

---

Code UIC

**779-9**

**R**

*Projet 24.09.02*

*1<sup>ère</sup> édition, Septembre 2002*  
*Original*

**Sécurité dans les tunnels  
ferroviaires**

*Safety in Railway Tunnels*

*Sicherheit in Eisenbahntunnel*

---

## SOMMAIRE

SommaireII

Résumé1

1 Mission2

2 Conclusions3

2.1 Aspects généraux de la sécurité dans les tunnels3

2.2 Mesures de sécurité recommandées pour les tunnels neufs4

2.2.1 Prévention des incidents4

2.2.2 Réduction de l'impact4

2.2.3 Simplification de l'évacuation4

2.2.4 Simplification des secours5

2.3 Mise en œuvre dans les tunnels existants / réouverts à la circulation5

3 Récapitulation des mesures de sécurité7

Définitions10

### Annexes

A Remarques préliminaires

B Infrastructure

C Matériel roulant

D Exploitation

E Mesures supplémentaires pour les tunnels très longs

---

## RESUME

La présente fiche récapitule les mesures possibles, prises par les entreprises ferroviaires européennes, pour augmenter la sécurité dans les tunnels. Ces mesures reflètent leurs meilleures pratiques, elles sont décrites de façon détaillée, évaluées en termes d'efficacité (coût / réduction du risque) et elles sont accompagnées de recommandations.

La présente fiche couvre:

- Les tunnels ferroviaires neufs et existants d'une longueur de plus de 1 km
- Le trafic passagers et fret et les conditions normales d'exploitation (jusqu'à 200 trains/jour)
- Les mesures prises sur le plan de l'infrastructure, du matériel roulant et de l'exploitation.

Elle ne couvre pas les quais et les métros en zone urbaine.

Dans un tunnel, les risques essentiels sont liés aux incendies, collisions et déraillements. Du fait de leurs conséquences catastrophiques, le cas échéant, les incendies à bord des rames voyageurs sont considérés comme un risque majeur, les mesures proposées se concentrent sur ce type d'accidents.

La sécurité dans les tunnels est le résultat d'une combinaison optimale de mesures prises sur le plan de l'infrastructure, de l'exploitation et du matériel roulant. Les principes généraux des réseaux peuvent être récapitulés comme suit:

1. Prévention des accidents
2. Réduction de l'impact des accidents
3. Simplification de l'évacuation
4. Simplification du sauvetage.

L'ordre d'énumération de ces mesures reflète leur efficacité (ordre décroissant), notamment dans le cas d'un incendie.

Dans la mesure où la sécurité est régie par les autorités nationales, les exigences de ces autorités prévalent. Les règles d'interopérabilité sont également à prendre à compte. Les recommandations de la présente fiche s'appliquent subsidiairement aux exigences et aux réglementations mentionnées précédemment.

# 1 MISSION

En 2001-2002, un groupe de travail constitué de 14 gestionnaires d'infrastructure et entreprises ferroviaires, réunissant les expériences des propriétaires et des exploitants de la plupart des tunnels ferroviaires européens, a récapitulé les mesures "infrastructure", "matériel roulant" et "exploitation" permettant d'améliorer la sécurité à l'intérieur des tunnels. Chacune de ces mesures est décrite de façon détaillée, du point de vue de son rapport coût/efficacité, et elle est accompagnée d'une recommandation. La définition des termes concerne la mesure de sécurité même, elle n'indique pas qui est responsable de la mesure<sup>1)</sup>.

Dans la mesure où la sécurité est régie par les autorités nationales, les exigences de ces autorités prévalent. Les règles d'interopérabilité sont également à prendre à compte. Les recommandations de la présente fiche s'appliquent subsidiairement aux exigences et aux réglementations mentionnées précédemment.

Objet de la fiche:

- Mesures de sécurité pour tunnels uniquement : les règles générales et les normes qui ont un impact sur la sécurité des tunnels ne sont pas traitées.
- Tunnels ferroviaires: n'inclut pas les quais souterrains ni les chemins de fer / métros en zone urbaine.
- Longueur du tunnel: tunnels de plus de 1 km. Les recommandations de la présente fiche pourraient s'appliquer / être adaptées à des tunnels plus courts, tandis que pour les tunnels plus longs, des mesures de sécurité supplémentaires pourraient être nécessaires pour respecter le standard de sécurité requis, sans limitation de l'interopérabilité du matériel roulant (Annexe E).
- Les tunnels ferroviaires avec lignes électrifiées et non électrifiées sont pris en compte.

Les recommandations sont basées sur les hypothèses et conditions supplémentaires suivantes:

- le tunnel fait partie d'un réseau ferroviaire (vision « système »)
- tunnels à trafic mixte (trains voyageurs et trains marchandises, y compris le transport combiné)
- conditions d'exploitation moyennes (valeur moyenne d'environ 100 trains par jour et par sens, par ex.)
- importante couverture de roche/terre

Si les conditions relatives à un tunnel spécifique sont différentes, il peut être judicieux d'adapter les recommandations, compte tenu de la situation locale.

Des mesures de sécurité supplémentaires peuvent s'avérer nécessaires dans les cas suivants:

- tunnels sous-marins ~~sea~~ (en U)
- transport de poids lourds sur navettes (Tunnel sous la Manche, par ex.).

Les mesures décrites dans la présente fiche concernent essentiellement les tunnels neufs / planifiés, mais des recommandations en sont également déduites pour les tunnels existants et réouverts à la circulation.

---

<sup>1)</sup> Même si un GI est responsable d'une mesure "exploitation", celle-ci est classée parmi les mesures "exploitation" et non parmi les mesures "infrastructure".

## 2 CONCLUSIONS

### 2.1 Aspects généraux de la sécurité dans les tunnels

Dans les tunnels, trois principaux types d'accidents peuvent se produire: déraillements, collisions et incendies. D'autres accidents typiques pour les lignes de pleine voie sont pratiquement impossibles dans les tunnels (collisions aux croisements de voies ou avec des obstacles sur les voies tels que voitures particulières, arbres, etc. et avec des trains de manœuvre, ou déraillements dus à des catastrophes naturelles telles que inondations, avalanches). De ce fait, et vu les conditions d'exploitation plus simples dans les tunnels, la fréquence des accidents par train/kilomètre est plus faible qu'en pleine voie ou à proximité des gares.

Contrairement aux incendies en pleine voie, les incendies dans les tunnels sont critiques. Dans l'environnement fermé du tunnel, leurs conséquences peuvent être catastrophiques, de sorte que de nombreuses mesures de sécurité spécifiques aux tunnels consistent à réduire les conséquences en cas d'incendie.

En raison de conséquences pouvant être catastrophiques dans les tunnels, les risques sont mieux perçus par le public que dans le cas d'incidents fréquents et à faibles conséquences (accidents aux passages à niveau par ex.). C'est ce que l'on appelle une « aversion au risque » qu'il est important de prendre en compte lors de l'évaluation des mesures de sécurité. De ce fait, il peut être justifié de prendre des mesures de sécurité plus importantes que si l'on ne considérait que le nombre de victimes <sup>2)</sup>.

La sécurité dans les tunnels est le résultat d'une combinaison optimale de mesures prises sur le plan de l'infrastructure, de l'exploitation et du matériel roulant. Les principes généraux des réseaux peuvent être récapitulés comme suit:

1. Prévention des accidents
2. Réduction de l'impact des accidents
3. Simplification de l'évacuation
4. Simplification du sauvetage.

L'ordre d'énumération de ces mesures reflète leur efficacité (ordre décroissant), notamment dans le cas d'un incendie.

L'application des mesures décrites dans la présente fiche ne garantit pas obligatoirement une sécurité optimale dans les tunnels ferroviaires. Ces mesures sont à considérer dans le contexte d'un plan de sécurité cohérent, adapté aux conditions locales.

L'augmentation de la sécurité dans les tunnels peut être extrêmement chère et la fiche ne devrait pas conduire les réseaux à investir dans les tunnels, au détriment d'autres projets "sécurité", à moins de la démonstration d'une meilleure sécurité "système".

---

<sup>2)</sup> La prise en compte de l'aversion au risque lors de la décision est très différente d'un pays à l'autre (faut-il en tenir compte et dans quelle mesure ?).

## **2.2 Mesures de sécurité recommandées pour les tunnels neufs**

Sur la base de ces recommandations, il est possible de définir une série de mesures de sécurité pour les infrastructures, l'exploitation et le matériel roulant (mesures préventives et mesures de réduction de l'impact d'un accident ; simplification de l'évacuation et des secours). Un incendie à bord d'un train voyageurs est un risque majeur et spécifique aux tunnels, de sorte que les mesures définies se concentrent sur ce type d'accident.

### **2.2.1 Prévention des incidents**

#### ***Mesures « infrastructure »***

Les chemins de fer ont toujours concentré leurs efforts sur la prévention des accidents. La plupart de ces mesures ne sont pas spécifiques aux tunnels, elles sont bénéfiques à la sécurité du système ferroviaire dans son ensemble (contrôle de vitesse et système de signalisation (I-1), radio sol/train (I-2)). La maintenance systématique des voies et tunnels (I-9/I-11) et l'optimisation de la disposition des aiguillages et autres discontinuités de la voie (I-8) aident à prévenir les incidents, elles sont donc recommandées.

#### ***Mesures « matériel roulant » (Prévention des incendies sur le matériel roulant)***

Sont recommandées les mesures de protection contre les incendies telles que les mesures constructives et la conception des véhicules pour empêcher un incendie de se déclarer / de se propager, l'utilisation de matériaux ne générant pas de substance toxique ou de grande quantité de fumée en cas d'incendie (R-1). Ces aspects devraient être intégrés systématiquement dans les spécifications relatives au matériel roulant neuf et au réaménagement du matériel existant.

#### ***Mesures « exploitation »***

Les mesures d'exploitation telles que les règles pour l'exploitation mixte (O-1) ou le transport de marchandises dangereuses (O-2) sont recommandées: lors de l'optimisation des pratiques d'exploitation, il convient d'éviter autant qu'il est raisonnable de le faire la rencontre de trains de marchandises (marchandises dangereuses notamment) et de voyageurs.

### **2.2.2 Réduction de l'impact**

Tout train devrait être doté d'un équipement d'extinction pour lutter contre l'incendie (R-12), pour le cas où, malgré toutes les mesures préventives prises, un incendie se déclare à bord. En outre, il devrait disposer d'une liaison fiable pour la communication avec le centre d'exploitation (I-2). Du point de vue de l'exploitation, des mesures devraient permettre d'empêcher d'autres trains de pénétrer dans le tunnel (O-10).

En cas d'incendie, la stratégie générale pour les tunnels d'une longueur jusqu'à 15 km environ consiste à faire sortir le train du tunnel pour réduire les conséquences de l'incendie <sup>3)</sup>. La neutralisation du frein d'urgence et le maintien de la capacité de mouvement (R-11) constituent des exigences cruciales dans cette phase de l'accident. Le train devrait pouvoir continuer de rouler le plus longtemps possible en cas d'incendie (au moins 15 minutes). Ce but peut être atteint par une conception adéquate du véhicule et par l'utilisation de matériaux appropriés.

### **2.2.3 Simplification de l'évacuation**

---

<sup>3)</sup> Pour les tunnels plus longs, d'autres stratégies peuvent s'avérer plus appropriées.

Si malgré les mesures « matériel roulant » mentionnées, le train venait à s'arrêter à l'intérieur du tunnel, il serait vital que les personnes à bord puissent quitter le train aussi rapidement que possible et se réfugier en un lieu sûr (concept des secours autonomes). De ce fait, les véhicules doivent être conçus de manière à permettre l'évacuation grâce à un équipement d'évacuation adéquat (R-20). Durant la première phase d'un accident, les services de secours ne sont pas encore sur le lieu du sinistre, de sorte que seul le personnel de bord peut aider à l'évacuation des voyageurs. Une information appropriée des voyageurs (O-20) et une formation adéquate du personnel de bord (O-21) sont donc décisifs. Pour pouvoir alerter rapidement le centre d'exploitation et assurer l'intervention rapide des services de secours, il faut des moyens de communication fiables (I-42).

L'un des aspects clés de tout concept de sécurité dans les tunnels réside dans le fait de pouvoir atteindre un lieu sûr en cas d'incendie. Pour répondre à cette exigence, il faudrait que le tunnel ait des chemins d'évacuation avec main courante et indication du sens d'évacuation et des distances (I-40), et qu'il soit équipé d'un éclairage de secours suffisant et fiable (I-41). La distance entre deux places sûres ne devrait pas dépasser 1000 m (I-43).

#### **2.2.4 Simplification des secours**

Durant la deuxième phase d'un accident, les services de secours ont atteint le lieu de l'accident par les entrées du tunnel et/ou par les accès de secours (I-61). Ils portent secours aux victimes et les aident pour l'évacuation. Suite aux incidents survenus dans les tunnels au cours des dernières années, la demande du public et des services de secours en faveur de mesures de secours efficaces a considérablement augmenté. Pour permettre des secours rapides et efficaces, des mesures sont nécessaires et donc recommandées :

- Mise à disposition d'équipements de secours (O-33) et de mise à la terre (I-60)
- Bon accès à l'entrée et – si possible – aux sorties du tunnel (I-61) avec zones de secours (I-63)
- Moyens de communication fiables, alimentation en courant électrique et eau à l'intérieur du tunnel (différents concepts possibles, alimentation mobile et fixe; I-64 – 67)

Les services de secours doivent pouvoir se fier aux plans d'urgence et de secours (O-30) spécialement préparés pour un tunnel donné. Pour assurer un maximum d'efficacité des services de secours, les exercices réguliers dans les tunnels (O-31) sont très importants.

### **2.3 Mise en œuvre dans les tunnels existants / réouverts à la circulation**

La plupart des séries de mesures « infrastructure » recommandées précédemment exigent une transformation des tunnels existants qu'il serait bon d'intégrer dans le cycle de maintenance / rénovation normal du tunnel. Du fait des possibilités souvent limitées dans les tunnels existants, cette transformation correspond plutôt à une tâche d'optimisation.

La décision relative à la transformation du tunnel doit tenir compte de la situation locale, c'est-à-dire du risque spécifique d'un tunnel donné et de la possibilité de prendre des mesures de sécurité supplémentaires. Les mesures prises doivent être le résultat d'une évaluation minutieuse.

Dans les tunnels existants, il n'est en général pas possible de répondre à l'exigence d'une distance inférieure à 1000 m jusqu'à un lieu sûr. Dans ce cas, deux stratégies doivent être examinées :

- Amélioration des conditions d'évacuation à pied dans le tunnel et réduction de la distance d'évacuation par la construction de sorties de secours ou de lieux de refuge sûrs (sorties verticales ou autres), si la situation s'y prête bien (concept de sécurité mettant l'accent sur l'évacuation)
- Mise à disposition de moyens de secours / transport pour l'évacuation des personnes (véhicules ferroviaires ou routiers pour les secours, I-69/70), là où la distance d'évacuation ne peut être réduite (concept de sécurité mettant l'accent sur les secours)

D'autres mesures "infrastructure" (équipements de secours, par ex.) et "exploitation" sont liées à des tunnels spécifiques, indépendamment des mesures de réaménagement. Celles-ci peuvent être prises à tout moment, selon l'évaluation du risque spécifique et des plans de sécurité.

Les mesures les plus prometteuses sont celles liées au matériel roulant, à l'information des voyageurs et à la formation du personnel de bord, car elles profitent directement à tous les tunnels (existants et neufs); Ces mesures sont souvent spécifiées dans les fiches UIC et les Spécifications Techniques d'Interopérabilité (STI) de l'UE, elles doivent être mises en œuvre au plan national ou au niveau des entreprises.



### 3 RECAPITULATION DES MESURES DE SECURITE

Les tableaux ci-dessous contiennent une classification d'un certain nombre de mesures de sécurité:

Symbole	Classification
+	La mesure devrait être efficace (présenter un bon rapport coût / bénéfice) du point de vue de la sécurité.
0	La mesure peut être efficace du point de vue de la sécurité, dans certaines conditions (selon la situation locale ou la faisabilité dans les tunnels existants, etc.)
-	Il est peu probable que la mesure présente un bon rapport coût / bénéfice du point de vue de la sécurité.

Tableau 1: Classification des mesures

Pour la classification, divers aspects tels que l'impact sur la sécurité, les coûts (investissements, maintenance, exploitation) ou sur l'exploitation ont été pris en considération. Si une mesure de sécurité n'est pas classée parmi les mesures importantes, cela ne signifie pas qu'elle n'a pas d'impact sur la sécurité. Même si la réduction du risque est élevée, il se peut que la mesure soit chère et que son rapport coût/efficacité soit faible. Les mesures décrites sont à considérer comme des orientations (guide) et non comme des règles strictes.

