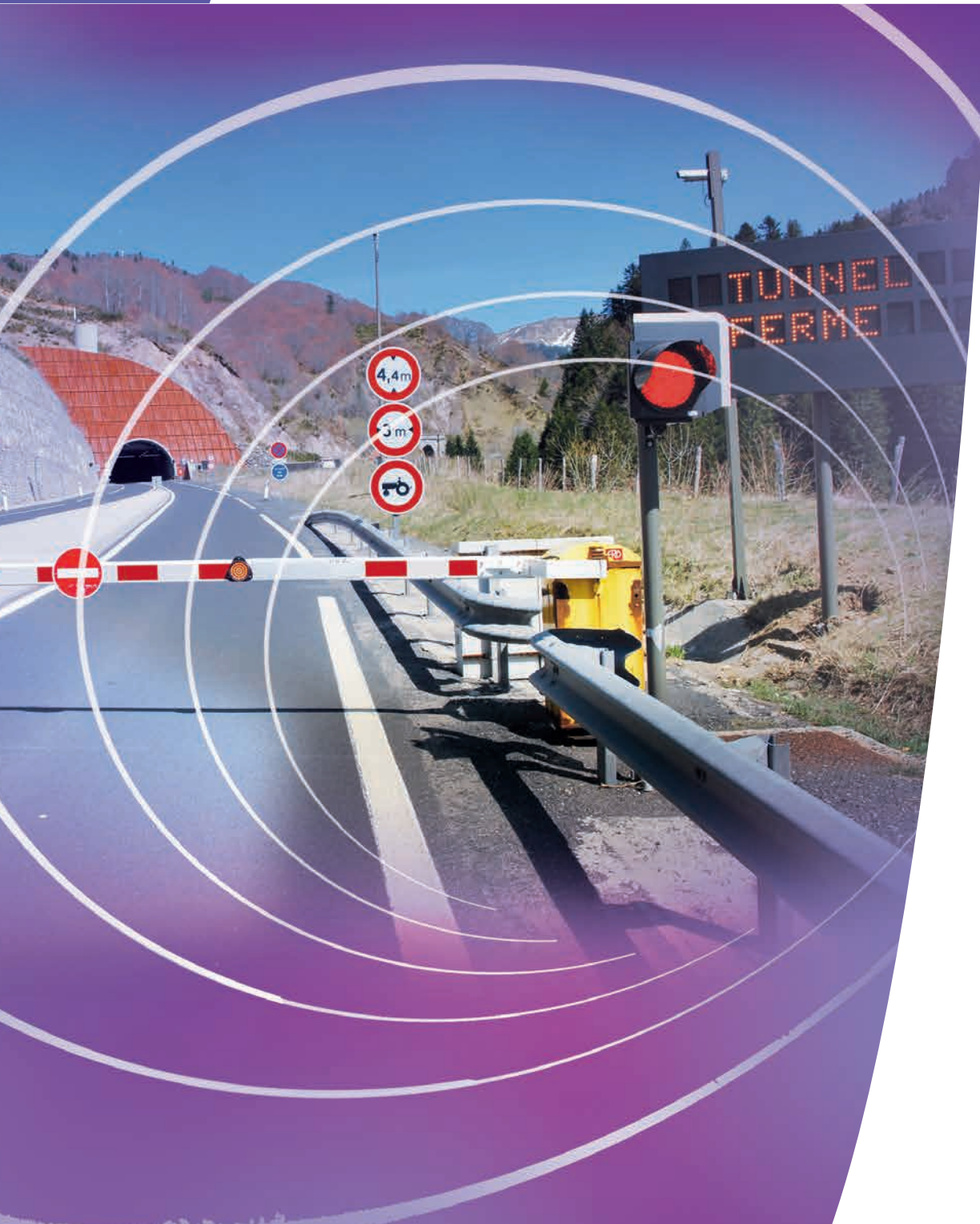


*Définition des fonctions de sécurité
Application aux modes d'exploitation
dégradée et aux conditions
minimales d'exploitation*





La sécurité des tunnels routiers repose sur des systèmes techniques, humains et organisationnels complexes, qui peuvent être l'objet de défaillances et conduire à une situation d'exploitation plus ou moins dégradée. Il importe donc de prendre en compte de façon préventive ces défaillances pour être assuré que la réponse opérationnelle soit effective et adaptée en cas d'événement accidentel.

