

6. CONCLUSION

▶ 6.1. NÉCESSITÉ D'UNE APPROCHE GLOBALE DE LA SÉCURITÉ DES TUNNELS

Une approche globale est nécessaire pour tenir compte de tous les aspects du système composé de l'infrastructure, de l'exploitation, des services de secours, des usagers de la route et des véhicules.

La communication et l'échange d'informations techniques entre les pays revêtent une très grande importance pour améliorer la sécurité des tunnels routiers dans le monde entier. C'est pourquoi il peut s'avérer utile d'adopter un cadre unifié pour une approche intégrée de la sécurité des tunnels routiers, comportant les éléments suivants :

- critères de niveau de sécurité (législation & réglementations) ;
- critères socio-économiques et rapport coût efficacité ;
- mesures de sécurité relatives à l'infrastructure et à l'exploitation ;
- techniques d'appréciation de la sécurité ;
- utilisation des tunnels routiers ;
- phases de la vie d'un tunnel ;
- expérience en matière d'exploitation ;
- état des tunnels.

La mise en œuvre d'une approche globale de la sécurité des tunnels permettra d'obtenir une augmentation du niveau de sécurité dans le monde entier, donc

³ UPTUN a élaboré des critères d'acceptation pour la fuite, les pompiers, les systèmes d'atténuation et pour la construction du tunnel (matériaux, composantes et structures résistant au feu, portes résistant au feu).

6. CONCLUSION

▶ 6.1. NEED FOR A 'HOLISTIC' APPROACH TO TUNNEL SAFETY

A 'holistic' approach is necessary to take into account all aspects of the system consisting of the infrastructure, operation, emergency services, road users and vehicles.

Communication and the exchange of technical information between countries are of paramount importance to enhance road tunnel safety around the world. Therefore, it might be helpful to adopt a unified framework for an integrated approach to road tunnel safety containing the following elements:

- safety level criteria (legislation & regulations);
- socio-economic and cost-benefit criteria;
- infrastructure & operational safety features;
- safety assessment techniques;
- road tunnel use;
- stage of the tunnel life;
- operating experience; and
- tunnel system condition.

By using a so-called 'holistic' approach to tunnel safety, an increase in the level of tunnel safety around the world can be achieved, which means first of all that lives

³ In UPTUN, acceptance criteria have been developed for escape, fire brigade, mitigation systems and for the tunnel construction (fire resistant materials, components and structures, fire resistant doors).



avant tout de sauver des vies. Par la suite, les sociétés font des économies grâce à la réduction :

- du nombre d'accidents et du nombre de blessés et de tués ;
- des dégâts subis par la structure du tunnel ; et
- des éventuelles pertes macro-économiques dues à l'indisponibilité du tunnel.

En outre, une approche intégrée de la sécurité des tunnels routiers facilite l'optimisation de la conception des tunnels. Les bonnes pratiques appliquées dans chaque pays peuvent s'intégrer progressivement dans une approche globale, que celles-ci soient basées sur des mesures de sécurité descriptives (aussi appelées « prescriptives »), sur des exigences performantielles, ou sur une combinaison des deux.

► 6.2. PROPOSITION D'APPROCHE INTÉGRÉE DE LA SÉCURITÉ DES TUNNELS ROUTIERS

6.2.1. Généralités

Une approche intégrée de la sécurité des tunnels est en fait un cadre commun pour planifier, concevoir, construire et exploiter un nouveau tunnel ou rénover ou remettre en état un tunnel en service, en répondant aux niveaux de sécurité requis à chaque phase de la vie du tunnel. Tout ceci doit se dérouler conformément à un plan de sécurité et suivant les procédures de sécurité convenables. La *figure 4, page suivante* donne un schéma de la proposition d'approche intégrée de la sécurité des tunnels nouveaux ou en service. Cette proposition fournit un cadre pour structurer le problème de l'appréciation de la sécurité des tunnels. Chaque élément individuel de ce cadre a été décrit au *chapitre 5, page 48*.