Les tableaux de classification ci-après donnent une vue d'ensemble assez approximative. Pour une définition détaillée des mesures et des recommandations, voir annexes B à E. Les mesures sont indiquées séparément pour les tunnels neufs (NT) et les tunnels existants (ET). Des écarts par rapport à ces mesures peuvent être judicieux dans un cas spécifique (tunnel court, par ex.).

Infrastructure (I)		NT	ET	
Prévention des incidents	I-1	Contrôle de vitesse / Système de signalisation	0	0
	I-2	Radio sol/train : Centre d'exploitation – Personnel des trains – Voyageurs <sup>1</sup>	+	0
	I-3	Détection des trains (compteurs d'essieux, circuits de voie)	+	0
	I-4	Contrôle des trains (freins bloqués, boîtes chaudes)	+	+
	I-5	Emplacement des aiguillages	+	+
	I-6	Inspection des voies	+	+
	I-7	Contrôle d'accès (Sûreté)	0	0
	I-8	Inspection des tunnels	+	+
Réduction de l'impact	I-20	Deux tunnels à voie unique	0	-
	I-21	Section transversale des tunnels à double voie	0	-
	I-22	Protection contre le feu des structures	+	0
	I-23	Détection d'un incendie, de fumée et de gaz dans un tunnel	0	0
	I-24	Systèmes d'extinction (sprinkler ou similaire)	0	0
	I-25	Systèmes d'extraction de la fumée / de ventilation	0	-
	I-26	Systèmes de drainage des voies (drainage et bassin de retenue)	+	-

Simplification de l'évacuation	I-40	Chemins d'évacuation (itinéraires, mains courantes, marquages)	+	+
	I-41	Eclairage / éclairage de secours à l'intérieur des tunnels	+	+
	I-42	Appareils téléphoniques d'urgence / moyens de communication	+	+
	I-43	Distances d'évacuation	0	0
	I-44	Sorties / Accès verticaux	0	0
	I-45	Sorties / Accès latéraux	0	0
	I-46	Rameaux de communication	0	0
	I-47	Galerie parallèle de service et de sécurité	0	0
Simplification des secours	I-60	Dispositif de mise à terre	+	+
	I-61	Accès à l'entrée et aux sorties du tunnel	+	+
	I-62	Voies accessibles aux véhicules routiers	-	-
	I-63	Zones de secours aux entrées ou sorties du tunnel	+	0
	I-64	Alimentation en eau (aux points d'accès et à l'intérieur du tunnel)	+	0
	I-65	Alimentation en courant électrique pour les services de secours	+	+
	I-66	Installation radio pour les services de secours	+	+
	I-67	Fiabilité des installations électriques (résistance au feu, autonomie)	+	0
	I-68	Système de contrôle	0	-
	I-69	Véhicules ferroviaires pour les secours (trains de secours pour tunnels)	0	0
I-70	Véhicules rail/route pour les secours	0	0	

**Tableau 2: Mesures « Infrastructure »**  
*(The explanatory introduction contained in the February 2002 report is essential to gain a good understanding of the following tables: I propose to re-introduce it Measures I-5, I-6 etc that have been deleted: please explain why they have been removed. Given that the leaflet should reflect railways' best practice, I see two reasons to withdraw measures: if they are not applied in practice, and if they do not contribute to safety. PZ)*

Matériel roulant (R)		NT	ET
Prévention des incidents	R-1 Mesures de protection contre les incendies (charge d'incendie, prévention de la propagation du feu)	+	+
	R-2 Détection d'un incendie à bord (rames automotrices et / ou voitures)	0	0
Réduction de l'impact	R-10 Indicateurs de déraillement à bord du train	0	0
	R-11 Neutralisation du freinage d'urgence / Maintien de la capacité de mouvement	+	+
	R-12 Equipement d'extinction à bord (engins moteurs et / ou voitures)	+	+
	R-13 Commande centralisée du système de climatisation	-	-
	R-14 Possibilité de séparer les trains	+	+
	R-15 Equipement de premiers secours à bord du train		
Simplification de l'évacuation	R-20 Equipement et conception pour faciliter l'évacuation des véhicules (avec accès pour les services de secours)	+	+

**Tableau 3: Mesures « Matériel roulant »**

Exploitation		NT	TE
Prévention des incidents	O-1 Directives d'exploitation (trains voyageurs / marchandises en particulier)	0	0
	O-2 Directives pour le transport de marchandises dangereuses	0	0

<b>Exploitation</b>			<b>NT</b>	<b>TE</b>
Réduction de l'impact	O-10	Arrêt des trains qui suivent ou qui viennent en sens inverse (hors du tunnel) en cas d'incident	+	+
Simplification de l'évacuation	O-20	Information des voyageurs (préparation aux situations d'urgence)	+	+
	O-21	Compétences du personnel embarqué	+	+

Simplification des secours	O-30	Plans d'urgence et de secours	+	+
	O-31	Exercices avec les services de secours (communication et coordination entre chemins de fer et services de secours)	+	+
	O-32	Information sur le transport de marchandises dangereuses	+	+
	O-33	Equipement de secours	+	+

Tableau 4: Mesures « Exploitation »

## DEFINITIONS

Terme	Définition
Tunnels existants	Tunnels en exploitation
Tunnels réouverts	Tunnels existants, réouverts après une clôture de plusieurs années.
Tunnels neufs / planifiés	Tunnels en phase de planification ou en cours de construction (en partie). Il est encore possible de prendre des décisions importantes en matière de sécurité.
Sécurité	Inclut tous les incidents accidentels causés par des défauts techniques, des erreurs humaines, des catastrophes naturelles, etc.
Sûreté	Inclut toute intervention malveillante visant à causer des dommages aux personnes ou aux biens.
Lieu sûr	<p>Une place dans un tunnel ou près d'un tunnel où des personnes peuvent attendre en toute sécurité l'arrivée des secours</p> <p>Exemples de lieux sûrs:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Entrées du tunnel,</li> <li>• Sorties de secours, tunnel ou galerie de sécurité parallèle, si la propagation de fumée en provenance de la galerie principale est empêchée</li> <li>• Locaux à l'intérieur du tunnel s'ils sont maintenus exempts de fumée, ventilés et protégés de la chaleur</li> <li>• Section d'un tunnel principal maintenu exempt de fumée</li> </ul>
Secours autonomes	Toutes les actions entreprises après un accident par le personnel du train et les voyageurs pour quitter le lieu de l'accident (y compris premiers secours).
Services de secours	Services de secours des chemins de fer, des sapeurs-pompiers, de la police, des organisations sanitaires.
Risque	<p>En général: éventualité d'un événement pouvant être à l'origine de victimes</p> <p>Définition technique: fonction de fréquence et conséquence d'incidents</p>
Rapport coût/efficacité	Rapport entre les coûts d'une mesure de sécurité et la réduction escomptée du risque

# AREMARQUES PRELIMINAIRES

## Information relative aux tableaux

Les informations requises pour évaluer et recommander des mesures de sécurité sont présentées sous forme de tableaux (annexes B à E) :

- Description générale et objectifs:  
Brève définition de la mesure et de ses objectifs
- 
- Aspects importants:  
Facteurs à prendre en considération lors de l'évaluation de la mesure, tels que exigences générales, techniques ou d'exploitation, lien avec le concept de sécurité en place
- 
- Spécifications:  
Spécifications techniques consignées dans les normes et réglementations, avec compléments si nécessaire et raisonnable. Les spécifications sont définies par consensus si les documents sont divergents.
- 
- Impact sur la sécurité:  
Liste des effets sur la sécurité (positifs et négatifs, le cas échéant). Dans la mesure du possible, une approximation très grossière est donnée sur la réduction générale du risque. Cette approximation se base sur l'avis d'experts et les études existantes. Il convient de distinguer trois catégories de réduction du risque :
  - faible: réduction du risque jusqu'à 5%
  - moyenne: réduction du risque entre 5 et 25%
  - élevée: réduction du risque de plus de 25%

Remarque: la réduction du risque se réfère à une situation et à un tunnel normal, tels que définis au chapitre 1. Il s'agit du niveau de risque de base (sans mesure de sécurité), sur lequel l'effet de la mesure de sécurité (supplémentaire) est évalué.

- 
- Evaluation:  
Evaluation globale de l'efficacité possible d'une mesure dans le cas de tunnels neufs / réouverts à la circulation (sur la base d'une évaluation de *tous* les aspects mentionnés précédemment et discussion au sein du groupe de travail). Si une mesure est considérée comme raisonnable dans le contexte global, elle est recommandée.

## BINFRASTRUCTURE

I-1	<b>Contrôle de vitesse / Système de signalisation</b>
<b>Description générale et objectifs</b>	
Le contrôle de vitesse peut être effectué sur la locomotive, sur des tronçons à vitesse contrôlée (en des points donnés) par des systèmes de contrôle/ commande automatique des trains (ATCS), au moyen de radars ou de signaux avancés (contrôles de sécurité sur la base de signaux).	
<b>Aspects importants</b>	
<ul style="list-style-type: none"><li>• Selon le système de contrôle/commande et de signalisation sur le réseau ou l'itinéraire spécifique.</li><li>• Caractéristiques d'exploitation: densité des circulations, vitesse (p.ex. &gt; 160 km/h).</li><li>• Contrôle de vitesse permanent dans le cas des systèmes de contrôle/commande automatique.</li><li>• Possibilité d'améliorer un système existant par des fonctions de sécurité supplémentaires.</li></ul>	
<b>Spécifications</b>	
Le système doit, de façon très fiable, empêcher les trains de franchir un signal d'arrêt et de dépasser la vitesse maximale.	
<b>Impact sur la sécurité</b>	
<ul style="list-style-type: none"><li>+ Prévention des collisions dues à une erreur du conducteur (franchissement d'un signal d'arrêt).</li><li>+ Prévention des déraillements causés par un dépassement de la vitesse limite (p.ex. sur un aiguillage).</li><li>+ Peut aussi convenir pour les restrictions de vitesse temporaires dues p.ex. à des travaux dans le tunnel.</li></ul> Réduction du risque: élevée.	
<b>Autres effets</b>	
<ul style="list-style-type: none"><li>• Avantages en matière d'exploitation: plus grande densité des circulations.</li></ul>	
<b>Rapport coût/efficacité</b>	
Tunnels neufs: bon en général selon le système. Tunnels existants: moyen, selon le système de signalisation et les possibilités d'amélioration inhérentes à des fonctions de sécurité supplémentaires (si nécessaire).	
<b>Evaluation</b>	
<b>Tunnels neufs</b> Le contrôle de vitesse est recommandé si ce système est prévu pour le tronçon en question.	
<b>Tunnels existants</b> Si le système de contrôle de vitesse existant peut être transformé, cette transformation est prioritaire dans le cas des tunnels.	

I-2	<b>Radio sol/trains : Centre d'exploitation – Personnel embarqué – Voyageurs</b>
<b>Description générale et objectifs</b> La radio sol/trains permet au personnel des trains de communiquer avec le centre d'exploitation et les voyageurs à bord des voitures. Il comprend les installations fixes dans le tunnel et les équipements à bord des trains (y compris les voitures).	
<b>Aspects importants</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• La radio sol/trains est surtout utilisée à des fins d'exploitation (aspect principal).</li> <li>• Les informations importantes peuvent être transmises de manière rapide et fiable (p.ex. instructions transmises entre le personnel des trains et le centre d'exploitation, les voyageurs dans les voitures en cas d'arrêt d'urgence).</li> <li>• Les tunnels font partie du réseau et, de ce fait, de la stratégie d'équipement générale de ce réseau.</li> </ul>	
<b>Spécifications</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Equipement standard des lignes avec tunnels.</li> <li>• Communication entre le train, le centre d'exploitation et les voyageurs.</li> <li>• Possibilité de diffuser des informations à bord du train.</li> <li>• Importance de la fiabilité (voir I-67).</li> </ul>	
<b>Impact sur la sécurité</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>+ En cas d'accident, le personnel du train peut appeler rapidement le centre d'exploitation pour alerter les services de secours et pour arrêter les autres trains.</li> <li>+ Les trains qui ne sont pas impliqués dans un accident peuvent être arrêtés au moyen de la radio.</li> <li>+ Le centre d'exploitation peut informer/donner des conseils au personnel du train et aux voyageurs.</li> <li>+ Le personnel du train peut donner des conseils aux voyageurs (p.ex. secours autonomes).</li> </ul> B En cas d'incendie, une panne est possible (problèmes de chaleur et de câbles insuffisamment protégés). Réduction du risque: moyenne.	
<b>Autres effets</b> -	
<b>Rapport coût/efficacité</b> Pour les tunnels neufs et les tunnels existants, le rapport coût/efficacité est en principe bon (notamment si l'objectif principal est l'exploitation).  Exception : Si le système de radio sol/trains n'est pas utilisé pour l'exploitation et est introduit pour des motifs de sécurité uniquement (→ rapport coût / efficacité défavorable).	
<b>Evaluation</b> <b>Tunnels neufs</b> Mesure standard recommandée pour les tunnels neufs (y compris la possibilité de transmettre des messages dans tous les véhicules d'un train). <b>Tunnels existants</b> Recommandé également dans le cas des tunnels existants. a) Si un tunnel fait partie d'une ligne équipée de la radio sol/trains, le tunnel devra également en être équipé. b) Si une ligne n'est pas encore équipée, les tunnels constituent un facteur important lors du choix des priorités. Un tunnel peut ne pas être équipé s'il appartient à une ligne à faible trafic ou à standard réduit.	



I-3	<b>Détection des trains (compteurs d'essieux, circuits de voie)</b>
<b>Description générale et objectifs</b> Contrôle qu'un tronçon de voie a été complètement parcouru et que les trains sont complets.	
<b>Aspects importants</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• La détection du train est effectuée par des compteurs d'essieux ou des circuits de voie. Les informations sur la position d'un train dans le tunnel devraient aussi être disponibles au poste de commandement.</li> <li>• Elément de base du système de protection des trains / signalisation.</li> <li>• Dépend aussi des conditions d'exploitation: p.ex. très faible trafic.</li> <li>• A combiner avec un système adéquat de protection des trains / signalisation.</li> <li>• N'est pas une mesure de sécurité spécifique aux tunnels: s'il est décidé d'appliquer cette mesure, il faudra équiper une ligne entière de ce système.</li> </ul>	
<b>Spécifications</b> -	
<b>Impact sur la sécurité</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>+ Prévention des mouvements sur les tronçons de voies occupés, prévention des collisions.</li> <li>+ Localisation des trains arrêtés assurée par le poste de commande centralisée (afin d'arrêter les autres trains, p.ex. sur la voie opposée, et de préparer des opérations de secours optimales).</li> <li>B Pour des raisons de secours, la localisation avec des compteurs d'essieux et circuits de voie peut ne pas être suffisamment précise.</li> </ul> Réduction du risque: moyenne.	
<b>Autres effets</b> -	
<b>Coût/efficacité</b> Si la mesure est prise uniquement pour des raisons de sécurité dans les tunnels, le rapport coût/efficacité peut être défavorable. Si elle fait partie d'un concept global, pleine voie comprise, combiné avec un système adéquat de protection des trains, le rapport coût/efficacité sera bon.	
<b>Evaluation</b> <p><b>Tunnels neufs</b> Recommandé comme mesure standard.</p> <p><b>Tunnels existants</b> Mesure standard recommandée(exceptions: lignes à très faible trafic et à conditions d'exploitations simples, p. ex.).</p>	

I-4	<b>Contrôle des trains (freins bloqués, boîtes chaudes)</b>
<b>Description générale et objectifs</b> Détecteurs de température en voie faisant partie des équipements de détection des échauffements d'essieux et de roues, pour que les trains puissent être arrêtés en un lieu sûr avant d'entrer dans le tunnel.	
<b>Aspects importants</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Un échauffement d'essieu peut arriver n'importe où sur le réseau, à n'importe quel moment, alors qu'un échauffement de roue dû à un blocage des freins arrive davantage sur une longue déclivité (→ concept de positionnement des équipements nécessaires).</li> <li>• Un échauffement de roue dû à un blocage des freins affaiblit la roue. Une roue peut parcourir des centaines ou des milliers de kilomètres avant la rupture (→ une roue affaiblie ne peut être détectée à l'approche d'un tunnel).</li> <li>• Un échauffement d'essieu peut survenir très rapidement sur une courte distance (→ détectable à l'approche d'un tunnel).</li> <li>• En plus de l'installation, il faut déterminer les règles et procédures de contrôle d'un train après une alarme (→ lieu et personnel de contrôle, retrait d'un véhicule).</li> <li>• L'importance des équipements de détection technique augmente, car le personnel ferroviaire le long de la ligne qui contrôlait visuellement les trains au passage est de plus en plus réduit.</li> </ul>	
<b>Spécifications</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Distance optimale entre deux installations: selon le concept du réseau (25 – 100 km habituellement).</li> <li>• Selon le mode d'exploitation pour les lignes à double voie: équipement sur une ou sur deux voies.</li> <li>• Règles et procédures de contrôle du train.</li> </ul>	
<b>Impact sur la sécurité</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>+ Prévention des déraillements dus à une rupture de roue ou d'essieu.</li> <li>+ Prévention des incendies causés par un échauffement.</li> <li>+ Vu que ces installations sont intégrées dans un réseau, elles n'ont pas seulement un impact sur les tunnels (effet maximal en pleine voie).</li> <li>B Les roues peuvent surchauffer et s'affaiblir longtemps avant l'approche d'un tunnel: efficacité limitée de l'installation en cas de frein bloqué/surchauffe de roue comme cause d'un déraillement.</li> </ul> Réduction du risque: moyenne.	
<b>Autres effets</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fausses alertes (températures trop basses). Difficulté à fixer une température d'alerte optimale.</li> <li>• Fiabilité des procédures de contrôle effectuées par le personnel ferroviaire après une alerte.</li> <li>• Les détecteurs de température en voie compliquent l'entretien des voies.</li> </ul>	
<b>Rapport coût/efficacité</b> Tunnels neufs et tunnels existants: bon rapport coût/efficacité si l'on part du principe que le réseau d'installations a été optimisé (p.ex. distances optimales).	
<b>Evaluation</b> <b>Tunnels neufs et tunnels existants</b> Recommandé à l'approche des tronçons comportant de nombreux tunnels. Les tunnels isolés devront être couverts par le réseau d'installations ordinaire.	