Face à la diversité des équipements présents, une approche globale par fonctions de sécurité a été menée pour assurer une continuité d'exploitation tout en garantissant un niveau de sécurité satisfaisant aux usagers.

Cette note s'inscrit dans la continuité des fascicules du guide des dossiers de sécurité, notamment les fascicules 4 et 5 relatifs respectivement aux Etudes Spécifiques des Dangers (ESD) et au Plan d'Intervention et de Sécurité (PIS). Elle poursuit deux objectifs : contribuer aux réflexions concernant la fiabilité des systèmes et aider à élaborer les modes d'exploitation dégradée et les conditions minimales d'exploitation.

Table des matières

1. Introduction	3
2. Définition des grandes fonctions de sécurité et moyens de prévention et de protection	3
2.1 Les grandes fonctions de sécurité	3
2.2 Les moyens de prévention et de protection	3
3. Correspondance entre fonctions de sécurité et moyens	4
4. Moyens compensables et non compensables et lien avec les modes d'exploitation dégradée	6
4.1 Les moyens non compensables	6
4.2 Les moyens compensables	6
4.3 Les modes d'exploitation dégradée	6
5. Elaboration des conditions minimales d'exploitation (CME)	7
5.1 Elaboration des CME pour des moyens non compensables	7
5.2 Elaboration des CME pour des moyens compensables	7
6. Conclusion	8
Bibliographie	8

Avertissement : les notes d'information ont pour but de fournir une information sur une technique ou un problème précis, qui est nouveau ou insuffisamment traité par ailleurs. Le lecteur pourra y trouver des repères susceptibles de l'aider dans son activité. Le contenu et les éventuelles conclusions présentés ne doivent pas être considérés comme des recommandations du CETU. Bien que le maximum soit fait pour s'assurer de la fiabilité des sources utilisées, la responsabilité du CETU ou des auteurs de la note ne saurait être engagée en raison de l'éventuelle inexactitude ou imprécision des informations données.

1 Introduction

Les particularités de chaque tunnel, les spécificités des modes d'exploitation, la grande diversité des équipements installés (âge, caractéristiques, modalités de maintenance, etc ...), ainsi que la diversité des architectures des réseaux de communication et d'alimentation électrique font que l'on se trouve en présence de systèmes organisationnels et techniques complexes et différents d'un tunnel à l'autre. Il n'est ainsi pas aisé de définir une méthodologie pour caractériser les niveaux minimum de fiabilité des systèmes permettant de garantir le meilleur niveau de sécurité aux usagers.

Pour atteindre cet objectif, la première étape est d'introduire et de définir les fonctions de sécurité qui correspondent schématiquement aux actions génériques à assurer par l'exploitant pour garantir la sécurité des

usagers en tunnel. Une seconde étape consiste ensuite à identifier les moyens nécessaires à l'exploitant pour mettre en œuvre ces fonctions de sécurité. Enfin, la démarche aboutit à identifier comment chaque fonction de sécurité est assurée par des combinaisons de moyens.

Ce document s'inspire des pratiques constatées au travers de l'analyse des dossiers de sécurité des tunnels routiers français et s'appuie sur les fascicules 4 [1] et 5 [2] du guide des dossiers de sécurité du CETU. Ces fascicules permettent de clarifier la notion de sécurité en tunnel en ce qui concerne les événements à prendre en compte, l'identification des dangers, les modes dégradés et les Conditions Minimales d'Exploitation (CME).

2 Définition des grandes fonctions de sécurité et moyens de prévention et de protection

2.1 Les grandes fonctions de sécurité

Les fonctions de sécurité sont définies en cohérence avec les dangers, tels qu'identifiés dans l'annexe A du fascicule sur les études spécifiques des dangers [1], et leur prise en compte dans l'exploitation [2]. Elles correspondent à des objectifs et enjeux majeurs de la gestion de la sécurité. Elles permettent de rationaliser cette gestion de la sécurité. Certaines fonctions relèvent de la prévention, d'autres de la protection tandis que d'autres encore interviennent sur les deux registres.

