informations pertinentes, par exemple pour l'entretien et la rénovation, même des dizaines d'années après l'ouverture du tunnel à la circulation.

Recommandations complémentaires

Pour des recommandations complémentaires sur la réduction du coût d'exploitation à l'intention des concepteurs de tunnels, voir le rapport de l'AIPCR [3].

► 3.2 CONCEPTION INITIALE

3.2.1 Les défis

Géométrie et infrastructure

En général, les premiers choix à faire lors de la conception d'un tunnel concernent le tracé de l'itinéraire (tunnel compris), la géométrie de l'ouvrage (nombre de tubes, nombre de voies de circulation, grandes lignes du profil en long, chemins d'évacuation et moyens d'accès pour les sauveteurs). Ils concernent aussi les cheminements internes et externes (y compris, au besoin, l'accès et les voies d'accès pour les secours et l'entretien ainsi que les itinéraires de déviation du trafic).

Lors de ces choix, les points suivants devraient être pris en compte :

- itinéraires permettant aux services de secours d'atteindre leur destination :
 - dans le tunnel ou sur les accès et dans les zones qui ne peuvent être atteintes que par le tunnel,
 - en situation normale et pendant les opérations d'entretien du tunnel,
 - compte tenu de la probabilité de bouchon sur l'ensemble de l'itinéraire, tunnel compris ;

Design choices and documentation

Based upon all of this, choices are made for designing and building solutions, and about the organization for managing the tunnel. It is strongly recommended that operators of existing similar tunnels are consulted during this process in order to learn from their experience.

In this process, it is critical that all decisions are documented along with analysis reports and other documentation used when making the decisions. The basic design criteria and threshold levels for future improvements should also be recorded. This should include the identification of vital systems and the required functionality for each of them. The greater complexity of an urban road tunnel and its tunnel equipment makes it more important to ensure that operation and maintenance manuals are accurately detailed and staff is properly trained. This allows for the tunnel operator to retrieve all relevant information, e.g. for maintenance and renovation, even decades after opening the tunnel for traffic.

More recommendations

For more recommendations on reduction of operational cost to tunnel designers, see PIARC report [3].

► 3.2 INITIAL DESIGN

3.2.1 Challenges

Geometry and infrastructure

The first design decisions to be made usually involve the route of the road (including a tunnel), the geometry of the construction (number of tubes, number of traffic lanes, rough longitudinal section, escape routes and means of access for rescue services) and the internal and external infrastructure (including, if necessary, access and access roads for rescue services and maintenance, and roads for diverting oncoming traffic in case of incidents).

When making these decisions, the following issues should be taken into account:

- the possibilities for emergency services to reach their destinations:
 - both in the tunnel or on the road and in areas that can be reached only through the tunnel,
 - in the normal situation and during tunnel maintenance,
 - taking into account the likelihood of traffic congestion on the entire route including the tunnel;