<b>I-5</b>	<b>Emplacement des aiguillages</b>
<p><b>Description générale et objectifs</b></p> <p>Dans les tunnels et à l'approche des entrées de tunnels, il faut éviter l'installation d'aiguillages ou d'autres discontinuités de voies. Ainsi, les accidents causés ou influencés défavorablement par des aiguillages ne surviendront pas dans les tunnels.</p>	
<p><b>Aspects importants</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Exigences en matière d'exploitation.</li> <li>• Possibilité de déplacer les aiguillages.</li> </ul>	
<p><b>Spécifications</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Distance minimale entre aiguillages et entrée du tunnel: quelques centaines de mètres (selon la vitesse de la ligne).</li> </ul>	
<p><b>Impact sur la sécurité</b></p> <p>+ Réduction des accidents dus aux aiguillages dans les tunnels (dérailements, collisions).</p> <p>+ Les conséquences d'accidents essentiellement dus aux aiguillages sont réduites dans les tunnels (p.ex. une roue déraillée tirée sur un aiguillage provoque le déraillement complet d'une voiture/train).</p> <p>B Si les aiguillages sont déplacés à l'extérieur des tunnels, les risques ne sont pas éliminés, mais déplacés à un endroit plus « favorable ».</p> <p>Réduction du risque: moyenne.</p>	
<p><b>Autres effets</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Exigences en matière d'exploitation: les aiguillages sont nécessaires pour maintenir la capacité d'une ligne (conditions d'entretien notamment).</li> <li>• Entretien et coûts réduits si les aiguillages sont complètement éliminés.</li> </ul>	
<p><b>Rapport coût/efficacité</b></p> <p>Tunnels neufs et tunnels existants: bon, si les besoins en matière d'exploitation peuvent être satisfaits.</p>	
<p><b>Evaluation</b></p> <p><b>Tunnels neufs et tunnels existants</b></p> <p>L'emplacement des aiguillages est une tâche d'optimisation dans le cadre de laquelle les considérations de sécurité doivent être prioritaires.</p> <p>De ce point de vue, les recommandations sont les suivantes:</p> <p>Les aiguillages ou autres discontinuités de voies devraient être évités dans les tunnels. Si c'est impossible, il faut penser à utiliser des aiguillages à cœur mobile (selon la vitesse, la charge d'essieu et les exigences de l'exploitation).</p>	

I-6	<b>Inspection des voies</b>
<b>Description générale et objectifs</b> Contrôle systématique de l'état des voies dans les tunnels: géométrie, hauteur, matériau (usure et fissures également) et stabilité des voies (fiche UIC 720).	
<b>Aspects importants</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Une voie en bon état est la base d'un mouvement sûr et d'une exploitation fiable.</li> <li>• L'inspection systématique comprend aussi des travaux d'entretien conséquents après détection des irrégularités.</li> <li>• En général, les conditions sont meilleures dans les tunnels qu'en pleine voie: conditions stables, moins d'influence de l'environnement (→ aucune raison d'intensifier les contrôles dans les tunnels).</li> <li>• L'inspection des voies fait partie d'un concept d'entretien général (→ intégré dans le concept d'entretien du tunnel).</li> </ul>	
<b>Spécifications</b> -	
<b>Impact sur la sécurité</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>+ Réduction des défauts de voie qui sont à l'origine d'accidents (p.ex. déraillement).</li> <li>+ Durant l'inspection, d'autres irrégularités de voie peuvent être détectées (pas systématiquement).</li> <li>+ Empêche que les véhicules ou les chargements frôlent les parois du tunnel (conditions extrêmes).</li> </ul> B Risques d'accidents du travail si les inspections sont faites en cours d'exploitation. Réduction du risque: faible à moyenne.	
<b>Autres effets</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Il est nécessaire que le nombre de défauts de voies soit faible pour assurer que l'exploitation soit fiable (aucune restriction).</li> <li>• Une inspection détaillée prend du temps, ce qui peut réduire la capacité du tunnel.</li> <li>• A combiner avec I-11 (inspection de l'état du tunnel).</li> </ul>	
<b>Rapport coût/efficacité</b> Tunnels neufs et tunnels existants: bon rapport coût/efficacité.	
<b>Evaluation</b> <b>Tunnels neufs et tunnels existants</b> Une inspection systématique des voies est recommandée comme base de toute exploitation sûre.	

I-7	<b>Contrôle d'accès (Sûreté)</b>
<b>Description générale et objectifs</b> Mesures de prévention d'un accès non autorisé à l'entrée ou à la sortie des tunnels: signaux, clôtures, serrures, surveillance locale ou à distance.	
<b>Aspects importants</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• L'accès non autorisé peut aussi concerner le personnel ferroviaire lorsque le tunnel est en service.</li> <li>• A protéger le cas échéant: entrées du tunnel, sorties de secours, bâtiments techniques (entrées), zones de secours et routes d'accès.</li> <li>• Les risques pour la sécurité dépendent fortement de l'emplacement et du caractère attractif du tunnel (exposition): p.ex. région de montagne ↔ zone urbaine (la fréquence des tentatives d'entrer dans le tunnel est complètement différente). Attention du public selon que le tunnel est attractif ou non.</li> <li>• Incitation à entrer dans le tunnel: éclairage; chemin le plus court à pied entre A et B; niches comme « abri » pour séjourner et dormir; graffitis.</li> <li>• Combinaison possible de différentes mesures, suivant l'exposition / les dangers d'un tunnel.</li> <li>• Peut être combiné avec une clôture de pleine voie.</li> <li>• Le contrôle d'accès ne doit pas influencer les fonctions de sécurité, aux sorties d'urgence p.ex. (l'accès depuis l'extérieur doit être possible à tout moment).</li> </ul>	
<b>Spécifications</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Signaux: avertissement, défense d'entrer dans les tunnels.</li> <li>• Sorties de secours: portes verrouillées, pouvant être ouvertes depuis l'intérieur par n'importe qui et depuis l'extérieur par les services ferroviaires/de secours (à distance ou sur place).</li> <li>• Clôtures: selon l'exposition et les scénarios de dangers possibles dans la zone d'entrée et des sorties de secours du tunnel. Grandes portes pour l'accès de secours.</li> <li>• Surveillance par caméras des zones sensibles telles que les entrées du tunnel (voir aussi I-68): selon l'exposition et les scénarios de dangers possibles. Contrôle à distance par un centre d'exploitation/ contrôle.</li> </ul>	
<b>Impact sur la sécurité</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>+ Éviter les actes de sabotage ou de vandalisme dans le tunnel (près des entrées) et spécialement à l'extérieur (sorties de secours).</li> <li>+ Réduction des accidents impliquant des personnes qui entrent / se promènent dans le tunnel.</li> </ul> Réduction du risque: faible à moyenne (suivant l'exposition de l'ouvrage).	
<b>Autres effets</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Réduction des dommages / frais dus aux graffitis.</li> </ul>	
<b>Rapport coût/efficacité</b> Tunnels neufs et tunnels existants: bon à moyen. Dépend fortement de l'exposition et des mesures choisies. Les mesures « passives » telles que les signaux, le verrouillage des portes et les clôtures ont un bon rapport coût/efficacité. Les mesures « actives » telles que la surveillance par caméras ne vaut la peine que si le risque pour la sécurité est élevé.	
<b>Evaluation</b> <b>Tunnels neufs et tunnels existants</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Les mesures de sécurité doivent être prises sur la base d'une évaluation du risque compte tenu de la localisation / l'exposition, l'accessibilité des ouvrages, le caractère attractif comme cible du vandalisme ou du sabotage et l'expérience locale en la matière.</li> <li>• Pour les tunnels neufs, il est recommandé (mesures standards) d'installer des signaux et des clôtures à l'entrée et de verrouiller toutes les sorties de tunnels. Des mesures supplémentaires ne sont recommandées que si une évaluation des dangers révèle un risque élevé pour la sécurité.</li> <li>• Il est recommandé d'optimiser les tunnels existants si c'est raisonnable au vu de la situation locale (en général en zone urbaine).</li> </ul>	

I-8	<b>Inspection des tunnels</b>
<b>Description générale et objectifs</b> Inspection de l'état du tunnel (fiche UIC 779.10 R) à l'aide de véhicules d'inspection spéciaux pour éviter les accidents dus à l'état des structures ou de la roche avoisinante.	
<b>Aspects importants</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• L'inspection des tunnels est nécessaire indépendamment de toutes les autres mesures de sécurité.</li> <li>• Facteurs d'influence: âge du tunnel, géologie (p.ex. roche dure, roche friable), eaux souterraines.</li> <li>• Environnement: sous une zone habitée, sous des eaux.</li> <li>• Construction du tunnel.</li> <li>• Installations et fixations.</li> <li>• L'inspection de l'état du tunnel fait partie de l'entretien général.</li> <li>• L'inspection systématique inclut également le travail d'entretien conséquent après détection des irrégularités.</li> </ul>	
<b>Spécifications</b> -	
<b>Impact sur la sécurité</b> + Éviter les accidents dus à l'état du tunnel: eau, installations tombées, pièces tombées du mur du tunnel. B Risques d'accident du travail si les inspections ont lieu sous exploitation. Réduction du risque: faible.	
<b>Autres effets</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Optimisation de l'état du tunnel et des travaux d'entretien à long terme (optimisation des frais d'entretien et de la fiabilité d'exploitation).</li> </ul>	
<b>Rapport coût/efficacité</b> Tunnels neufs et tunnels existants: bon si l'inspection est effectuée de manière adéquate.	
<b>Evaluation</b> <b>Tunnels neufs et tunnels existants</b> Une inspection systématique est recommandée comme base d'une exploitation sûre et d'un entretien optimisé à long terme.	

<b>I-20</b>	<b>Deux tunnels à voie unique</b>
<b>Description générale et objectifs</b> Deux tunnels à voie unique au lieu d'un tunnel à double voie pour éviter les accidents dus au croisement de trains et pour créer de meilleures conditions de secours en cas d'accident (incendie notamment).	
<b>Aspects importants</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Deux tunnels à voie unique nécessitent plus d'espace dans la zone d'entrée.</li> <li>• Si le tunnel se prolonge par un pont, il faut parfois deux ponts parallèles (coûts et espace disponible).</li> <li>• Suivant la situation locale, les coûts de construction peuvent varier par comparaison avec un tunnel à double voie.</li> <li>• Le choix du type de tunnel – double voie ou voie unique – dépend de plusieurs critères: coûts et date de construction, risques, exploitation (concept d'entretien, liaison entre les voies), topographie (y compris l'espace vers les entrées), aspects aérodynamiques et sécurité.</li> <li>• La sécurité est influencée par la densité et le type de trafic (trafic mixte p.ex.), possibilité de réaliser un concept de secours avec des distances d'évacuation raisonnables, la longueur du tunnel, etc.</li> <li>• Pour les nouveaux projets, les autorités ont tendance à définir des distances d'évacuation minimales et des exigences/précautions pour le trafic mixte. Si ces exigences ne peuvent être remplies par des tunnels à double voie et des possibilités d'évacuation, deux tunnels à voie unique peuvent être la solution.</li> <li>• Le choix du type de tunnel doit être le résultat d'une évaluation approfondie de tous ces paramètres</li> </ul>	
<b>Spécifications</b> -	
<b>Impact sur la sécurité</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>+ Pas d'interaction entre les trains qui se croisent (surtout en cas de trafic mixte).</li> <li>+ Réduction de la probabilité d'accidents impliquant plusieurs trains (collision après déraillement, deuxième train dans un nuage de fumée).</li> <li>+ L'effet de deux tunnels à voie unique est optimal s'il n'y a pas de liaison entre les voies dans le tunnel.</li> <li>+ Possibilité d'assurer des distances d'évacuation courtes (deuxième tunnel comme abri).</li> <li>+ Deuxième tunnel comme voie d'accès pour les services de secours en cas d'accident.</li> <li>B S'il y a des liaisons entre les voies, beaucoup de ces avantages disparaissent (propagation de la fumée dans le deuxième tunnel). Il peut s'avérer nécessaire d'éviter un transfert de fumée (portes, par ex.).</li> <li>B Les opérations de sauvetage par les rameaux de communication vers le tunnel voisin exige la définition de règles et de procédures strictes, sinon, le risque d'accidents en cours d'évacuation est grand. La section transversale la plus petite sera rapidement remplie de fumée (selon sa forme).</li> </ul> Réduction du risque: élevée.	
<b>Autres effets</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Avantages pour les travaux d'entretien.</li> </ul>	
<b>Rapport coût/efficacité</b> Tunnels neufs: bon à défavorable, dépend fortement de la situation locale.	
<b>Evaluation</b> <b>Tunnels neufs</b> Le type de tunnel optimal sera déterminé après une évaluation de tous les paramètres importants. Si les distances d'évacuation requises et les restrictions d'exploitation (p.ex. trafic mixte) peuvent être respectées, il faut choisir le type de tunnel offrant le meilleur rapport coût/efficacité. <b>Tunnels existants</b> Non applicable s'il y a un tunnel à double voie.	

I-21	<b>Section transversale des tunnels à double voie</b>
<b>Description générale et objectifs</b> Le diamètre du tunnel doit être suffisamment grand pour qu'aucun coup de pression dangereux ne puisse survenir (franchissement du tunnel par deux trains).	
<b>Aspects importants</b> Les profils transversaux doivent être définis en fonction de différents besoins, par exemple: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Géologie / méthode de construction.</li> <li>• Vitesse du train / aspects aérodynamiques.</li> <li>• Sécurité / espace pour itinéraires d'évacuation.</li> <li>• Coûts de construction (plus le profil est grand, plus les coûts sont élevés).</li> </ul>	
<b>Spécifications</b> La sécurité n'a une incidence sur le profil transversal que dans des cas exceptionnels.	
<b>Impact sur la sécurité</b> Un grand profil transversal présente les avantages suivants: <ul style="list-style-type: none"> <li>+ Diminution des interactions possibles dues aux effets aérodynamiques.</li> <li>+ Création de chemins plus larges.</li> <li>+ Distance plus grande entre les voies (diminution de la probabilité d'une collision en cas de déraillement).</li> <li>+ Diminution de la probabilité de collision due à un déplacement de charge.</li> <li>+ Plus favorable du point de vue de la propagation de la fumée.</li> </ul> Réduction du risque: moyenne	
<b>Autres effets</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Le profil transversal des tunnels à double voie dépend essentiellement de facteurs autres que les facteurs de sécurité.</li> </ul>	
<b>Rapport coût/efficacité</b> Tunnels neufs: faible. Si un grand profil transversal était choisi pour des raisons de sécurité uniquement (voir avantages ci-dessus), le rapport coût/efficacité serait défavorable. Non applicable dans le cas des tunnels existants.	
<b>Evaluation</b> <b>Tunnels neufs</b> Recommandation: si tous les critères de sécurité tels que la largeur des itinéraires d'évacuation, etc. peuvent être respectés, il n'y a pas d'autre exigence vis-à-vis du profil transversal du point de vue de la sécurité. <b>Tunnels existants</b> Non applicable.	