Ces fonctions peuvent être regroupées en cinq grandes fonctions de sécurité :

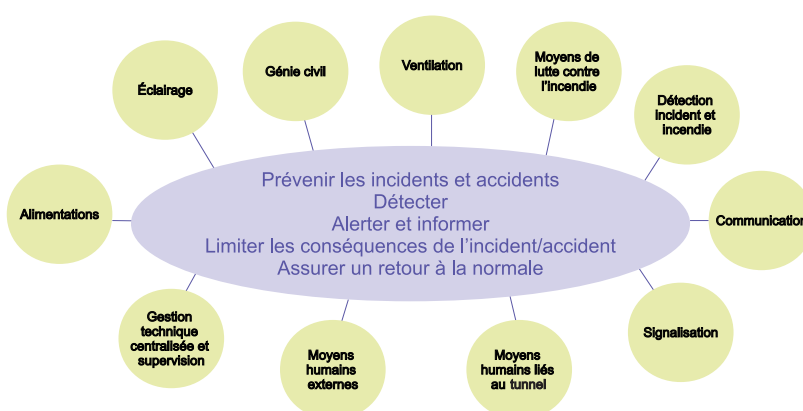
- prévenir les incidents et accidents,
- détecter,
- alerter et informer,
- limiter les conséquences de l'incident/accident,
- assurer un retour à la normale.

2.2 Les moyens de prévention et de protection

La mise en œuvre des fonctions nécessite des moyens humains et matériels.

Onze moyens ont été identifiés :

- Génie civil
- Gestion technique centralisée et supervision
- Alimentations
- Eclairage
- Ventilation
- Moyens de lutte contre l'incendie
- Détection incident et incendie
- Communication
- Signalisation
- Moyens humains liés au tunnel
- Moyens humains externes



Grandes fonctions de sécurité et moyens de prévention et de protection

Le tableau en page suivante explicite les grandes fonctions déclinées en fonctions ainsi que les moyens nécessaires à leur mise en œuvre. Il met en évidence que chaque fonction de sécurité nécessite que plusieurs moyens agissent simultanément. Réciproquement, chaque moyen concourt à une ou plusieurs fonctions de sécurité voire même à la totalité des fonctions. Il apparaît ainsi que le maintien en fonctionnement de certains moyens est essentiel pour le niveau de sécurité de l'ouvrage et conduit à des contraintes d'exploitation fortes en cas de défaillance.

3 Correspondance entre fonctions de sécurité et moyens

Fonctions de sécurité

F1 : prévenir les incidents/accidents

Moyens		F1-1	F1-2	F1-3	F1-4
		surveiller l'ouvrage, ses équipements, le trafic dans le tunnel	surveiller les conditions météorologiques, le trafic et l'environnement extérieur	assurer les conditions de conduite génératrices de confort et de sécurité	tenir les usagers informés des conditions de circulation
M1 : génie civil	M1-1	chaussée et bande d'arrêt d'urgence (BAU)			
	M1-2	trottoirs			
	M1-3	systèmes d'assainissement			
	M1-4	issues de secours – abris			
M2 : gestion technique centralisée et supervision	M2-1	capteurs et actionneurs			
	M2-2	réseau de terrain			
	M2-3	automate programmable industriel (API)			
	M2-4	réseau de transport et transmission			
	M2-5	poste de contrôle commande (PCC – supervision)			
M3 : alimentations	M3-1	alimentation électrique extérieure			
	M3-2	sous-stations électriques et tableau général basse tension (TGBT)			
	M3-3	alimentation électrique secourue sans coupure			
	M3-4	alimentation en eau			
M4 : éclairage	M4-1	éclairage normal			
	M4-2	éclairage de sécurité			
	M4-3	éclairage des dispositifs de sécurité-évacuation			
	M4-4	plots de jalonnement			
M5 : ventilation	M5-1	sanitaire			
	M5-2	désenfumage			
	M5-3	issues de secours – abris			
M6 : moyens de lutte contre l'incendie	M6-1	extincteurs			
	M6-2	conduite et poteaux incendie			
M7 : détection d'incident et d'incendie	M7-1	système de vidéo-surveillance			
	M7-2	détection automatique d'incident (DAI)			
	M7-3	opacimètres et capteurs de gaz			
	M7-4	anémomètres			
	M7-5	détection incendie (locaux techniques)			
	M7-6	détection incendie (tunnel)			
	M7-7	contacts d'ouverture et décrochés extincteur			
	M7-8	boucles de comptage			
M8 : communication	M8-1	réseau d'appel d'urgence (RAU)			
	M8-2	retransmission radio exploitant et secours			
	M8-3	retransmission radio FM usagers et insertion de messages			
	M8-4	retransmission téléphones portables			
M9 : signalisation	M9-1	feux d'arrêt			
	M9-2	barrières de fermetures			
	M9-3	panneaux à messages variables (PMV)			
	M9-4	signaux d'affectation de voie			
	M9-5	signalisation des dispositifs de sécurité et d'évacuation			
M10 : moyens humains liés au tunnel	M10-1	opérateur			
	M10-2	patrouilles			
	M10-3	équipe de diagnostic			
	M10-4	pompiers internes			
M11 : moyens humains externes	M11-1	services de secours			
	M11-2	forces de l'ordre			
	M11-3	centre de gestion du trafic			