6.2.2. Planification

La *figure 4, page suivante* montre qu'en planifiant un nouveau tunnel, on procède à une première sélection des caractéristiques techniques et opérationnelles de sécurité. Dans ce premier stade, les alternatives éventuelles pour la géométrie du tunnel, sa construction, les technologies de communication, les équipements mécaniques et électriques sont étudiées. Des conditions limites spécifiques, telles que l'utilisation multiple de l'espace, peuvent faire partie du projet, surtout dans les tunnels urbains. De plus, la préparation aux cas d'urgence est abordée : tous les facteurs en matière de sécurité sont identifiés et les alternatives possibles pour les équipements visant à limiter les conséquences, les infrastructures internes et externes et les scénarios de dangers sont choisis pour analyse et optimisation. L'utilisation du tunnel est identifiée : nombre attendu de véhicules et pourcentage

are saved. Subsequently, societies save money by a reduction of:

- the number of accidents and number of injuries and fatalities;
- the damage to the tunnel structure; and
- possible macro-economic losses due to the unavailability of a tunnel.

Furthermore, an integrated approach to road tunnel safety facilitates the optimization of tunnel design. The best practices in each individual country can smoothly fit in an holistic approach, regardless if these are based on prescriptive safety features, performance-based safety features or a combination of both.

► 6.2. PROPOSAL FOR AN INTEGRATED APPROACH TO ROAD TUNNEL SAFETY

6.2.1. General

An integrated approach to tunnel safety is in fact a common framework to plan, design, construct and operate a new tunnel or to upgrade or refurbish an in-service tunnel, fulfilling the required safety levels at each stage of the tunnel life. All of this should take place according to a safety plan and following the right safety procedures. *Figure 4, next page* shows a schematic representation of the proposal for an integrated approach to tunnel safety for new and in-service tunnels. The proposal provides a framework to structure the problem of tunnel safety assessment. Each individual element of the framework has been described in *chapter 5, page 49*.

6.2.2. Planning

Figure 4, next page shows that when planning a new tunnel system, a first selection of infrastructure and operational safety features is made. At this early stage, possible alternatives for tunnel geometry, tunnel construction, communication technologies, mechanical and electrical equipment are studied. Specific boundary conditions, such as multiple space use may be a part of the project, especially in urban tunnels. Furthermore, emergency preparedness is addressed: all factors for safety are identified and possible alternatives for mitigation equipment, internal and external infrastructure and hazard scenarios are chosen for analysis and optimization. The use of the tunnel: expected number of vehicles and fraction of trucks and HGVs are identified. All arguments, safety level criteria and the results of safety analysis (which will not only be focused on internal safety, but also on