I-22	<b>Protection contre le feu des structures</b>
<p><b>Description générale et objectifs</b></p> <p>Les structures du tunnel doivent être conçues de façon à ce que leur sécurité ne soit pas compromise par une perte de la capacité de supporter des charges lors d'un incendie. Les matériaux et équipements doivent présenter des caractéristiques définies d'émission de fumée et d'inflammabilité.</p>	
<p><b>Aspects importants</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Du point de vue de la sécurité des voyageurs, les caractéristiques définies d'émission de fumée et d'inflammabilité sont plus importantes que la protection des structures.</li> <li>• Les exigences de protection contre l'incendie visent différents objectifs: <ul style="list-style-type: none"> <li>-Maintien de la résistance des structures pour protéger les services de secours et les ouvriers du chantier pendant et après un incendie.</li> <li>-Maintien de la résistance des structures si le tunnel se situe près d'une zone bâtie, traverse des eaux souterraines ou passe sous des eaux de surface→ exigences plus élevées.</li> <li>-Réduction des dommages et du délai de réouverture du tunnel.</li> </ul> </li> <li>• Importance d'une ligne (connexion vitale entre A et B → p.ex.) exigences plus élevées.</li> <li>• Transport de marchandises dangereuses.</li> <li>• Méthodes de protection passives (constructives) et actives (installations de type sprinklers) contre l'incendie, possibilités d'intervention des services de secours.</li> <li>• Aujourd'hui, il existe différentes spécifications pour la protection des structures du tunnel (différentes normes nationales à respecter).</li> </ul>	
<p><b>Spécifications</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Résistance au feu: ISO 834, Eurocode 1, point 2.2 et courbe d'hydrocarbure.</li> <li>• Matériaux: ininflammables / matériaux définis en termes d'émission de fumée.</li> </ul>	
<p><b>Impact sur la sécurité</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>+ Diminution des gaz toxiques dus à la combustion de câbles et d'installations (important pour les secours autonomes).</li> <li>+ Protection des services de secours et des ouvriers du chantier durant et après un incendie.</li> <li>+ Prévention des dommages causés aux bâtiments construits à proximité du tunnel.</li> <li>+ Prévention de la pénétration d'eau (après un effondrement).</li> </ul> <p>duction du risque: dépend fortement de la situation locale.</p>	
<p><b>Autres effets</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Réduction des dommages et du délai de réouverture du tunnel (coûts de réparation et pertes d'exploitation).</li> </ul>	
<p><b>Rapport coût/efficacité</b></p> <p>Tunnels neufs: bon. L'utilisation d'une courbe de température standard peut être considérée comme rentable, autres exigences en présence de risques plus élevés seulement.</p> <p>Tunnels existants: bon. L'optimisation peut être considérée comme rentable en cas de rénovation.</p>	

**Evaluation****Tunnels neufs**

- Il est recommandé d'utiliser une courbe de température clairement définie et largement acceptée (p.ex. ISO 834, Eurocode 1, point 2.2 et courbe d'hydrocarbure).
- Des exigences supplémentaires sont recommandées pour les sections de tunnel qui passent sous une nappe d'eau ou à proximité de zones bâties.
- Une diminution des exigences est raisonnable dans les conditions suivantes:
  - construction à fonction secondaire
  - si les dommages ne posent pas de problème de sécurité, si un dommage important et une fermeture prolongée du tunnel est accepté
  - si d'autres solutions ont été choisies (p.ex. mesures actives telles que des installations d'extinction, I-25)
- Pour toutes les installations, il est recommandé d'utiliser des matériaux ininflammables / définis en termes d'émission de fumée (voir aussi I-67)

**Tunnels existants**

En cas de rénovation, les recommandations faites pour les Tunnels neufs devront être appliquées dans la mesure où cela s'avère raisonnable. Pour toutes les installations, il est recommandé d'utiliser des matériaux ininflammables / définis en termes d'émission de fumée (voir aussi I-67).

<b>I-23</b>	<b>Détection d'un incendie, de fumée et de gaz dans un tunnel</b>
<p><b>Description générale et objectifs</b></p> <p>Installation pour détecter la présence de feu, de fumée et de gaz dans les tunnels, permettant la localisation rapide d'un feu en phase d'allumage:</p> <p>a) dans le tunnel principal ;</p> <p>b) dans les locaux techniques.</p>	
<p><b>Aspects importants</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Le type de trafic est important: voyageurs, marchandises, ferroutage.</li> <li>• Détection: feu/chaleur, fumée, gaz (surtout les gaz explosifs).</li> <li>• Détection du feu dans des installations fixes ou dans des trains en marche.</li> <li>• Différents types de gaz: gaz lourds (s'accumulant à un point bas du tunnel) ou gaz légers (s'accumulant au plafond) -&gt; position des détecteurs de gaz.</li> <li>• Les détecteurs de gaz ne détectent en général qu'un seul gaz spécifique, de sorte qu'il faudrait toute une série de détecteurs de gaz.</li> <li>• Les détecteurs de feu, de fumée et de gaz nécessitent un entretien intense.</li> </ul>	
<p><b>Spécifications</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Il convient de distinguer le tunnel principal et les locaux techniques.</li> <li>• Divers systèmes sont disponibles: ponctuels, linéaires, basés sur différents concepts de détection.</li> </ul>	
<p><b>Impact sur la sécurité</b></p> <p>a) Tunnel principal</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>+ Alerte plus rapide dans un centre de contrôle/exploitation (notamment les trains qui transportent des poids lourds) → possibilité d'actions optimales (alerter des services de secours, arrêter ou faire sortir un train du tunnel).</li> <li>+ Détection d'un incendie à un stade précoce → réduire les dommages et le potentiel d'escalade.</li> </ul> <p>B Un incendie à bord d'un train ne peut être détecté qu'à un stade avancé, lorsque de la fumée et des flammes sortent du véhicule.</p> <p>B Une fausse alerte peut présenter des risques supplémentaires.</p> <p>b) Locaux techniques</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>+ Localisation précise de l'incendie → lutte rapide et précise contre le feu.</li> </ul> <p>Réduction du risque: faible.</p>	
<p><b>Autres effets</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Il n'est pas possible d'exclure les fausses alertes, notamment lors de travaux à l'intérieur du tunnel (soudage et meulage des rails p.ex.) → perturbation de l'exploitation.</li> </ul>	
<p><b>Rapport coût/efficacité</b></p> <p>Tunnels neufs et tunnels existants: bon à moyen.</p> <p>L'équipement du tunnel complet ne peut être considéré comme rentable, mais l'équipement ponctuel d'installations de détection peut être rentable.</p>	

I-23

## Détection d'un incendie, de fumée et de gaz dans un tunnel

### Evaluation

#### Tunnels neufs

a) Tunnel principal

- Non recommandé comme mesure standard.
- Les détecteurs de gaz sont recommandés pour les tunnels qui ont un point bas (en forme de U) et si du gaz pourrait pénétrer dans le tunnel depuis les alentours.

b) Locaux techniques

- Les détecteurs de feu et/ou de fumée sont recommandés pour les installations techniques concentrées dans des locaux séparés du tunnel.

#### Tunnels existants

- En cas de rénovation/aménagement, les recommandations relatives aux tunnels neufs doivent être suivies dans la mesure où elles s'avèrent raisonnables.

I-24	<b>Systèmes d'extinction (sprinkler ou similaire)</b>
<p><b>Description générale et objectifs</b></p> <p>Systèmes automatiques ou manuels pour combattre le feu à un stade précoce</p> <p>a) Dans le tunnel principal ;</p> <p>b) dans les locaux techniques.</p>	
<p><b>Aspects importants</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Avec des systèmes sprinkler dans le tunnel principal, il faut résoudre le problème de la caténaire (faisabilité technique, règles et procédures d'exploitation).</li> <li>• Grande consommation d'eau compte tenu des dimensions d'un incendie à bord d'un train → il faut une alimentation en eau et un système de drainage adéquat.</li> <li>• L'eau n'est pas forcément une bonne solution pour les installations techniques.</li> <li>• Aspect spécifique: les stations de secours dans les très longs tunnels → situation différente.</li> </ul>	
<p><b>Spécifications</b></p> <p>a) Tunnel principal: non spécifié, voir recommandation.</p> <p>b) Locaux techniques avec installations ultra sensibles: prévision de détecteurs de fumée/feu avec système d'extinction automatique et/ou manuel. La définition de leur efficacité fait partie d'un projet spécifique.</p>	
<p><b>Impact sur la sécurité</b></p> <p>a) Tunnel principal</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>+ Baisse rapide de la température: réduction des dommages causés aux structures ; prévention possible de la propagation du feu.</li> <li>B Les sprinklers ne fonctionnent que lorsque le train est arrêté (l'incendie s'est alors propagé sans doute).</li> <li>B Les systèmes de sprinkler traditionnels parviennent rarement à maîtriser un incendie qui se propage (embrasement d'un véhicule après l'arrêt p.ex.).</li> <li>B Un système sprinkler n'atteint pas un foyer d'incendie dans un train en marche.</li> <li>B Température élevée: problème de brûlures s'il reste encore des personnes à proximité du feu.</li> <li>B Sprinklers automatiques: le contact avec certaines substances chimiques peut provoquer des réactions incontrôlées.</li> <li>B Les installations dans le tunnel principal peuvent augmenter le risque d'accidents du travail si l'entretien est effectué en cours d'exploitation.</li> </ul> <p>b) Locaux techniques</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>+ Très bonne efficacité d'extinction à un stade précoce si les installations d'extinction se trouvent à proximité du foyer d'incendie.</li> </ul> <p>Réduction du risque: faible à moyenne.</p>	
<p><b>Autres effets</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dommages dus aux fausses alertes.</li> <li>• Les systèmes sprinkler ont besoin de beaucoup d'entretien pour une fiabilité élevée.</li> </ul>	
<p><b>Rapport coût/efficacité</b></p> <p>Tunnels neufs et tunnels existants: bon à moyen.</p> <p>L'équipement du tunnel complet peut être considéré comme non rentable, mais l'équipement ponctuel de systèmes d'extinction dans les locaux techniques peut l'être.</p>	
<p><b>Evaluation</b></p> <p><b>Tunnels neufs et tunnels existants</b></p> <p>a) Tunnel principal: les systèmes d'extinction ne sont pas recommandés.</p> <p>b) Les systèmes d'extinction automatiques sont recommandés uniquement pour les locaux à installations techniques ultra sensibles. Il est recommandé d'installer des systèmes d'extinction dans les locaux/compartiments qui contiennent des installations techniques.</p>	

**Description générale et objectifs**

On distingue trois situations :

- a) Tunnel principal: système mécanique d'extraction dans le tunnel principal pour aspirer la fumée ou provoquer un certain courant d'air et obtenir un côté sans fumée pour les secours.
- b) Extraction de la fumée si un tunnel à double voie se sépare en deux tunnels à voie unique ou vers les passages entre deux tunnels à voie unique (pour garder les tunnels parallèles exempts de fumée et prévenir le circuit d'air)
- c) Lieux sûrs: systèmes de ventilation pour maintenir les sorties de secours, rameaux de communication ou galeries de secours parallèles exempts de fumée (créer une surpression)

**Aspects importants**

- Pour l'exploitation normale, un système de ventilation n'est en général pas nécessaire (des exceptions sont possibles sur les lignes non électrifiées) : il y a là une nette différence avec les tunnels routiers.
- Nette distinction entre les ventilateurs qui servent uniquement à créer un flux d'air longitudinal et les systèmes d'extraction destinés à extraire la fumée localement.
- Il faut un système très performant pour déplacer une colonne d'air dans un tunnel. Souvent, les trains en mouvement sont bien plus efficaces qu'un tel système qui ne fonctionne bien que quand les trains en mouvement ont quitté le tunnel voire se sont arrêtés.
- Dans certains cas spéciaux, des mesures alternatives telles que des portes peuvent être appropriées
- Situations à traiter spécialement:
  - Combinaison de tunnels et de gares souterraines → situation différente ;
  - Extraction de fumée dans un lieu de secours d'un très long tunnel → situation différente.

**Spécifications**

- a) Pas de spécification pour le tunnel principal (voir aussi les recommandations).
  - b) Combinaison d'un tunnel à voie double / voie unique ou passages entre deux tunnels à voie unique: le système de ventilation/extraction de fumée doit être conçu de telle sorte que la fumée ne puisse pas passer d'un tube à l'autre aux passages. Il faut un concept détaillé et un dimensionnement suffisant du système.
  - c) Lieux sûrs: le système de ventilation doit être conçu de telle sorte que la fumée ne pénètre pas dans le lieu sûr lors de l'ouverture des portes qui donnent sur tunnel principal (voir aussi I-44, I-45, I-46 and I-47). S'il existe d'autres solutions que la ventilation active qui remplissent cette exigence, c'est également acceptable (p.ex. portes).
- Fiabilité: voir I-67.
  - Les ventilateurs assurant un flux d'air longitudinal ont besoin de place. Dans le cas des tunnels existants, cela pose de grands problèmes.

**Impact sur la sécurité**

- a) Flux d'air longitudinal dans le tunnel principal
    - + Si le flux d'air est suffisant, il assurera un côté exempt de fumée où les personnes seront en sécurité et où les opérations de secours pourront avoir lieu.
    - B La décision relative à un flux/sens optimal de l'air est difficile à prendre. Il y a toujours des personnes qui se trouvent du mauvais côté. Si la fausse décision est prise, p.ex. par manque d'informations correctes, la situation peut même s'empirer.
    - B Il faut du temps pour démarrer et accélérer un flux d'air, même plus s'il s'agit de changer un sens existant.
    - B Un flux d'air intensifié mélange l'air et disperse les couches de fumée qui auparavant étaient clairement délimitées.
    - B Remarque: pour le secteur ferroviaire, l'effet positif d'une ventilation longitudinale est un sujet à controverses. Ce n'est pas à comparer aux tunnels routiers, dans lesquels différents systèmes de ventilation, p.ex. une ventilation transversale peut facilement être installée.
  - b) Extraction de fumée dans le tunnel principal à certains endroits (double voie / deux voies uniques ; passages entre deux tunnels à voie unique):
    - + Prévention de la propagation de fumée dans des sections de tunnels définies comme lieux sûrs.
    - + Diminution de la probabilité que des trains supplémentaires soient pris dans la fumée.
    - B L'extraction de fumée implique un flux d'air dans le tunnel qui peut être défavorable pour les secours autonomes et les opérations de secours.
    - B Voir aussi flux d'air longitudinal.
- Maintien des lieux sûrs exempts de fumée.  
Réduction du risque: non évaluée.

I-25

## Systèmes d'extraction de la fumée / de ventilation

### Autres effets

- Les systèmes de ventilation/extraction de fumée nécessitent d'important travaux d'entretien pour rester fiables.
- Les systèmes d'extraction ont besoin d'une cheminée: suivant l'emplacement, cela peut poser quelques problèmes (dans les zones à densité de population élevée p.ex.).

### Rapport coût/efficacité

Tunnels neufs:

a) Extraction de fumée comme mesure générale: faible rentabilité compte tenu de l'efficacité peu sûre et des coûts d'investissement et d'entretien élevés.

b) et c): moyen à faible à cause des coûts élevés qui en découlent.

Non raisonnable dans le cas des tunnels existants.

### Evaluation

#### Tunnels neufs

a) Extraction de fumée dans le tunnel principal: non recommandé comme mesure standard pour contrôler la propagation de la fumée.

b) et c) recommandé dans certaines situations spécifiques, où les lieux sûrs doivent être maintenus exempts de fumée (p.ex. galeries parallèles, sorties de secours). Pour atteindre cet objectif, d'autres mesures, telles que des portes ou des serrures peuvent aussi convenir.

#### Tunnels existants

Non raisonnable dans le cas des tunnels existants.