4 Moyens compensables et non compensables et lien avec les modes d'exploitation dégradée

L'analyse du tableau précédent permet de distinguer deux natures de moyens selon que l'on peut ou non compenser leur dysfonctionnement en recourant à l'usage de dispositions d'une autre nature.

Si pour certains moyens l'appartenance à l'une ou l'autre famille ne fait pas de doute, d'autres moyens peuvent être rattachés à l'une ou l'autre selon les circonstances particulières de chaque ouvrage.

La définition des moyens compensables (4.1) et non compensables (4.2) facilite l'élaboration des modes d'exploitation dégradée qui doivent être définis au moment de l'élaboration du Plan d'Intervention et de Sécurité (PIS).

4.1 Les moyens non compensables

Les moyens considérés ici sont ceux dont le dysfonctionnement ou les indisponibilités conséquentes ne peuvent pas être compensés par l'usage de dispositions d'une autre nature. De ce fait, leur indisponibilité ne permet plus d'assurer correctement une ou plusieurs fonctions de sécurité et conduit le plus souvent à fermer le tunnel à tout ou partie du trafic.

Entrent notamment dans cette catégorie tous les moyens qui sont indispensables à une grande partie, voire la totalité, des fonctions de sécurité : les alimentations en énergie électrique, la gestion technique centralisée, les opérateurs du poste contrôle commande, etc.

Certains moyens, bien que contribuant à une seule fonction, doivent aussi être considérés comme non compensables, par exemple le désenfumage.

Les équipements concernés sont généralement dimensionnés en prévoyant des niveaux de redondance⁽¹⁾, ce qui permet de disposer de solutions de recours.



Exemple de moyen non compensable : système de ventilation de désenfumage

4.2 Les moyens compensables

Il s'agit des moyens dont les dysfonctionnements ou les indisponibilités peuvent être temporairement compensés par d'autres moyens ou par des mesures d'exploitation. Ils contribuent à une fonction de sécurité, mais celle-ci peut être assurée d'une autre façon. Leur défaillance conduit à mettre en place des mesures compensatoires et à engager des actions de maintenance⁽²⁾ courantes ou accélérées.

Peuvent par exemple entrer dans cette catégorie, selon les cas : les moyens de communication vers l'utilisateur tels la radio, les signaux d'affectation de voies et les PMV, des moyens de détection tels les bornes d'appel d'urgence, les caméras de vidéo-surveillance, la détection automatique d'incident, les capteurs de pollution (opacimètres, capteurs de monoxyde de carbone, capteurs d'oxydes d'azote), etc.



Exemple de moyen compensable : borne d'appel d'urgence

4.3 Les modes d'exploitation dégradée

La définition d'un mode d'exploitation dégradée conduit à examiner :

- la nature de la déficience (qualification et quantification de la perte de fonctionnalité admissible pour une famille d'équipements), en précisant éventuellement la localisation de l'équipement (pour éviter la perte simultanée de plusieurs systèmes proches) ;
- les mesures compensatoires susceptibles d'être mises en œuvre : autre équipement, moyens humains (équipe de première intervention pour agir, patrouilles, astreintes diverses, etc, ...) ou restriction de trafic ;
- la durée au-delà de laquelle le mode d'exploitation dégradée ne pourra plus être toléré.

Les trois critères précédents permettent de définir des seuils au-dessous desquels il faut fermer l'ouvrage.

(1) - La redondance consiste à doubler un équipement afin de prévenir une défaillance de l'un d'entre eux.

(2) - La maintenance vise à maintenir ou à rétablir l'élément dans un état spécifié afin que celui-ci soit en mesure d'assurer la fonction qui lui est propre.