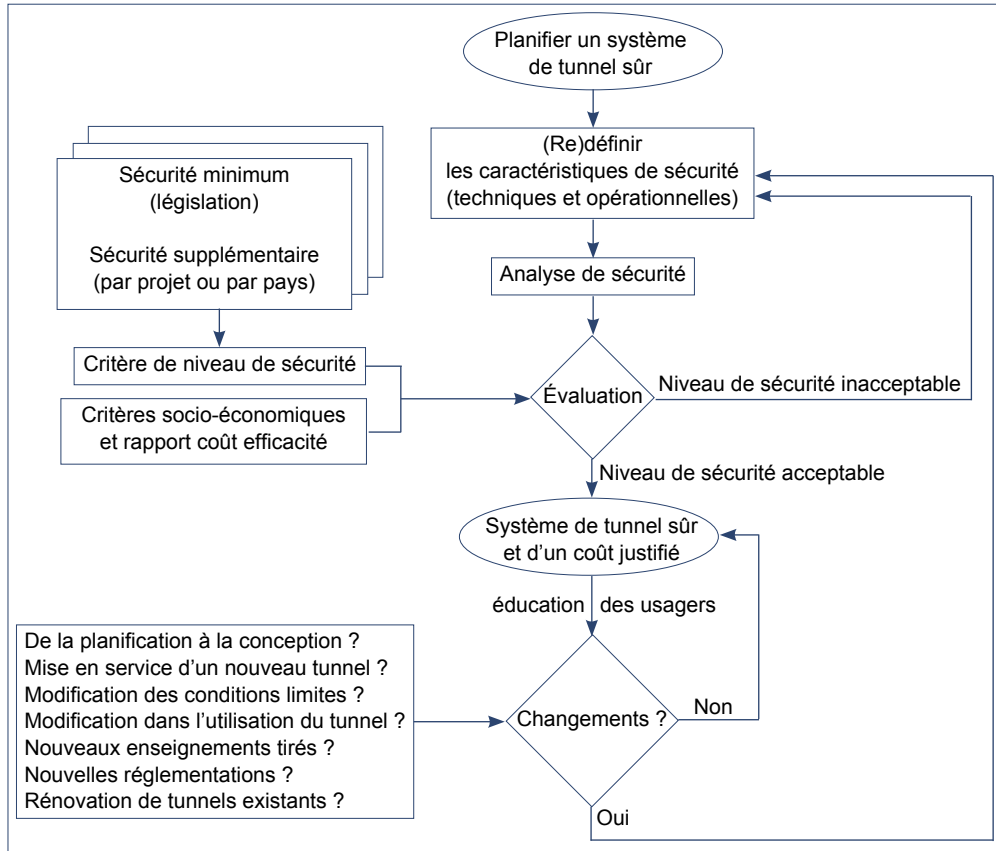


Figure 4 - Représentation schématique de la proposition d'approche intégrée pour la sécurité des tunnels nouveaux et en service

de camions et de poids lourds. Tous les arguments, les critères de niveau de sécurité et les résultats d'une analyse de sécurité (qui ne se concentrera pas seulement sur la sécurité interne, mais aussi sur la sécurité externe, la sûreté et la sécurité sur le plan social) sont consignés dans le dossier de sécurité.

6.2.3. Conception

La figure 4 montre une première boucle lorsque l'on passe de la planification à la conception d'un nouveau tunnel. Les choix de conception de la géométrie du tunnel, de sa construction, des technologies de communication, des équipements mécaniques et électriques et de la géométrie (infrastructures internes et externes) sont effectués. S'agissant de la préparation aux cas d'urgence, les

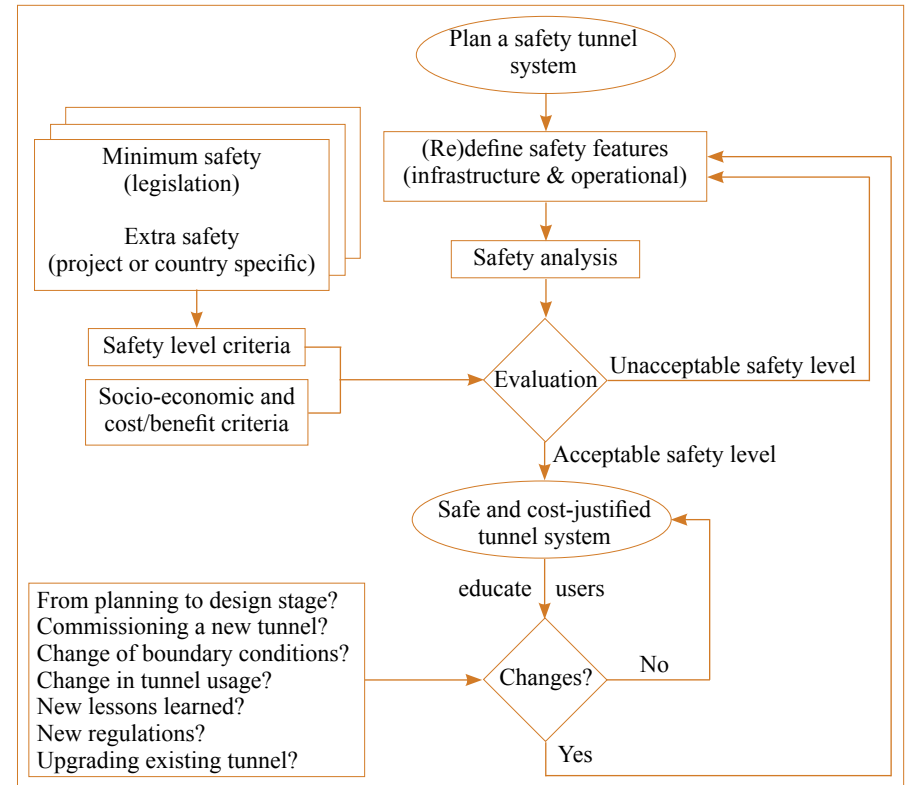


Figure 4 - Schematic representation of the proposal for an integrated approach for the safety of new and in-service tunnels

external safety, security and social safety) are reported in the safety documentation.