I-26	<b>Systèmes de drainage des voies (drainage et bassin de retenue)</b>
<b>Description générale et objectifs</b> Les systèmes de drainage des voies servent à éliminer l'eau du tunnel.	
<b>Aspects importants</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Construction étanche du tunnel: seuls des liquides de l'intérieur doivent être transportés.</li> <li>• Si le tunnel contient également de l'eau provenant de l'extérieur: choix entre un système mixte (fluides provenant des voies et eau de la montagne sont mélangés) et un système séparé (les fluides provenant des voies sont éliminés séparément de l'eau de la montagne).</li> <li>• Fluides à l'intérieur du tunnel: neige et eau de pluie amenés à l'intérieur du tunnel par les trains, liquides renversés, eau des brigades de pompiers.</li> <li>• Traitement de l'eau aux entrées du tunnel: bassin de rétention, suivant la sensibilité de l'environnement.</li> <li>• Tunnels ayant un point bas: un bassin de rétention adéquat est nécessaire (bassin d'aspiration) et installation de pompe.</li> <li>• Protection contre les explosions: empêche le feu / l'explosion de se propager dans les conduites et les bassins/bassins d'aspiration à proximité.</li> </ul>	
<b>Spécifications</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Inclinaison longitudinale et transversale minimale pour assurer une élimination efficace des fluides.</li> <li>• Protection contre la propagation du feu / de l'explosion dans le système de drainage (sections séparées).</li> <li>• Dimensions du système de drainage: volume d'eau provenant de la montagne, capacité des conduites d'eau (s'il y en a) ou autres moyens de lutte contre le feu, véhicules non étanches (au moins 80 m<sup>3</sup>).</li> <li>• La conception devrait tenir compte avant tout des aspects « maintenance ».</li> <li>• Le système de drainage des voies comprend des bassins de retenue – en cas de transport de marchandises dangereuses – pour récupérer l'eau des brigades de pompiers polluée ou les fuites de produits dangereux.</li> <li>• Dimensions du bassin de retenue: véhicules non étanches et conduites d'eau pour une période définie.</li> <li>• Si un tunnel passe près d'une rivière ou que de l'eau doit être pompée dans le tunnel pour d'autres raisons, le bassin d'aspiration de la pompe doit être suffisamment grand pour contenir: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Les fuites d'eau durant une certaine période ;</li> <li>- le contenu de conduites d'eau ou de bornes d'incendie si elles sont endommagées vers le bas ;</li> <li>- le contenu de 3 wagons-citernes ;</li> <li>- l'eau nécessaire pour alimenter la conduite d'eau des brigades de pompiers durant une heure.</li> </ul> </li> </ul>	
<b>Impact sur la sécurité</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>+ Un système de drainage bien dimensionné réduit la possibilité d'une escalade (p.ex. l'explosion après la perte de marchandises dangereuses).</li> <li>+ Réduction des dommages pour l'environnement vers les entrées du tunnel.</li> <li>+ Drainage fiable de l'eau provenant du tunnel (réduction du risque d'inondation).</li> <li>B En cas de perte de marchandises dangereuses explosives, les bassins de retenue ou le bassin d'aspiration sont soumis à un risque d'explosion élevé.</li> </ul> Réduction du risque: faible.	
<b>Autres effets</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Nécessite d'importants travaux d'entretien pour assurer une fiabilité élevée (problème de tartre, d'eau ou de substances agressives).</li> <li>• Si une grande quantité d'eau coule de la montagne: possibilité de l'utiliser en cas d'incendie (cf. I-64).</li> </ul>	
<b>Rapport coût/efficacité</b> Tunnels neufs: bon (prise en compte de la sécurité comme spécifié lors de la conception du système de drainage). Non applicable dans le cas des tunnels existants .	



I-26

## Systèmes de drainage des voies (drainage et bassin de retenue)

### Evaluation

#### Tunnels neufs

Lors de la conception d'un système de drainage, il est recommandé de tenir compte des aspects « sécurité » spécifiés.

#### Tunnels existants

Non faisable dans le sens d'une optimisation d'un tunnel existant; à prendre en considération lorsqu'une reconstruction est prévue ou lorsqu'il y a des motifs spécifiques du point de vue de la sécurité ou de l'environnement..

<b>I-40</b>	<b>Chemins d'évacuation (itinéraires, mains courantes, marquages)</b>
<p><b>Description générale et objectifs</b></p> <p>Prévision de chemins dans le tunnel pour faciliter l'évacuation (normalement le long de la paroi du tunnel, également sur ou entre les voies s'il n'y a pas suffisamment de place). Main courante le long de la paroi du tunnel et spécialement autour des obstacles. L'itinéraire et le sens d'évacuation sont marqués par des pictogrammes.</p>	
<p><b>Aspects importants</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Les gens doivent pouvoir marcher rapidement pour s'échapper en cas de feu.</li> <li>• Dans les Tunnels neufs, le profil transversal permet de créer des chemins d'une bonne largeur.</li> <li>• A combiner avec I-41 (éclairage de secours du tunnel).</li> <li>• Type de trafic: p.ex. si seulement trains de marchandises -&gt; les itinéraires d'évacuation sont moins importants.</li> <li>• La hauteur optimale des itinéraires d'évacuation dépend de la situation (moyens d'évacuation depuis le train, concept d'intervention, espace à l'intérieur du tunnel) : → pas de spécification de hauteur.</li> </ul>	
<p><b>Spécifications</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Largeur minimale pour Tunnels neufs: &gt;70cm, optimum 1,20m.</li> <li>• Dans les tunnels à double voie des deux côtés du tunnel.</li> <li>• Tunnels existants: optimisation de la surface (p.ex. lit de gravier compressé, caniveau de câbles à dalle plus large).</li> <li>• Surface dure et lisse, sans obstacle dans la mesure du possible.</li> <li>• Main courante autour des obstacles.</li> <li>• Signaux placés à proximité de l'éclairage: indication du sens d'évacuation et de la distance jusqu'à la sortie la plus proche.</li> </ul>	
<p><b>Impact sur la sécurité</b></p> <p>+ Augmentation de la vitesse de déplacement à pied, réduction des embouteillages et possibilité de distances d'évacuation plus grandes.</p> <p>+ Également utile lorsque les personnes doivent quitter un train en panne.</p> <p>+ Les itinéraires d'évacuation servent également aux services de secours.</p> <p>B Les signaux peuvent induire en erreur.</p> <p>Réduction du risque: moyenne.</p>	
<p><b>Autres effets</b></p> <p>Peut être utilisé pour l'entretien également.</p>	
<p><b>Rapport coût/efficacité</b></p> <p>Tunnels neufs: bon rapport coût/efficacité, car les itinéraires d'évacuation peuvent être intégrés sans dépense supplémentaire.</p> <p>Tunnels existants: rapport coût/efficacité moyen pour les tunnels à risque accru</p>	
<p><b>Evaluation</b></p> <p><b>Tunnels neufs</b></p> <p>Mesure standard recommandée comme spécifié.</p> <p><b>Tunnels existants</b></p> <p>Des améliorations pour permettre un déplacement adéquat sont recommandées dans le cas des tunnels existants (équipement de base), les solutions doivent être optimisées en fonction des risques spécifiques (longueur du tunnel, trafic, concept de secours).</p>	

I-41	<b>Eclairage de secours à l'intérieur des tunnels</b>
<b>Description générale et objectifs</b> Le long de l'une ou des deux parois du tunnel, éclairage de l'itinéraire d'évacuation. L'éclairage de l'itinéraire d'évacuation doit être uniforme pour permettre le déplacement sûr des personnes évacuées.	
<b>Aspects importants</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Raisonnable uniquement en combinaison avec des itinéraires d'évacuation I-40 (itinéraires, mains courantes, marquages).</li> <li>● Visibilité en présence de fumée (la fumée peut remplir tout le diamètre du tunnel, suivant le temps et la distance jusqu'à l'incendie).</li> <li>● Fiabilité et autonomie.</li> <li>● Eclairage le long d'une ou des deux parois du tunnel.</li> <li>● Télécommande (conditions techniques et d'exploitation).</li> </ul>	
<b>Spécifications (voir aussi « Evaluation »)</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Spécifications dans le cas d'un éclairage électrique (possibilité de solutions alternatives si elles respectent entièrement les fonctions requises) :</li> <li>● D'un ou des deux côtés                    tunnel à voie unique: un côté (du même côté que le chemin)     tunnel à double voie: des deux côtés ;</li> <li>● Luminosité                                      Permet dans la mesure du possible un déplacement sûr des personnes même dans la fumée et avec peu de visibilité ;</li> <li>● Hauteur de l'éclairage                      au-dessus du chemin, le plus bas possible, selon l'espace disponible ;</li> <li>● Autonomie et fiabilité                      a) alimentation en courant électrique garantie pour les concepts d'urgence ou autres, afin d'assurer une fiabilité élevée ;     b) câbles d'alimentation protégés des impacts mécaniques et du feu ;     c) il est recommandé de construire des sections pour l'alimentation électrique/éclairage ;</li> <li>● Autres spécifications:                      Possibilité d'allumer depuis le centre d'exploitation, les entrées et l'intérieur du tunnel.</li> <li>● Distance minimale entre l'entrée et le premier commutateur : 250 m si les aspects « sûreté » sont importants ;</li> <li>● En exploitation normale, l'éclairage est éteint.</li> </ul>	
<b>Impact sur la sécurité</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>+ Permet aux gens de marcher à une vitesse adéquate lorsqu'il est nécessaire d'évacuer le train (réduction des conséquences).</li> <li>– En cas d'arrêt d'un train, un éclairage pourrait encourager les voyageurs à quitter le train (de manière incontrôlée).</li> <li>B Les installations exigent un entretien supplémentaire: une augmentation des risques d'accidents du travail peut en être une conséquence.</li> <li>B Si la fumée remplit toute la section transversale du tunnel, l'éclairage devient moins efficace voire inutile.</li> <li>B Problème du vandalisme/accès non autorisé avec un éclairage permanent.</li> </ul> Action du risque: moyenne.	
<b>Autres effets</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Convient également comme éclairage pour les travaux d'entretien (nécessité d'un éclairage supplémentaire pour garantir une luminosité suffisante).</li> <li>● Une alimentation électrique garantie par batteries est chère à l'entretien (entretien intense pour maintenir un fonctionnement fiable).</li> </ul>	
<b>Rapport coût/efficacité</b> Tunnels neufs: bon Tunnels existants: moyen, selon la situation pour les tunnels > 1km et un trafic voyageurs intense, bon en général.	

I-41

## Eclairage de secours à l'intérieur des tunnels

### Evaluation

#### Tunnels neufs

Mesure recommandée pour les tunnels neufs, comme spécifié.

#### Tunnels existants

L'éclairage du tunnel est en général recommandé pour les tunnels d'environ >1 km. Les décisions doivent être prises sur base d'une évaluation du risque, compte tenu des données d'exploitation et de la longueur du tunnel au moins.

Afin de maintenir un bon rapport coût-performance, les spécifications peuvent être réduites: éclairage d'un seul côté, exigences de luminosité et de fiabilité plus faibles.

I-42	<b>Appareils téléphoniques d'urgence / moyens de communication</b>
<b>Description générale et objectifs</b> Appareils téléphoniques d'urgence ou moyens de communication similaires, accessibles au public en cas d'urgence, reliés au centre d'exploitation (indépendant du système de liaison radio sol/trains ou des téléphones portables). Les appareils téléphoniques d'urgence doivent permettre une communication adéquate et fiable en cas d'urgence.	
<b>Aspects importants</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Le système de téléphone constitue un niveau de communication redondant.</li> <li>• Il doit être combiné avec des téléphones destinés à d'autres fins (entretien, pannes d'exploitation, etc.).</li> <li>• Combinaison avec I-43: peut être utilisé pour les messages transmis aux voyageurs par haut-parleurs.</li> </ul>	
<b>Spécifications</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Clairement visible et facile à utiliser (indications nécessaires).</li> <li>• Fiabilité, voir I-67.</li> <li>• Connexion directe et facile à utiliser avec le centre d'exploitation responsable.</li> <li>• Distance entre les appareils téléphoniques: 500 - 1000 m (directive) selon la distance entre sorties ou rameaux de communication d'une galerie à l'autre.</li> <li>• Emplacements supplémentaires: entrées et sorties.</li> <li>• Dans le cas des tunnels existants: optimisation des téléphones existants dans la mesure du possible.</li> </ul>	
<b>Impact sur la sécurité</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>+ Alerte rapide après un accident.</li> <li>+ Moyen de communication supplémentaire en cas de panne des systèmes de liaison radio.</li> </ul> Réduction du risque: faible.	
<b>Autres effets</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Également utilisables pour l'exploitation et l'entretien.</li> </ul>	
<b>Rapport coût/efficacité</b> Tunnels neufs: bon Tunnels existants: bon, sous réserve d'optimisation et d'intégration des éventuels appareils téléphoniques existants.	
<b>Evaluation</b> <b>Tunnels neufs</b> Standard recommandé. <b>Tunnels existants</b> Standard recommandé, optimisation des appareils téléphoniques existants dans la mesure où c'est possible et raisonnable.	

I-43	<b>Distances d'évacuation</b>
<b>Description générale et objectifs</b> La distance maximale entre deux lieux sûrs (entrée, sortie de secours, rameau de communication) dans le tunnel est définie pour les secours autonomes; elle ne doit pas dépasser 1000 m.	
<b>Aspects importants</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Toute personne qui se trouve dans le tunnel devrait avoir la possibilité de se réfugier dans un lieu sûr en cas d'accident.</li> <li>• L'efficacité principale des sorties se base sur des scénarios d'incendie.</li> <li>• Le fait de pouvoir atteindre un lieu sûr en cas d'incendie constitue un point central de tout concept de secours.</li> <li>• Les premières minutes sont décisives (avant que les services de secours n'arrivent sur place).</li> <li>• Même avec de très courtes distances vers un lieu sûr, les conséquences ne peuvent être réduites à zéro.</li> <li>• La distance entre lieux sûrs dépend aussi de la situation: propagation de fumée, possibilité de se déplacer rapidement, etc.</li> <li>• Les sorties de secours ou constructions similaires sont coûteuses, la décision doit tenir compte du critère de rentabilité.</li> <li>• Suivant la topographie, une norme de distance courte entre lieux sûrs peut impliquer la construction de deux tunnels à voie unique ou d'une galerie de sécurité parallèle.</li> <li>• Dans tous les cas, les cheminées de chantier / rameaux de communication ou endroits très proches de la surface, etc. doivent être utilisés comme sortie de secours.</li> <li>• Les rameaux de communication entre deux tunnels parallèles ont un bon rapport coût/efficacité par comparaison avec les sorties à la surface. De ce fait il est raisonnable, pour des critères de rentabilité, de réduire la distance maximale entre deux rameaux de communication.</li> </ul>	
<b>Spécifications</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Distance entre lieux sûrs: 1000m → distance d'évacuation de 500m au maximum pour les secours autonomes (directive générale).</li> <li>• Pour deux tunnels à voie unique et galerie de sécurité: distance réduite à 500 m (rentable).</li> <li>• Une adaptation à la situation locale, aux paramètres d'exploitation et au <i>concept de sécurité complet</i> est possible et raisonnable.</li> </ul>	
<b>Impact sur la sécurité</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>+ Distance courte: assure une évacuation rapide en cas d'incendie et de fumée (point capital pour réduire les conséquences).</li> <li>+ Distances d'accès courtes pour les services de secours dans le tunnel principal.</li> </ul> Réduction du risque: élevée.	
<b>Autres effets</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Est également utile au personnel d'entretien.</li> </ul>	
<b>Rapport coût/efficacité</b> Tunnels neufs: le rapport coût/efficacité dépend très fortement de la situation locale (coûts). En présence de conditions favorables, on peut s'attendre à un bon rapport coût/efficacité. Tunnels existants: dans le cas des tunnels existants, les travaux de construction supplémentaires sont très coûteux et s'il ne sont effectués que pour des raisons de sécurité, le rapport coût/efficacité est en principe très défavorable.	

**Evaluation****Tunnels neufs**

La distance optimale doit être le résultat d'une évaluation des principaux paramètres qui influencent la sécurité (trafic journalier, type de trafic, concept de secours, longueur du tunnel, etc.). Les distances maximales suivantes sont proposées:

- a) Intervalle des rameaux de communication entre deux tunnels parallèles: 500 m ;
- b) Distance entre sorties de secours (vers la surface): 1'000 m.

Les distances indiquées pour a) et b) se basent sur le critère de rentabilité.

**Tunnels existants**

Les mesures de construction supplémentaires pour réduire les distances d'évacuation ne sont pas recommandées comme mesures standard. Sous certaines conditions, une amélioration avec des sorties de secours ou autres possibilités similaires peut être adéquate :

- Rénovation du tunnel
- Risque élevé dû aux caractéristiques du tunnel et au mode d'exploitation
- Bonnes possibilités (tunnel près de la surface, galeries de jonction / cheminées).