Les modes d'exploitation dégradée du 4.3 vont conduire à la qualification des Conditions Minimales d'Exploitation (CME) au sens du fascicule 5 du guide des dossiers de sécurité.

5.1 Elaboration des CME pour des moyens non compensables

Habituellement, un équipement non compensable est redondé, plus ou moins complètement, ce qui permet que sa contribution aux fonctions de sécurité puisse être relayée en cas de défaillance. Ces dispositions sont établies lors de la phase de conception.

Plusieurs niveaux de redondance sont alors possibles. On peut en effet avoir un dispositif de secours qui possède les mêmes performances que le dispositif normal (exemple : une alimentation de puissance normale et une alimentation de puissance de secours qui prendra le relais en cas de défaillance), une redondance quasi-complète (exemple : une alimentation de puissance normale et une alimentation de puissance de secours qui ne prendra le relais que d'une partie de la puissance nominale en cas de défaillance), ou encore une redondance partielle (exemple : pour une installation d'extraction constituée par plusieurs ventilateurs, un ventilateur d'extraction supplémentaire permettra via un jeu de registres d'assurer le secours en cas de défaillance de l'un d'entre eux). La mise en place d'une redondance partielle conduit à un mode d'exploitation dégradée ce qui peut imposer des mesures compensatoires plus ou moins importantes.

L'élaboration d'une CME pour un équipement non compensable doit tenir compte du niveau de redondance mis en œuvre :

- S'il existe un dispositif de secours qui offre des performances identiques ou quasi-identiques au dispositif normal, la CME est relativement simple à élaborer dans la mesure où la défaillance de l'équipement conduit à activer la redondance, totale ou partielle. Si la défaillance initiale perdure et si, simultanément, le dispositif de redondance est défaillant, alors le tunnel doit être fermé.

- Si la redondance est partielle, la CME doit être élaborée en prenant en compte les performances offertes par le dispositif lorsque la redondance est activée.

Prenons l'exemple d'une installation de ventilation longitudinale conçue pour lutter contre un incendie de poids lourd et constituée par plusieurs accélérateurs. On définit le nombre minimal d'accélérateurs nécessaires pour lutter contre un feu de PL (Sp), et le nombre minimal nécessaire pour lutter contre un feu de VL (Sv). On obtient alors deux modes d'exploitation dégradée et un cas de fermeture :

• Premier mode, un ou plusieurs accélérateurs sont défaillants, mais le nombre d'accélérateurs en état est supérieur à Sp ; l'ouvrage reste autorisé aux PL et aux VL.

• Second mode, un ou plusieurs accélérateurs sont défaillants, mais le nombre d'accélérateurs en état est supérieur à Sv et inférieur à Sp ; l'ouvrage est autorisé uniquement aux VL.

• Fermeture de l'ouvrage à tout type de véhicule dès lors que le nombre d'accélérateurs en état est inférieur à Sv.

Chaque fois que possible, on privilégie les dispositifs de redondance susceptibles d'être activés de manière instantanée et/ou automatique. Toutefois, dans certaines circonstances, la mise en œuvre de la redondance peut conduire à une fermeture ponctuelle de l'ouvrage.

Deux remarques méritent d'être formulées concernant la redondance. La première est relative aux conditions de mise en œuvre : il faut absolument éviter les modes communs (exemple : la présence de deux réseaux de transmission de données distincts supportés par un même câble à fibres optiques). La seconde remarque porte sur la maintenance. Un dispositif de redondance est, par nature, peu souvent utilisé. Il convient donc de prévoir des essais et des tests fonctionnels réguliers pour s'assurer de son bon fonctionnement.

5.2 Elaboration des CME pour des moyens compensables

Par nature, un équipement compensable n'a pas besoin de redondance. Par conséquent, en cas de défaillance, il va falloir remplir autrement la fonction de sécurité qu'il assurait sur tout ou partie de l'ouvrage. Cela conduit à deux interrogations : quelle était la ou les fonction(s) assurée(s) et quels sont le ou les équipement(s) qui peuvent reprendre cette fonction en lieu et place de celui qui est défaillant ?

Le tableau du chapitre 3 met en évidence 5 fonctions de sécurité essentielles et onze moyens pour les mettre en œuvre.