6.2.3. Design

Figure 4 shows a first loop when going from planning to design of a new tunnel system. The design choices for tunnel geometry, tunnel construction, communication technologies, mechanical and electrical equipment and lay-out (internal and external infrastructure) are made. With regard to the emergency preparation, mitigation equipment is selected and emergency response plans are prepared,

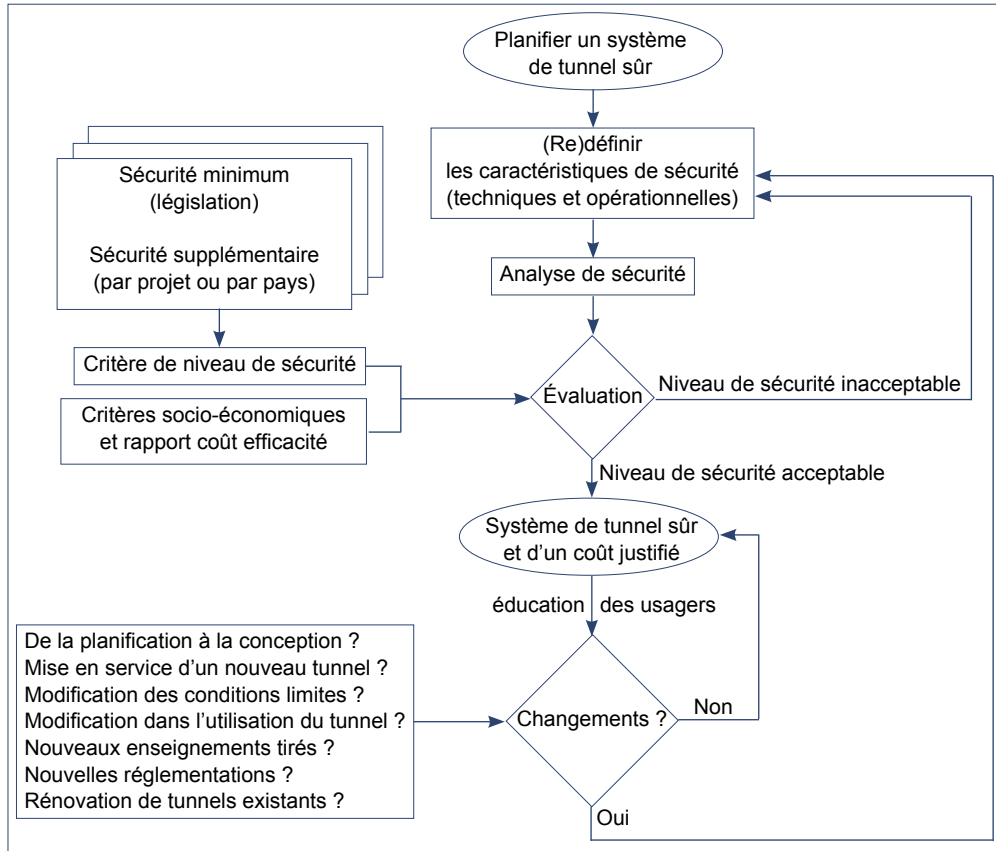


Figure 4 - Représentation schématique de la proposition d'approche intégrée pour la sécurité des tunnels nouveaux et en service

de camions et de poids lourds. Tous les arguments, les critères de niveau de sécurité et les résultats d'une analyse de sécurité (qui ne se concentrera pas seulement sur la sécurité interne, mais aussi sur la sécurité externe, la sûreté et la sécurité sur le plan social) sont consignés dans le dossier de sécurité.