<b>I-44</b>	<b>Sorties / Accès verticaux</b>
<b>Description générale et objectifs</b>	
Construction de sorties verticales du tunnel utilisées comme voie d'évacuation ou d'accès pour les services de secours.	
<b>Aspects importants</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• En général, seulement pour les tunnels à un seul tube (à voie unique ou à double voie).</li> <li>• Les cheminées de chantier et les espaces à proximité de la surface sont les lieux de prédilection pour les sorties latérales (optimisation).</li> <li>• Solutions possibles uniquement si le tunnel se situe près de la surface: bordant / traversant une vallée, une colline, etc.</li> <li>• Accessibilité depuis l'extérieur (cf. I-61, accès à l'entrée et aux sorties du tunnel).</li> <li>• Peut être une solution pour améliorer la sécurité des tunnels existants à hauts risques.</li> <li>• A combiner avec des moyens pour les services de secours (I-60 - dispositifs de mise à la terre, I-64 - alimentation en eau, I-65 - alimentation en courant électrique, I-69 - équipement de secours) et l'accès au tunnel.</li> <li>• Restrictions pour les bâtiments à la surface: si les sorties se trouvent dans une zone de réserve naturelle ou dans une zone d'habitation dense.</li> </ul>	
<b>Spécifications</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hauteur maximale inférieure à 30m, largeur de l'escalier environ 1,2m (directive).</li> <li>• Conception ou installation pour éviter la propagation de la fumée dans le lieu sûr (solution possible: serrures ou système de ventilation)</li> <li>• Équipé d'un éclairage et de moyens de communication (téléphone p.ex.)</li> <li>• Conception ou installation pour éviter l'accès non autorisé depuis l'extérieur.</li> </ul>	
<b>Impact sur la sécurité</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Evacuation dans un lieu sûr en cas d'incendie et de fumée.</li> <li>+ Accès direct hors du tunnel.</li> <li>+ Accès pour les services de secours.</li> <li>- L'escalier peut provoquer un embouteillage et ne convient pas aux personnes à mobilité réduite.</li> <li>- Interférence entre les personnes qui s'échappent et les services de secours qui entrent.</li> </ul> <p>Réduction du risque: moyenne.</p>	
<b>Autres effets</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Peut également être utilisé pour des raisons d'entretien.</li> </ul>	
<b>Rapport coût/efficacité</b>	
Tunnels neufs: bon, si la mesure va de pair avec de bonnes possibilités (construction, proximité de la surface).	
Tunnels existants: Non applicable en général.	
<b>Evaluation</b>	
<b>Tunnels neufs</b>	
Si des sorties verticales sont prévues, une distance d'environ 1000m entre les sorties et les dispositions définies dans « spécifications » sont recommandées.	
<b>Tunnels existants</b>	
Non applicable en général.	
Tunnels à haut risque: possibilité d'améliorer les tunnels à l'occasion d'une rénovation totale, si les circonstances s'y prêtent (proximité de la surface). Les décisions doivent se baser sur une évaluation précise.	



I-45	<b>Sorties / Accès latéraux</b>
<b>Description générale et objectifs</b> Construction de sorties latérales du tunnel utilisées pour l'évacuation de même que pour l'accès des services de secours.	
<b>Aspects importants</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• En général seulement pour les tunnels à un seul tube (à voie unique ou à double voie).</li> <li>• Les galeries de jonction utilisées lors de la construction et les espaces près de la surface sont des lieux de prédilection pour les sorties latérales (optimisation).</li> <li>• Solution possible uniquement si le tunnel se trouve près de la surface: bordant une vallée, colline, etc.</li> <li>• Accessibilité depuis l'extérieur (cf. I-61, accès à l'entrée et aux sorties du tunnel).</li> <li>• Peut être une solution pour améliorer la sécurité des tunnels existants à hauts risques.</li> <li>• A combiner avec des moyens pour les services de secours (I-60 - dispositifs de mise à la terre, I-64 - alimentation en eau, I-65 - alimentation en courant électrique, I-69 - équipement de secours) et l'accès au tunnel.</li> <li>• Restrictions pour les bâtiments à la surface: si les sorties se trouvent dans une zone de réserve naturelle ou une zone d'habitation dense.</li> </ul>	
<b>Spécifications</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Profil transversal: 2.25m x 2.25m (directive).</li> <li>• Longueur maximale d'environ 150m (directive). En cas de longueur supérieure, accessible avec des véhicules routiers (voir exigences pour galerie parallèle de sécurité - I-48).</li> <li>• Conception ou installation pour éviter la propagation de la fumée dans le lieu sûr (solution possible: sas).</li> <li>• Équipé d'éclairage et de moyens de communication (téléphone p.ex.).</li> <li>• Conception ou installation pour éviter l'accès non autorisé depuis l'extérieur.</li> </ul>	
<b>Impact sur la sécurité</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>+ Evacuation dans un lieu sûr en cas d'incendie et de fumée.</li> <li>+ Accès direct hors du tunnel.</li> <li>+ Accès pour les services de secours.</li> <li>- Les sorties de secours peuvent être la cible d'actes de sabotage.</li> </ul> Réduction du risque: moyenne.	
<b>Autres effets</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Peut également être utilisé pour des raisons d'entretien.</li> </ul>	
<b>Rapport coût/efficacité</b> Tunnels neufs: bon, si la mesure va de pair avec de bonnes possibilités (construction, proximité de la surface). Tunnels existants: Non applicable en général.	
<b>Evaluation</b> <b>Tunnels neufs</b> Si des sorties latérales sont prévues, une distance d'environ 1000m entre les sorties et les dispositions définies dans « Spécifications » sont recommandées. <b>Tunnels existants</b> Non applicable en général. Tunnels à haut risque: possibilité d'améliorer les tunnels à l'occasion d'une rénovation totale. Les décisions doivent se baser sur une évaluation précise.	

I-46	<b>Rameaux de communication</b>
<b>Description générale et objectifs</b> Rameaux de communication entre deux tunnels à voie unique ou entre un tunnel à double voie et une galerie de sécurité.	
<b>Aspects importants</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Voir aussi I-44 (distance d'évacuation), I-22 (deux tunnels à voie unique) et I-48 (galerie parallèle de service et de sécurité).</li> <li>• Les rameaux de communication raccordent le tunnel principal et les lieux sûrs, ils ne constituent pas un lieu sûr, car ils ne sont en général pas assez spacieux pour un grand nombre de personnes.</li> <li>• Les rameaux de communication sont relativement bon marché → une distance plus courte entre rameaux de communication qu'entre sorties est rentable.</li> </ul>	
<b>Spécifications</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Profil transversal: 2.25m x 2.25m (directive).</li> <li>• Conception ou installation pour éviter la propagation de fumée dans un lieu sûr.</li> <li>• Équipé d'éclairage et de moyens de communication (téléphone p.ex.).</li> <li>• Conception ou installation pour éviter l'accès non autorisé au tunnel voisin si l'exploitation est maintenue.</li> </ul>	
<b>Impact sur la sécurité</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>+ Evacuation vers un lieu sûr en cas d'incendie et de fumée.</li> <li>+ Accès pour les services de secours.</li> </ul> Réduction du risque: moyenne.	
<b>Autres effets</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Les rameaux de communication peuvent aussi être utilisés pour les installations techniques et le service d'entretien.</li> </ul>	
<b>Rapport coût/efficacité</b> Le rapport coût/efficacité dépend de la décision de base relative au système du tunnel (double voie, deux tunnels à voie unique, etc.). La distance entre rameaux de communication et l'équipement principal est secondaire. Par comparaison avec les sorties verticales ou latérales, la solution avec des rameaux de communication présente généralement un meilleur rapport coût/efficacité.	
<b>Evaluation</b> <p><b>Tunnels neufs</b></p> Si des rameaux de communication sont prévus, une distance d'environ 500m entre eux est recommandée (voir I-44 - distance d'échappement). <p><b>Tunnels existants</b></p> Non applicable en général. Tunnels à haut risque: possibilité d'améliorer les tunnels à l'occasion d'une rénovation totale. Les décisions doivent se baser sur une évaluation précise (voir I-44 - distance d'échappement).	

<b>I-47</b>	<b>Galerie parallèle de service et de sécurité</b>
<b>Description générale et objectifs</b>	
<p>Prévision d'une galerie de service et de sécurité parallèle au tunnel principal (à double voie). Cette galerie est maintenue exempte de fumée et constitue un lieu sûr en cas d'incendie ou autre accident. La galerie de sécurité peut aussi être utilisée par les services de secours.</p>	
<b>Aspects importants</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Une galerie parallèle de reconnaissance peut servir de tunnel de sécurité.</li> <li>• La solution doit résulter d'une évaluation approfondie, basée sur des critères de rentabilité.</li> <li>• Nécessite de la place dans la zone d'entrée (distance latérale jusqu'à l'axe principal du tunnel).</li> <li>• Une galerie parallèle peut couvrir certaines sections seulement de la longueur du tunnel (en combinaison avec des cheminées ou des rameaux de communication).</li> </ul>	
<b>Spécifications</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rameaux de communication vers le tunnel principal: voir I-46 et I-48.</li> <li>• Profil transversal: 3.5m x 3.5m (directive), accessible aux véhicules routiers, possibilité de faire demi-tour et de passer.</li> <li>• Système de ventilation indépendant (ou installation similaire) pour maintenir la galerie de sécurité exempte de fumée (produire une surpression par rapport aux rameaux de communication / tunnel principal).</li> </ul>	
<b>Impact sur la sécurité</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Procure un lieu sûr en cas d'accident, possibilité de quitter le tunnel indépendamment du tunnel principal.</li> <li>+ Possibilité de diminuer la distance d'évacuation jusqu'aux rameaux de communication dans le tunnel principal.</li> <li>+ Accès indépendant pour les services de secours, possibilité d'arriver près du lieu d'accident.</li> <li>- Les voyageurs ne sont pas encore hors du tunnel.</li> <li>- Interférence entre les services de secours et les personnes qui s'échappent.</li> </ul> <p>Action du risque: moyenne – élevée.</p>	
<b>Autres effets</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Peut également servir pour le service d'entretien.</li> <li>• En principe faisable également dans le cas des tunnels existants.</li> </ul>	
<b>Rapport coût/efficacité</b>	
<p>Tunnels neufs: moyen. Si d'autres bénéfices peuvent en être tirés, le rapport coût/efficacité peut être équilibré, sinon il est défavorable.</p> <p>Tunnels existants : faible. On peut s'attendre à un très mauvais rapport coût efficacité si la construction est effectuée pour des raisons de sécurité uniquement.</p>	
<b>Evaluation</b>	
<b>Tunnels neufs</b>	
Doit être le résultat d'une évaluation du système optimal. Non recommandé en guise de solution à caractère général.	
<b>Tunnels existants</b>	
Non applicable en général.	
Tunnels à haut risque: possibilité d'améliorer les tunnels à l'occasion d'une rénovation totale. Les décisions doivent se baser sur une évaluation précise.	

I-60	<b>Dispositif de mise à la terre</b>
<b>Description générale et objectifs</b> Déconnexion de la caténaire pour le tunnel entier. Dispositifs de mise à la terre y compris les appareils de mesure de la tension aux entrées et aux sorties de secours.	
<b>Aspects importants</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Les services de secours ne peuvent pas entrer dans un tunnel en toute sécurité si la caténaire est sous tension.</li> <li>• Déconnexion de la caténaire par l'entreprise ferroviaire.</li> <li>• Si la mise à la terre est effectuée par les sapeurs-pompiers: des règles et des procédures sévères ainsi que des exercices sont nécessaires.</li> <li>• Ne faire appel qu'à des personnes spécialement formées (sapeurs-pompiers professionnels de préférence).</li> </ul>	
<b>Spécifications</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Des dispositifs de mise à la terre et des appareils de mesure sont positionnés à toutes les entrées de tunnel, avec moyens de communication (téléphone et éclairage, p.ex.).</li> <li>• Les procédures et les responsabilités sont définies (y compris la communication entre les services de secours et le centre responsable).</li> </ul>	
<b>Impact sur la sécurité</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>+ Prévention des accidents impliquant le courant électrique lors des travaux de maintenance et en cas d'urgence.</li> <li>+ Réduction des délais d'entrée dans le tunnel.</li> <li>+ La mise à la terre peut être effectuée par les services de secours s'ils sont bien organisés.</li> <li>- Risque d'accident en cas de fausse manipulation (risque supplémentaire pour les services de secours).</li> </ul> Réduction du risque: faible.	
<b>Autres effets</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Peut également être utilisé par le personnel d'entretien.</li> </ul>	
<b>Rapport coût/efficacité</b> Bon rapport coût/efficacité.	
<b>Evaluation</b> <b>Tunnels neufs et tunnels existants</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mesure de sécurité recommandée à l'entrée des tunnels, comme spécifié.</li> </ul>	

I-61	<b>Accès à l'entrée et aux sorties du tunnel</b>
<b>Description générale et objectifs</b> Route d'accès pour les services de secours aux entrées et aux sorties d'urgence du tunnel.	
<b>Aspects importants</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Il faut une possibilité d'accès, indépendamment du concept d'intervention (sapeurs-pompiers ou moyens ferroviaires)</li> <li>• Topographie: zone de montagne ou zone urbaine, combinaison de tunnels et de ponts → détermine les optimisations</li> <li>• Les tunnels existants sont différents des Tunnels neufs (les voies d'accès au chantier peuvent être utilisés pour la phase d'exploitation)</li> </ul>	
<b>Spécifications</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Les routes d'accès doivent être praticables par les véhicules normaux des sapeurs-pompiers</li> <li>• Surface solide (les dommages après une grande intervention sont acceptables)</li> <li>• La route doit aboutir à une zone de secours ou à une place prévue pour faire demi-tour</li> <li>• Largeur minimale: 3 m</li> <li>• Aussi près que possible de l'entrée, suivant la topographie locale</li> </ul>	
<b>Impact sur la sécurité</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>+ La zone d'entrée peut être atteinte rapidement par les véhicules routiers (différents buts)</li> <li>+ Transport de personnes vers le tunnel et depuis le tunnel (p.ex. blessés)</li> </ul> Réduction du risque: moyenne	
<b>Autres effets</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Peut aussi être utilisé pour les travaux d'entretien</li> <li>• Le droit d'utiliser les routes doit être enregistré</li> </ul>	
<b>Rapport coût/efficacité</b> Tunnels neufs: bon, car les routes d'accès sont toujours utilisées pour la phase de construction. Tunnels existants: faible (s'il faut des travaux de construction supplémentaires)	
<b>Conclusion de la phase 1</b> Peut être considéré comme standard pour les Tunnels neufs. Il existe des différences entre les directives au niveau des exigences en matière de design (p.ex. largeur des routes)	
<b>Evaluation</b> <b>Tunnels neufs</b> Recommandé en combinaison avec des zones de secours (I-63) <b>Tunnels existants</b> Recommandé pour améliorer les situations dans mesure du possible. Sous des conditions extrêmes, telles que des zones de montagne: au moins définir et préparer des places d'atterrissage pour hélicoptères.	