Dans certains cas, la réponse aux deux questions évoquées ci-dessus est assez aisée, notamment si un seul équipement est défaillant (exemple : la panne du contact d'ouverture de porte dans une niche de sécurité peut être compensée par l'affichage permanent de la caméra qui visualise cette niche, sur les écrans du Poste de Contrôle Commande). La correspondance entre les cinq fonctions et les onze moyens est utile pour déterminer les moyens de compensation. Le tableau permet soit d'apprécier la contribution d'un moyen aux diverses fonctions de sécurité, soit d'identifier le ou les moyens qui sont en mesure de remplir une fonction de sécurité donnée.

Un équipement donné (exemple : une caméra, une issue de secours) est « influent » sur un espace géographiquement limité et son implantation est le plus souvent modulaire. Par conséquent, d'un point de vue pratique, l'utilisation de ce tableau doit donc être envisagée en raisonnant par tronçons homogènes de tunnel. Pour chaque tronçon élémentaire de tunnel ainsi défini, cette approche de réflexion conduit à simplifier le raisonnement en appliquant la grille du chapitre 3. Comme dans le chapitre précédent (traitant des équipements non compensables), différentes méthodes d'analyse de risques peuvent être utilisées pour conduire cette réflexion. En pratique, un tronçon élémentaire est souvent une portion d'ouvrage d'une longueur supérieure à 300 mètres et inférieure à 500 mètres comprenant une ou plusieurs issues intermédiaires ; cette portion étant bornée par deux issues de secours ou par une extrémité de l'ouvrage et une issue de secours.

À titre indicatif, cette démarche a été appliquée par la DiRIF (exploitant des tunnels du réseau national en Île-de-France) qui a retenu les principes décrits ci-dessus. Cette réflexion a permis d'élaborer des CME pour des moyens compensables ou non compensables.

6 Conclusion

Cette première étape a permis de clarifier quelles sont les grandes fonctions de sécurité qu'il faut assurer dans un tunnel routier, puis de mettre en regard les moyens techniques et humains qui permettent de les assurer, afin de pouvoir établir la contribution de chaque moyen aux objectifs de sécurité et à la continuité de l'exploitation.

Le présent document retient cinq grandes fonctions pour la sécurité d'un tunnel routier :

- prévenir les incidents/accidents,
- détecter,
- alerter et informer,
- limiter les conséquences de l'incident/accident,
- assurer un retour à la normale.

A ces fonctions, sont associés des moyens de prévention et de protection. Ceux-ci sont aussi bien des dispositifs techniques que des moyens humains et organisationnels et peuvent être décomposés en onze moyens.

Les moyens nécessaires pour mettre en œuvre les fonctions de sécurité n'ont pas tous le même degré d'importance.

Le croisement des fonctions à assurer et des moyens disponibles a permis de classer ces derniers en deux familles. La première regroupe les moyens non compensables, la deuxième les moyens compensables par d'autres dispositions. Le plus souvent, les moyens non compensables devront être doublés (ou redondés) afin de garantir une sécurité et une disponibilité optimales du tunnel.

La démarche engagée a permis de préciser les CME pour les moyens compensables et non compensables.

Au final, le tableau de croisement doit permettre au gestionnaire d'identifier sur quels moyens il devra porter une attention particulière afin de garantir à tout instant une circulation des usagers sous ouvrage dans de bonnes conditions de sécurité, de fluidité d'écoulement et de confort.

Bibliographie

[1] Centre d'Études des Tunnels, Guide des dossiers de sécurité des tunnels routiers. Fascicule 4 : les études spécifiques des dangers (ESD), 2003

[2] Centre d'Études des Tunnels, Guide des dossiers de sécurité des tunnels routiers. Fascicule 5 : le Plan d'Intervention et de Sécurité (PIS), 2006

Auteurs : Jérémie BOSSU, Eric CHARLES, Didier LACROIX, Thierry MANUGUERRA, Jean-Claude MARTIN, Hélène MONGEOT, Marc TESSON et Christophe WILLMANN (CETU).
Contact : eeg.cetu@developpement-durable.gouv.fr

Centre d'Études des Tunnels

25 avenue François Mitterrand

Case n°1

69674 BRON - FRANCE

Tél. 33 (0)4 72 14 34 00

Fax. 33 (0)4 72 14 34 30

cetu@developpement-durable.gouv.fr