6.2.3. Conception

La figure 4 montre une première boucle lorsque l'on passe de la planification à la conception d'un nouveau tunnel. Les choix de conception de la géométrie du tunnel, de sa construction, des technologies de communication, des équipements mécaniques et électriques et de la géométrie (infrastructures internes et externes) sont effectués. S'agissant de la préparation aux cas d'urgence, les

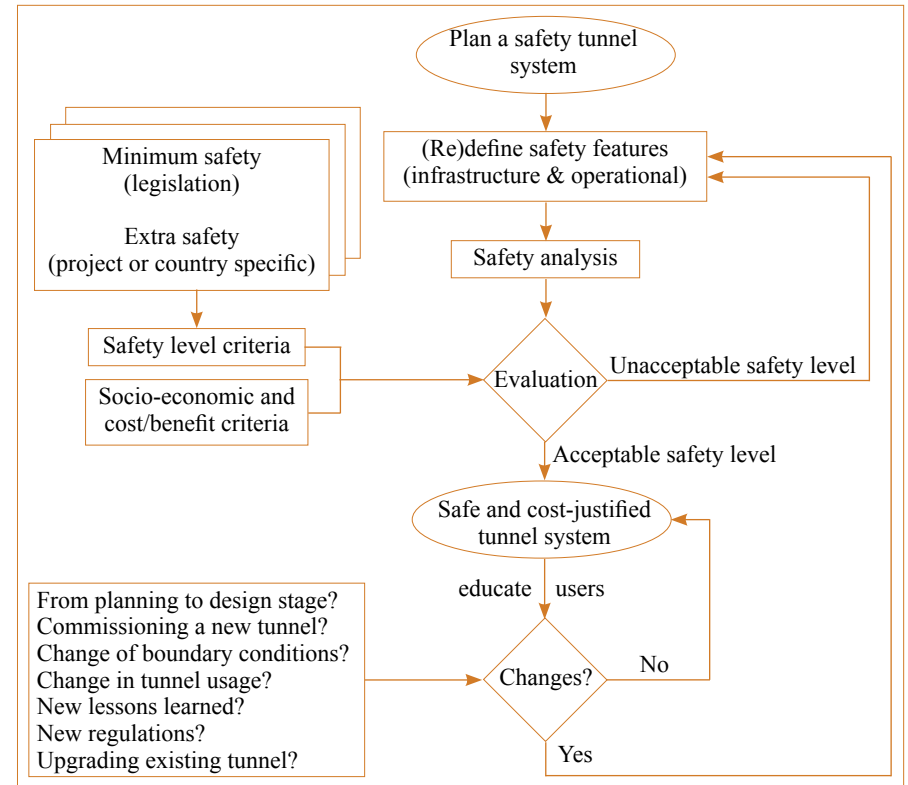


Figure 4 - Schematic representation of the proposal for an integrated approach for the safety of new and in-service tunnels

external safety, security and social safety) are reported in the safety documentation.

6.2.3. Design

Figure 4 shows a first loop when going from planning to design of a new tunnel system. The design choices for tunnel geometry, tunnel construction, communication technologies, mechanical and electrical equipment and lay-out (internal and external infrastructure) are made. With regard to the emergency preparation, mitigation equipment is selected and emergency response plans are prepared,



équipements de limitation des conséquences sont sélectionnés et des plans d'intervention d'urgence sont élaborés, avec l'implication de tous les acteurs en matière de sécurité. La validité des hypothèses retenues au cours de la planification quant à l'utilisation du tunnel est vérifiée.

Une appréciation de la sécurité plus détaillée par rapport au stade de la planification est réalisée. Des informations nouvelles, le cas échéant de nouveaux arguments, des critères de niveau de sécurité et les résultats de l'analyse de sécurité plus détaillée (qui ne peuvent pas seulement se concentrer sur la sécurité interne, mais doivent aussi concerner la sécurité externe, la sûreté et la sécurité sociétale) sont ajoutés au dossier de sécurité.

6.2.4. Construction

Bien entendu, au cours de la construction du tunnel, les plans de construction convenables, les règles de santé et de sécurité, variables d'un pays à l'autre, doivent être suivis et tous les acteurs compétents en matière de sécurité doivent être impliqués dans le processus. Toutefois, garantir un processus de construction sûr dépend de l'emplacement du tunnel et échappe à la portée du présent rapport de l'AIPCR.