I-62	<b>Voies accessibles aux véhicules routiers</b>
<b>Description générale et objectifs</b> Voies accessibles aux véhicules routiers des services de secours qui peuvent ainsi pénétrer directement dans le tunnel par leurs propres moyens.	
<b>Aspects importants:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tunnel à double voie ou à voie unique: « gestion du trafic » différente, unidirectionnelle ou bidirectionnelle.</li> <li>• Le concept d'intervention pour les services de secours doit se baser sur les sapeurs pompiers.</li> <li>• Une brigade de sapeurs-pompiers doit se trouver à proximité du tunnel (de préférence des sapeurs-pompiers professionnels).</li> <li>• Accessibilité des entrées du tunnel aux véhicules routiers, possibilité de rouler sur les rails.</li> <li>• Des règles et procédures strictes pour rouler sur les rails sont nécessaires (p.ex. personnel ferroviaire sur place).</li> <li>• Tous les transports sont assurés par des véhicules routiers, aucun véhicule ferroviaire n'est nécessaire.</li> <li>• Combinaison avec d'autres installations fixes telles que alimentation en eau utile / nécessaire (suivant le concept d'intervention).</li> </ul>	
<b>Spécifications</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Toute la surface est lisse et praticable (nécessité de plaques entre les rails).</li> <li>• Dans les tunnels à double voie, il faut prévoir un espace pour faire demi-tour (suivant la gestion du trafic).</li> <li>• Les zones d'entrée pour accéder aux voies et les routes d'accès doivent être protégées (pour éviter tout accès en service normal).</li> </ul>	
<b>Impact sur la sécurité</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>+ Les sapeurs-pompiers sont rapidement sur place pour décider de la stratégie d'intervention optimale et des premiers secours.</li> <li>+ Ils peuvent utiliser leur propre équipement et système d'alimentation, ainsi que leurs propres poids lourds.</li> <li>- Si les règles et les procédures d'utilisation des voies ne sont pas strictement respectées ou si l'accès aux voies n'est pas physiquement empêché -&gt; risque de collision avec des trains en marche.</li> <li>- Si plusieurs véhicules entrent dans le tunnel, ils peuvent bloquer le passage (-&gt; nécessité de règles strictes).</li> </ul> Réduction du risque: faible.	
<b>Autres effets</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Peut aussi être utilisé par le personnel d'entretien.</li> <li>• Entrave l'entretien des rails.</li> </ul>	
<b>Rapport coût/efficacité</b> Tunnels neufs: faible, à cause des frais d'investissement et de maintenance élevés. Tunnels existants: mesure de sécurité non réaliste.	
<b>Evaluation</b> <b>Tunnels neufs</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Non recommandé d'une manière générale. Peut s'avérer raisonnable si l'accès pour les véhicules routiers fait partie d'un vaste concept de secours basé sur l'intervention des sapeurs-pompiers. Non recommandé si la stratégie d'intervention se base également sur les moyens ferroviaires.</li> </ul> <b>Tunnels existants</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Non réalisable.</li> </ul>	

I-63	<b>Zones de secours aux entrées ou sorties du tunnel</b>
<b>Description générale et objectifs</b> Les zones de secours sont placées à proximité des entrées et sorties de secours comme base des opérations de secours.	
<b>Aspects importants:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Topographie, zone d'installation, accessibilité aux véhicules routiers.</li> <li>• Différences entre tunnels neufs et tunnels existants.</li> <li>• Les zones de secours et toutes les installations doivent être indiquées sur les plans de secours (O-30).</li> </ul>	
<b>Spécifications</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• La zone prévue à l'entrée des <i>tunnels neufs</i> doit comprendre: <ul style="list-style-type: none"> <li>- route d'accès à la zone, praticable avec des camions de pompiers, route solide, possibilité pour deux véhicules de se croiser ;</li> <li>- zone d'environ 500 m<sup>2</sup>, accessible aux véhicules routiers ;</li> <li>- alimentation en courant électrique, éclairage, installations fixes pour la communication ;</li> <li>- possibilités d'alimentation en eau (sur place ou à proximité) ;</li> <li>- terrain d'atterrissage défini pour hélicoptères (20x20m) et liaison routière avec la zone de secours</li> <li>- accès à l'entrée.</li> </ul> </li> <li>• La zone prévue aux sorties doit comprendre: <ul style="list-style-type: none"> <li>- route d'accès à la zone, praticable avec des camions de pompiers, route solide, espace pour faire demi-tour, sinon un terrain d'atterrissage pour hélicoptères ;</li> <li>- alimentation en courant électrique, éclairage, possibilité d'alimentation en eau (sur place ou à proximité).</li> </ul> </li> <li>• La zone prévue pour les <i>tunnels existants</i> doit comprendre : <ul style="list-style-type: none"> <li>- route d'accès à la zone, praticable avec des camions de pompiers, zone pour faire demi-tour et/ou terrain d'atterrissage défini pour hélicoptères (20x20m) dans la mesure où c'est raisonnable ;</li> <li>- alimentation en courant électrique, éclairage, possibilité d'alimentation en eau (dans la mesure où c'est possible et raisonnable) .</li> </ul> </li> <li>- Les possibilités locales doivent être prises en compte -&gt; optimisation.</li> <li>- Les routes et terrains existants doivent être intégrés dans ces considérations.</li> </ul>	
<b>Impact sur la sécurité</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>+ Transport rapide des moyens de secours vers l'entrée, la zone constitue la base pour les opérations de secours ou de lutte contre l'incendie.</li> <li>+ Triage et premiers secours aux blessés, organisation du transport vers les hôpitaux.</li> <li>+ Réduction du délai pour l'opération de secours et l'évacuation.</li> </ul> Réduction du risque: faible – moyenne.	
<b>Autres effets</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Peuvent aussi être utilisées par le service d'entretien.</li> <li>• Les droits d'utiliser les zones et les routes doivent être enregistrés.</li> </ul>	
<b>Rapport coût/efficacité</b> Tunnels neufs: bon , selon la situation (si l'accès est aisé notamment). Tunnels existants: bon, selon la situation (si l'accès est aisé notamment).	
<b>Evaluation</b> <b>Tunnels neufs</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mesure de sécurité standard recommandée en fonction des spécifications relatives aux possibilités locales.</li> </ul> <b>Tunnels existants</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mesures généralement recommandées avec la restriction suivante: prise en compte de la topographie locale et des possibilités d'optimisation.</li> </ul>	

I-64	<b>Alimentation en eau (aux points d'accès et à l'intérieur du tunnel)</b>
<b>Description générale et objectifs</b> a) Conduite d'eau continue à travers le tunnel: conduite toujours pleine ou sèche. b) Embranchement aux entrées de tunnel, sorties de secours: conduite toujours pleine ou sèche.	
<b>Aspects importants</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Conduite toujours pleine ou sèche, selon la situation locale.</li> <li>• L'utilité dépend du concept d'intervention général: basé sur les sapeurs-pompiers (→ installations fixes préférables) ou les services ferroviaires (→ alimentation avec wagons-citernes possible).</li> <li>• La longueur et l'emplacement du tunnel sont déterminants: les tunnels courts peuvent être alimentés par des moyens mobiles, un emplacement dans la montagne peut être éloigné de toute alimentation en eau.</li> <li>• Scénarios dans lesquels une extinction rapide et efficace est importante: début d'incendie, incendie retardé après un accident de train (→ protection au moyen de mousse), refroidissement d'un wagon-citerne pour prévenir d'autres dégâts, etc.</li> <li>• Cours des événements: suivant la situation locale et le concept de secours, il faudra aux sapeurs-pompiers environ 15 à 45 minutes pour arriver sur place. Jusque là, les secours autonomes auront déjà eu lieu.</li> </ul>	
<b>Spécifications</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Alimentation de la conduite d'eau: bassin, borne à proximité connectée à un système d'alimentation en eau, autres sources (p.ex. rivière).</li> <li>• Réserve de 100m<sup>3</sup> aux entrées de tunnels si l'alimentation est assurée par un bassin.</li> <li>• Bornes dans le tunnel: tous les 250m s'il y a une conduite continue; aux sorties de secours si l'alimentation ne se fait que par ces sorties.</li> <li>• Pleine ou sèche, selon la situation locale.</li> <li>• Installée d'un côté de la voie.</li> <li>• La conception doit notamment tenir compte des aspects « entretien ».</li> </ul>	
<b>Impact sur la sécurité</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>+ Permet de commencer plus rapidement l'extinction du feu.</li> <li>+ Selon le scénario, prévention de l'incendie.</li> <li>+ Effet principal: réduction de l'endommagement de la construction.</li> <li>+ Élimination des gaz toxiques.</li> <li>- Contact avec l'installation électrique, spécialement le câble d'alimentation, si les règles et procédures ne sont pas strictement respectées.</li> <li>- Le contact de l'eau avec certains produits chimiques peut provoquer de violentes réactions.</li> <li>- Il faut du temps pour remplir la conduite.</li> </ul> Réduction du risque: faible.	
<b>Autres effets</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Frais d'entretien (aucun autre besoin d'eau dans le tunnel).</li> <li>• Le gel peut endommager les conduites pleines.</li> <li>• Le gel, le calcaire, la corrosion et autres dommages (à peine visibles) peuvent considérablement diminuer l'effet.</li> </ul>	
<b>Rapport coût/efficacité</b> Tunnels neufs: faible à moyen. Tunnels existants: faible.	



I-64

## Alimentation en eau (aux points d'accès et à l'intérieur du tunnel)

### Evaluation

#### Tunnels neufs

Alimentation en eau par une conduite traversant le tunnel ou un embranchement vers les entrées ou sorties, recommandée comme standard. D'autres solutions par des moyens ferroviaires mobiles conviennent également si elles sont basées sur une organisation de secours « professionnelle » (p.ex. train pompiers et train de secours).

#### Tunnels existants

Si le concept d'intervention est basé sur les moyens ferroviaires, une alimentation en eau mobile est recommandée (train de secours, p.ex.). Si le concept d'intervention est basé sur les brigades de pompiers, une alimentation en eau des entrées du tunnel est recommandée (p.ex. moyens mobiles par la route, réserves d'eau à proximité).

Équipement supplémentaire d'un tunnel existant à l'occasion d'une rénovation seulement.

I-65	<b>Alimentation en courant électrique pour les services de secours</b>
<b>Description générale et objectifs</b> Alimentation en courant électrique correspondant à l'équipement pour services de secours dans les tunnels.	
<b>Aspects importants</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>● L'alimentation en courant électrique doit être protégée de la chaleur, de l'eau et des dommages mécaniques (voir I-67) .</li> <li>● L'alimentation en courant électrique aide les services de secours à intervenir lors d'un accident.</li> <li>● Une réserve portable peut être acceptable dans les tunnels courts.</li> </ul>	
<b>Spécifications</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Distance entre sources d'alimentation: 125 – 250m.</li> <li>● Assurer la compatibilité pour les services de secours et l'entretien.</li> <li>● Emplacement dans des niches, regroupement avec d'autres installations électriques et moyens de communication.</li> <li>● Protection comme indiqué sous I-67.</li> <li>● D'un côté ou des deux côtés de la voie.</li> <li>● Pour tunnels courts et/ou tunnels existants: moyens mobiles en guise de solution alternative.</li> </ul>	
<b>Impact sur la sécurité</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>+ Permet aux services de secours d'utiliser leur équipement (p.ex. pompes à eau, éclairage supplémentaire). Plutôt en deuxième phase d'intervention, lorsque l'opération d'extinction a lieu ou pour la phase d'évacuation.</li> <li>- Ne sert pas essentiellement à la première phase lorsqu'il s'agit de sauver des vies.</li> </ul> Réduction du risque: faible.	
<b>Autres effets</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Pas seulement pour des raisons de sécurité, également pour les travaux d'entretien.</li> </ul>	
<b>Rapport coût/efficacité</b> Tunnels neufs: bon, si la réalisation est intégrée dans un concept général d'alimentation en courant électrique comprenant également l'entretien. Tunnels existants: moyen, si la réalisation a lieu en cours de rénovation du tunnel.	
<b>Evaluation</b> <b>Tunnels neufs</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Réalisation recommandée, intégrée dans un concept global d'alimentation en courant électrique et d'installations.</li> </ul> <b>Tunnels existants</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Il est recommandé d'améliorer les tunnels existants à l'occasion d'une rénovation. Sinon, mise à disposition de moyens mobiles.</li> </ul>	

I-66	<b>Installation radio pour les services de secours</b>
<b>Description générale et objectifs</b> Assure la communication radio dans le tunnel entre services de secours, centre d'exploitation et personnel ferroviaire (fréquences propres pour les services de secours en général).	
<b>Aspects importants</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• La communication est un élément capital lors de n'importe quelle intervention, priorité élevée.</li> <li>• Fiabilité et redondance en cas d'accident.</li> <li>• Alternatives possibles aux installations radio fixes: téléphones portables à fil, réseau radio mobile.</li> <li>• Les téléphones portables ne constituent pas une solution alternative à cause des pannes rapides en cas d'accident.</li> </ul>	
<b>Spécifications</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Nécessité d'un canal à fréquence commune.</li> </ul>	
<b>Impact sur la sécurité</b> + Intervention rapide et précise des services de secours. - En cas d'accidents importants, tels que les incendies, les pannes ne peuvent être exclues. Réduction du risque: moyenne.	
<b>Autres effets</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pas uniquement pour des raisons de sécurité, également pour l'entretien.</li> <li>• Combinaison/Synergie avec la radio sol/train.</li> </ul>	
<b>Rapport coût/efficacité</b> Tunnels neufs: bon. Tunnels existants: moyen. La rentabilité d'une amélioration dépend de la situation spécifique.	
<b>Evaluation</b> <b>Tunnels neufs</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mesure standard recommandée.</li> </ul> <b>Tunnels existants</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Généralement recommandé, mais autres solutions possibles selon situation.</li> </ul>	

I-67	<b>Fiabilité des installations électriques (résistance au feu, autonomie)</b>
<b>Description générale et objectifs</b> Protection des équipements (composantes techniques, fils et câbles) dans les tunnels contre les impacts mécaniques et la chaleur ou le feu.	
<b>Aspects importants</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Protection contre les impacts mécaniques et la chaleur.</li> <li>● Le degré de protection dépend de la fonction de l'installation et du concept d'intervention / de secours.</li> <li>● Aspects « optimisation » et « redondance ».</li> </ul>	
<b>Spécifications</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Éclairage d'urgence, systèmes de communication, alimentation en courant électrique (sauf caténaire): résistance au feu durant 60 minutes, alimentation indépendante par deux sources, revêtement de câbles résistant au feu ou caniveau de câbles protégé. Disponibilité alternative, selon le concept d'intervention / de secours (spectre de 30 – 90 minutes).</li> <li>● Protection physique des câbles contre les impacts dus aux déraillements ou aux travaux de construction (localisation optimale des câbles).</li> <li>● Utilisation d'un matériau ininflammable défini du point de vue du dégagement de fumée (voir I-24).</li> </ul>	
<b>Impact sur la sécurité</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>+ Assure les secours.</li> <li>+ Assure le fonctionnement des installations de sécurité vitales (communication, éclairage).</li> <li>- Protection limitée, ne couvre pas tous les cas de figure.</li> </ul> Réduction du risque: faible.	
<b>Autres effets</b> -	
<b>Rapport coût/efficacité</b> Tunnels neufs: bon. L'application de ces règles pour une nouvelle construction est supposée rentable. Tunnels existants: bon , si la réalisation a lieu pendant les travaux de rénovation.	
<b>Evaluation</b> <b>Tunnels neufs</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Recommandé pour les tunnels neufs.</li> </ul> <b>Tunnels existants</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Recommandé en cas de transformation des tunnels existants (travaux de rénovation).</li> </ul>	

I-68	<b>Système de contrôle</b>
<b>Description générale et objectifs</b> Les tunnels pourvus de grandes installations électromécaniques doivent être équipés d'un système de contrôle centralisé (centre du tunnel).	
<b>Aspects importants</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• La tâche consiste à assurer et à gérer le fonctionnement correct dans des conditions normales et d'urgence.</li> <li>• Seulement pour <i>Tunnels neufs</i> avec installations de ce genre.</li> <li>• En général, très longs tunnels de plus de 15 km.</li> <li>• Simplicité et fiabilité sont d'une très grande importance.</li> </ul>	
<b>Spécifications</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Contrôle de la ventilation / du système d'extraction de la fumée, de l'éclairage, des moyens de communication, de l'alimentation en courant électrique et de tous les autres systèmes de sécurité, etc.</li> <li>• Mesures de sécurité (caméras).</li> <li>• Tâches d'exploitation, le cas échéant.</li> <li>• Personnel professionnel/exploitation 24h sur 24.</li> </ul>	
<b>Impact sur la sécurité</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>+ En cas d'accident, le personnel du centre de contrôle est capable d'agir en conséquence: alerter les services de secours et transmettre de premières informations aux voyageurs et aux services de secours.</li> <li>+ Fonctionnement optimal selon l'accident.</li> </ul> Réduction du risque: faible.	
<b>Autres effets</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Le centre peut être intégré dans un système de gestion complet du tunnel comprenant l'exploitation, l'entretien, la sécurité et la sûreté (=exploitant du tunnel).</li> <li>• Gestion des compétences entre l'exploitant du tunnel et la société exploitant l'infrastructure du tunnel.</li> </ul>	
<b>Rapport coût/efficacité</b> Tunnels neufs: faible. Non rentable pour motifs de sécurité uniquement.	
<b>Evaluation</b> <b>Tunnels neufs</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Centre de contrôle spécifique aux tunnels : non recommandé pour les tunnels neufs d'une longueur inférieure à 15 km. Il est raisonnable d'intégrer ces fonctions dans des centres d'exploitation normaux qui sont aussi responsables des tronçons d'accès au tunnel.</li> </ul> <b>Tunnels existants</b> (Pour tunnels neufs uniquement).	