6.2.5. Exploitation

La *figure 4, page précédente* comporte une deuxième boucle lors de la mise en service d'un nouveau tunnel. Dans l'Union européenne, la Directive 2004/54/CE concernant les exigences de sécurité minimales applicables aux tunnels du réseau routier transeuropéen exige qu'un dossier de sécurité soit établi pour chaque tunnel. Ce dossier de sécurité est destiné à être le document essentiel de la gestion de sécurité d'un tunnel routier et doit donc contenir toutes les informations pertinentes pour la sécurité du tunnel concerné. Son contenu doit être adapté aux différents stades d'un projet de tunnel routier, à savoir la conception, la mise en service et l'exploitation. Avant qu'un tunnel soit mis en service, les autorités compétentes doivent approuver le dossier de sécurité.

Le rapport de l'AIPCR « Outils pour la gestion de la sécurité dans les tunnels » [10] décrit des outils utiles pour assurer l'exploitation sûre d'un tunnel, et notamment le dossier de sécurité.

6.2.6. Réévaluation de la sécurité du tunnel

La *figure 4, page précédente* comporte d'autres boucles, pour les cas de remise en état éventuelle de tunnels anciens, d'application de nouvelles technologies,

with the involvement of all safety stakeholders. The validity of the assumptions during planning with respect to the use of the tunnel is checked.

A new safety assessment is carried out and is more refined than at the planning stage. New information, possible new arguments, safety level criteria and the results of the more detailed safety analysis (which can be focused not only on internal safety, but also on external safety, security and social safety) are added to the safety documentation.

6.2.4. Construction

Of course, during the construction of the tunnel, the proper building plans, health & safety regulations, varying from country to country, must be followed and all relevant safety factors must be considered in the process. However, to warrant a safe construction process is tunnel location specific and outside the scope of this PIARC report.

6.2.5. Operation

Figure 4, previous page shows a second loop when commissioning a new tunnel system. In the European Union, the Directive 2004/54/EC requires safety documentation to be compiled for each tunnel. This safety documentation is expected to be the key document of safety management of a road tunnel and must therefore contain all safety-related information about the given tunnel. Its contents should be adapted to the different stages of a tunnel project, namely design, commissioning and operation. Before a tunnel is opened to traffic, the proper authorities must approve the safety documentation.

The PIARC report “Tools for Road Tunnel Safety Management” [10] describes useful tools to operate a tunnel safely, including the safety documentation.

6.2.6. Reassessment of tunnel safety

Figure 4, previous page shows more loops in case of possible refurbishment of old tunnels, the application of new technologies, a change in tunnel usage, new



de changement dans l'utilisation du tunnel, d'enseignements nouveaux tirés de résultats de contrôles ou d'incidents. Les résultats de la réévaluation de la sécurité doivent faire l'objet d'un rapport. Le dossier de sécurité doit être adapté pour prendre en compte toute nouvelle procédure concernant l'exploitation ou les interventions d'urgence.

6.2.7. Plans d'éducation et comportement des conducteurs

La *figure 4, page 62* montre également que des plans d'éducation pour tout tunnel futur ou en service devraient être élaborés afin de promouvoir un comportement sûr des conducteurs. Par exemple, le fait de garder des distances suffisantes dans un tunnel et de savoir que faire en cas de panne ou d'incident. Cet aspect mérite une attention permanente.

6.2.8. Résumé

Le *tableau 10, page suivante* présente un récapitulatif de tous les éléments d'une approche intégrée de la sécurité des usagers.

lessons learned from inspection results or incidents. The results of the re-assessment of the safety must be reported. The safety documentation must be adapted to reflect any new operational or emergency procedures.

6.2.7. Education plans and drivers behaviour

Figure 4, page 63 shows also that education plans for any future and in-service tunnels should be developed to promote safe driver behaviour. For instance, keeping enough distance between vehicles in a tunnel and knowing what to do in case of a breakdown or incident. This matter demands continuous attention.

6.2.8. Summary

Table 10, next page summarises the elements of an integrated approach to user safety.



Tableau 10 - Approche globale : infrastructure-exploitation-usagers-véhicules

Phase	Actions au cours de la vie d'un tunnel	Rapport dans	
PLANIFICATION	Infrastructure	<ul style="list-style-type: none"> • Comparer les alternatives pour la construction géométrique, la technologie de la communication, les équipements mécaniques et électriques • Conditions limites 	DOSSIER DE SÉCURITÉ
	Préparation aux cas d'urgence	<ul style="list-style-type: none"> • Identification des acteurs en matière de sécurité • Equipements d'atténuation, infrastructures internes et externes • Scénarios de danger. 	
	Utilisation du tunnel	<ul style="list-style-type: none"> • Estimer le nombre escompté de véhicules • Estimer le pourcentage de camions et de poids lourds. 	
	Appréciation de la sécurité	Les niveaux de sécurité cibles pour la sécurité interne, la sécurité externe, la sûreté et la sécurité sur le plan social sont-ils satisfaits?	
CONCEPTION	Infrastructure	Opérer des choix de conception pour la géométrie, la construction, les technologies de communication, les équipements mécaniques et électriques et l'agencement.	DOSSIER DE SÉCURITÉ
	Préparation aux cas d'urgence	Sélectionner l'équipement d'atténuation et établir des plans d'action en cas d'urgence.	
	Utilisation du tunnel	Vérifier la validité des hypothèses prises lors de la planification.	
	Appréciation de la sécurité	Réévaluer la sécurité sur la base d'informations plus poussées.	
CONSTRUCTION	Réaliser des plans de construction adéquats, et suivre les règles nationales en matière de santé et de sécurité. Impliquer tous les acteurs pertinents pour la sécurité dans le stade de la construction.	Plans de construction, règles de santé & de sécurité	

Table 10 - Holistic approach: infrastructure-operation-users-vehicles

Stage	Actions during the life of a tunnel	Report in	
PLAN	Infrastructure	<ul style="list-style-type: none"> • Compare alternatives for geometry construction, communication technology, mechanical and electrical equipment. • Boundary conditions 	Safety Documentation
	Emergency preparedness	<ul style="list-style-type: none"> • Identification of safety stakeholders • Mitigation equipment, internal and external infrastructure • Hazard scenarios. 	
	Use of the tunnel	<ul style="list-style-type: none"> • Assess the expected number of vehicles; • Assess the percentage of trucks and HGVs. 	
	Safety Assessment	Are target safety levels for internal safety, external safety, security and social safety met?	
DESIGN	Infrastructure	Make design choices for geometry, construction, communication technologies, mechanical and electrical equipment and layout.	Safety Documentation
	Emergency preparedness	Select mitigation equipment and make emergency response plans	
	Tunnel usage	Check the validity of the assumptions during planning.	
	Safety Assessment	Reassess the safety levels based on more refined information.	
CONSTRUCTION	Make proper building plans, and follow national health & safety regulations. Involve all relevant safety stakeholders in the construction stage.	Building Plans Health & Safety Regulations	



Phase		Actions au cours de la vie d'un tunnel	Rapport dans
EXPLOITATION	Gestion de l'infrastructure	Surveiller l'état de l'infrastructure, réaliser des travaux de maintenance, décider de l'éventuelle remise en état de tunnels anciens ou de l'application de nouvelles technologies. Décrire comment le personnel est formé.	Dossier de sécurité
	Réaction en cas d'urgence	Décrire comment l'information fournie par les systèmes de détection est vérifiée, comment les opérations sur place ont lieu, comment la protection des personnes après l'incident est notifiée et comment les mesures après l'incident sont prises.	
	Gestion du trafic	Décrire comment le trafic est régulé, comment les usagers sont avertis si nécessaire d'une perturbation du cours normal du trafic, comment le trafic est contrôlé et comment le personnel est formé.	
	Comportement des usagers	Plans d'éducation & comportement des conducteurs	
	Appréciation de la sécurité	L'effet du contrôle et de la maintenance sur la sécurité est évalué périodiquement.	

Stage		Actions during the life of a tunnel	Report in
OPERATION	Infrastructure management	Monitor the condition of the infrastructure, carry out maintenance, decide on possible refurbishment of old tunnels or on the application of new technologies. Describe how personnel are trained.	Safety Documentation
	Emergency response	Describe how information provided by detection systems is verified, how on-scene operations are done, how the protection of people after an incident is notified and how post-incident actions are taken.	
	Traffic management	Describe how traffic is controlled, how users are notified when necessary in the case of a disruption of the normal traffic course, how traffic is monitored and how personnel are trained.	
	User Behaviour	Education Plans & Drivers Behaviour	
	Safety Assessment	The effect of inspection and maintenance on safety is assessed periodically.	