I-69	<b>Véhicules ferroviaires pour les secours (trains de secours pour tunnels)</b>
<p><b>Description générale et objectifs</b></p> <p>Les véhicules ferroviaires pour les secours peuvent être définis à différents niveaux:</p> <p>a) Autorails pour porter les véhicules de secours et wagons-citernes pour l'alimentation en eau. Les sapeurs-pompiers chargent leurs véhicules sur l'autorail et sont transportés par une locomotive ou un locotracteur.</p> <p>c) Train de secours spécial pour le transport rapide du personnel et de l'équipement. Ce train est spécialement conçu pour les interventions, il sert de moyen de transport, de base pour l'extinction du feu, les premiers secours, le transport des blessés et la communication. Le personnel est formé de personnel ferroviaire et les sapeurs-pompiers locaux.</p>	
<p><b>Aspects importants</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• a) Peut être considéré comme moyen de transport minimal.</li> <li>• b) Le concept de secours se base essentiellement sur des moyens ferroviaires et les besoins pour les services de secours ferroviaires.</li> <li>• b) Il faut un concept précis de localisation des trains de secours (réseau optimal), des principes de piquet et une alerte rapide.</li> <li>• b) Concept équilibré entre installations d'intervention fixes et moyens mobiles (p.ex. alimentation en eau).</li> </ul>	
<p><b>Spécifications</b></p> <p>-</p>	
<p><b>Impact sur la sécurité</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>+ a) Permet de transporter le matériel lourd sur le lieu de l'accident, y compris l'eau pour l'extinction du feu.</li> <li>+ a) Possibilité d'évacuer un plus grand nombre de personnes (blessées ou non).</li> <li>- a) et b) En général, les trains doivent se trouver à des endroits stratégiques avec un effectif ferroviaire adéquat. Il faut par conséquent un certain temps pour se rendre jusqu'au tunnel.</li> <li>- a) et b) Capacité insuffisante en cas d'accident important (évacuation importante ou longue lutte contre le feu, p.ex.).</li> <li>- b) Il faut du temps pour charger le matériel, ne convient pas aux accidents importants, faible effet</li> </ul> <p>Réduction du risque: moyenne</p>	
<p><b>Autres effets</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Peut être utilisé pour les accidents et les incendies dans plusieurs tunnels et en pleine voie.</li> <li>• Frais de personnel élevé s'il faut un service de piquet.</li> <li>• Néanmoins, il faut une coopération avec les services de secours.</li> </ul>	
<p><b>Rapport coût/efficacité</b></p> <p>Bon si les moyens ferroviaires font partie d'un concept global (réseau d'emplacements, p.ex.).</p>	
<p><b>Evaluation</b></p> <p><b>Tunnels neufs et tunnels existants</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• a) Recommandés s'ils font partie d'un concept de secours global qui comprend différentes possibilités de se rendre sur le lieu de l'accident dans le tunnel (p.ex. par les sorties) ou s'il s'agit d'un tunnel à voie unique dans une catégorie de risques inférieure.</li> <li>• b) Recommandés s'ils font partie d'un concept de secours global qui se base en premier lieu sur des moyens ferroviaires pour les secours.</li> </ul>	

I-70	<b>Véhicules rails/routes pour les secours</b>
<p><b>Description générale et objectifs</b></p> <p>Les brigades de pompiers responsables sont équipées de véhicules rails/routes capables de circuler sur les rails pour assurer un transport rapide du personnel et du matériel sur les lieux de l'accident, les objectifs principaux étant l'interception, l'aide aux secours autonomes, les premiers secours et l'extinction du feu.</p>	
<p><b>Aspects importants</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Concept d'intervention pour les services de secours basés sur les sapeurs-pompiers.</li> <li>• Une brigade de pompiers (professionnelle si possible) doit se trouver à proximité des tunnels.</li> <li>• Accessibilité des entrées du tunnel pour les véhicules routiers et possibilité de les mettre sur rails.</li> <li>• Des règles et procédures d'utilisation des rails sont nécessaires (personnel ferroviaire sur place).</li> <li>• Pour les accidents et incendies importants, il faut des moyens supplémentaires (installations fixes ou moyens ferroviaires).</li> </ul>	
<p><b>Spécifications</b></p> <p>-</p>	
<p><b>Impact sur la sécurité</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>+ Les brigades de pompiers sont rapidement sur place pour décider de la stratégie d'intervention optimale, pour les premiers secours et les premières interventions de lutte contre le feu.</li> <li>- Le véhicule rail/route n'est pas suffisant pour une grande intervention: si du matériel supplémentaire doit être transporté par rail, les véhicules rails/routes bloquent le passage.</li> <li>- Crée de nouveaux risques si les règles et procédures d'utilisation des rails ne sont pas strictement respectées.</li> </ul> <p>Impact du risque: faible.</p>	
<p><b>Autres effets</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Peuvent aussi être utilisés pour les accidents et les incendies en pleine voie.</li> </ul>	
<p><b>Rapport coût/efficacité</b></p> <p>Bon et équilibré si les véhicules rails/routes font partie d'un concept de secours global basé sur les brigades de pompiers.</p>	
<p><b>Evaluation</b></p> <p><b>Tunnels neufs et tunnels existants</b></p> <p>Recommandé uniquement si les véhicules rails/routes font partie d'un concept de secours global qui se base sur les brigades de pompiers.</p>	

## CMATERIEL ROULANT

Remarques préliminaires:

Les systèmes de communication à bord du train et entre le train et le centre d'exploitation sont traités sous I-2 (Radio sol/trains).

<b>R-1</b>	<b>Mesures de protection contre les incendies (charge d'incendie, prévention de la propagation du feu)</b>
<b>Description générale et objectifs</b> a) Mesures de construction/conception du véhicule pour éviter qu'un incendie n'éclate et ne se propage. b) Réduction de l'utilisation de matériaux générant des substances toxiques ou de grandes quantités de fumée en cas d'incendie.	
<b>Aspects importants</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Garantie du fait que ces points sont intégrés dans les spécifications relatives aux voitures neuves <i>et</i> réaménagées.</li><li>• Intégration des aspects « protection contre les incendies » dans les futures spécifications. Pour les voitures existantes, la marge de manœuvre est limitée (réaménagement).</li><li>• Définition de standards communs de mesure et de définition de la toxicité.</li><li>• Au moment où l'incendie éclate et se propage, il est encore possible aux voyageurs de s'échapper. Cette possibilité ne doit pas être réduite par un développement excessif de fumée et de gaz toxiques provenant des matières en feu. Les matériaux doivent donc être choisis dans cette perspective.</li><li>• Le choix des matériaux ne dépend pas uniquement de la sécurité, mais aussi du confort des voyageurs, du poids, des aménagements intérieurs, etc.</li><li>• La qualité de l'entretien et de l'inspection du matériel roulant a une influence sur l'efficacité de a) et b).</li></ul>	
<b>Spécifications</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Réduction de la charge d'incendie, séparation (compartiments avec portes communicantes construites en guise de portes coupe-feu; utilisation de matériaux résistant au feu; remplacement des matières inflammables par des matières ininflammables; introduction de couches résistant au feu à l'intérieur des sièges, même si ces dernières augmentent la charge d'incendie.</li></ul>	
<b>Impact sur la sécurité</b> <ul style="list-style-type: none"><li>+ Prévention/ralentissement de la propagation du feu dans les véhicules (permet de sortir du tunnel, accorde plus de temps pour les secours autonomes).</li><li>+ En cas d'incendie, réduit l'effet toxique de la fumée.</li><li>- Les matériaux résistant au feu brûlent tout de même, mais il leur faut davantage d'énergie pour s'enflammer.</li></ul> Réduction du risque: moyenne.	
<b>Autres effets</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Le choix du matériel / de la conception doit aussi prendre en considération la stabilité au déraillement et aux collisions.</li></ul>	
<b>Rapport coût/efficacité</b> Pour les véhicules neufs, on peut s'attendre à un bon rapport coût/efficacité.	
<b>Evaluation</b> <b>Tunnels neufs et tunnels existants</b> Il est recommandé d'insister sur la sécurité au feu dans les spécifications relatives au matériel roulant neuf, et de s'assurer qu'il en soit tenu compte lors des opérations de réaménagement.	



R-2	<b>Détection d'un incendie à bord du train (engins moteurs et / ou voitures)</b>
<b>Description générale et objectifs</b>	
a) Détection automatique et rapide du feu dans les engins moteurs (avec notification au conducteur). b) Détection automatique et rapide du feu dans les voitures (avec notification au conducteur).	
<b>Aspects importants</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Différentes possibilités d'emplacement des détecteurs dans les véhicules: compartiment technique (installations électriques, air conditionné), compartiment voyageurs, voiture lits, voiture restaurant</li> <li>• Emplacement le plus fréquent des incendies: 1) engin moteur - 2) compartiment technique - 3) usage spécifique tel que voiture restaurant, voiture lits, toilettes, 4) compartiment voyageurs.</li> </ul>	
<b>Spécifications</b>	
-	
<b>Impact sur la sécurité</b>	
+ Meilleure réaction du conducteur: arrêt du train avant d'entrer dans un tunnel, tentative de quitter le tunnel. + Démarrage rapide de l'extinction (pas seulement dans le tunnel). + Le centre d'exploitation et les services de secours peuvent être alertés à un stade précoce de l'incendie. - Le nombre élevé de fausses alertes réduit la confiance dans la mesure (fausse alerte des services de secours, p.ex.). Réduction du risque: faible.	
<b>Autres effets</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Problème des fausses alertes (intentionnelles également, notamment dans le cas des détecteurs situés dans le compartiment voyageurs), ce qui entraîne une gêne de l'exploitation.</li> </ul>	
<b>Rapport coût/efficacité</b>	
a) Bon pour les engins moteurs (nombre limité d'installations). b) Faible pour les voitures (grand nombre d'installations, moins d'effet, davantage de fausses alertes).	
<b>Evaluation</b>	
<b>Tunnels neufs et tunnels existants</b>	
a) Recommandé pour les engins moteurs. b) Non recommandé pour les voitures, de manière générale. A envisager pour les installations techniques situées dans des compartiments séparés.	

<b>R-10</b>	<b>Indicateurs de déraillement à bord du train</b>
<b>Description générale et objectifs</b>	
Détecteurs de déraillement automatique sur les trains et voitures pour détecter le déraillement d'un essieu.	
<b>Aspects importants</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Solutions techniques possibles: solution simple, basée sur la mesure de l'accélération ou de paramètres multiples pour détecter les irrégularités avant un déraillement.</li> <li>• Type et nombre de véhicules à équiper: wagon-citerne pour le transport de matières dangereuses, trains à grande vitesse, etc.</li> <li>• Si l'on considère le grand nombre et les différents types de véhicules, un équipement complet n'est pas réaliste.</li> </ul>	
<b>Spécifications</b>	
-	
<b>Impact sur la sécurité</b>	
<p>+ Selon le système, prévention des déraillements dus à une défaillance du matériel roulant, ou détection de déraillement à un stade précoce, ce qui permet d'arrêter immédiatement le train (et de l'empêcher de passer sur des aiguillages, p. ex.).</p> <p>- Les fausses alertes sont possibles et diminuent considérablement l'efficacité de tels indicateurs.</p> <p>- L'efficacité diminue si seules certaines parties des véhicules sont équipées.</p> <p>duction du risque si tous les véhicules sont équipés : moyenne – élevée, notamment en ce qui concerne les risques de déraillement (selon les capacités du système).</p>	
<b>Autres effets</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ce n'est pas une mesure de sécurité spécifique aux tunnels, l'effet principal s'exerce en pleine voie.</li> </ul>	
<b>Rapport coût/efficacité</b>	
<p>Faible si l'on considère uniquement la sécurité des tunnels.</p> <p>Moyen à bon. Si l'on considère également les effets en pleine voie et si l'on part du principe que seuls certains véhicules ou trains spécifiques sont équipés (wagons-citernes et trains à grande vitesse, etc.), le rapport coût/efficacité peut être considéré comme équilibré, voire favorable.</p>	
<b>Evaluation</b>	
<b>Tunnels neufs et tunnels existants</b>	
Stratégie générale/priorités:	
<p>a) Recommandé pour les nouveaux trains tels que le TGV, l'ICE etc.</p> <p>b) Matériel roulant existant: recommandé pour certains types de matériel roulant et d'exploitation comme le transport de marchandises dangereuses, mais il ne s'agit pas d'une mesure standard pour tous les véhicules.</p>	
Il convient de tenir compte du fait que cette mesure influence le réseau entier et pas uniquement les tunnels.	

R-11	<b>Neutralisation du freinage d'urgence/ Maintien de la capacité de mouvement</b>
<b>Description générale et objectifs</b> a) Neutralisation du freinage d'urgence dans les tunnels (ou système similaire). b) Conception du véhicule permettant de circuler le plus longtemps possible en cas d'incendie (15 minutes au moins), ce qui implique une conception et des matériaux adéquats pour la caisse du véhicule, pour en préserver la stabilité et la forme et pour réduire la sensibilité du câblage électrique et du système de contrôle/commande (emplacement optimal, résistance au feu).	
<b>Aspects importants</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Concept général en cas d'incendie à bord: quitter le tunnel si possible (sauf dans le cas d'un tunnel très long).</li> <li>• Différents systèmes techniques sont possibles pour neutraliser le freinage d'urgence (inhibition du signal d'alarme).</li> <li>• Trafic international.</li> <li>• Exigences de compatibilité pour les fils électriques.</li> <li>• Accord et définition des conditions dans lesquelles une neutralisation du freinage d'urgence est nécessaire (longueur du tunnel, p.ex.).</li> <li>• Accord nécessaire sur le système à utiliser en trafic international à l'avenir.</li> <li>• Procédures spéciales pour le passage des feux rouges dans un tunnel (en cas d'incendie, un train devrait pouvoir quitter un tunnel même si le signal indique un feu rouge).</li> </ul>	
<b>Spécifications</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Différents systèmes techniques pour le freinage d'urgence sont possibles. <ul style="list-style-type: none"> <li>-le freinage est activé et le conducteur doit le désactiver ;</li> <li>-l'activation des freins génère un signal dans la cabine et le conducteur décide s'il freine ou non.</li> </ul> </li> </ul>	
<b>Impact sur la sécurité</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>+ Augmentation de la probabilité selon laquelle un train voyageurs parviendra à quitter le tunnel en cas d'incendie.</li> <li>+ En pleine voie, il existe de meilleures possibilités de secours.</li> <li>- Défaillance soudaine du train de roulement, déraillement ou autre urgence: le train ne peut pas être arrêté par un freinage d'urgence dans le tunnel.</li> <li>- Aucune influence sur les incendies dans l'engin moteur.</li> <li>- Si le freinage est activé immédiatement, le train peut s'arrêter même si le conducteur inhibe immédiatement le freinage (à faible vitesse, p. ex.).</li> </ul> Réduction du risque: moyenne.	
<b>Autres effets</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Si seuls certains matériels sont équipés, il faut une gestion stricte de la composition des trains et de leur exploitation.</li> </ul>	
<b>Rapport coût/efficacité</b> On peut s'attendre à un bon rapport coût/efficacité.	
<b>Evaluation</b> <b>Tunnels neufs et tunnels existants</b> Stratégie générale/priorités: a) Standard minimum: indication près du signal d'alarme (« ne pas activer le signal d'alarme en cas d'incendie »). b) Il est recommandé de prévoir la neutralisation du freinage d'urgence.	

R-12	<b>Equipement d'extinction à bord du train (engins moteurs et/ou voitures)</b>
<b>Description générale et objectifs</b> a) Extincteurs portables dans l'engin moteur et les voitures (Fiche UIC 564-2). L'utilisation d'agents extincteurs plus efficaces améliorerait les performances, la fiabilité et la réalisation de l'extinction. b) Systèmes automatiques ou manuels à bord des engins moteurs (p.ex. sprinklers pour certains compartiments). c) Systèmes d'extinction automatiques à bord des véhicules (compartiments techniques, voyageurs).	
<b>Aspects importants</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Lieu de l'incendie: 1) engin moteur, 2) compartiment technique, 3) utilisation spécifique telle que voiture restaurant, voiture lits, toilettes, 4) compartiment voyageurs (→priorités).</li> <li>• Trafic régional ou international, urbain ou de banlieue (spécialement dans le cas c).</li> <li>• Les extincteurs portables peuvent être utilisés par n'importe qui dans le train.</li> </ul>	
<b>Spécifications</b> -	
<b>Impact sur la sécurité</b> + Une extinction rapide est possible à un stade très précoce (pas seulement dans les tunnels). - De fausses alertes peuvent entraîner l'arrêt d'un train et provoquer de nouveaux risques (personnes quittant le train, etc.) et une gêne de l'exploitation. - Limites de fonctionnement: lors d'un incendie causé par un accident de train, le système d'extinction peut aussi être endommagé, il est possible que tous les foyers d'incendie ne puissent être contrôlés à bord d'un train, problèmes de fiabilité (à long terme) du système. Réduction du risque: moyenne.	
<b>Autres effets</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Coûts d'installation et d'entretien élevés (point c), grand nombre de véhicules).</li> <li>• Gestion d'un nombre important de voitures avec systèmes d'extinction automatiques.</li> <li>• Problème des fausses alertes et du sprinkling (cas c) notamment).</li> <li>• Un système d'extinction très rapide et efficace à bord du train peut influencer le concept global d'extinction et de secours: il se pourrait alors que l'on prenne moins de précautions.</li> </ul>	
<b>Rapport coût/efficacité</b> a) Extincteurs portables: bon rapport coût/efficacité. b) Système automatique à bord des engins moteurs: bon pour les nouveaux engins moteurs. c) Dans le cas d'une mesure à caractère général: faible.	
<b>Evaluation</b> <b>Tunnels neufs et tunnels existants</b> a) Extincteurs portables à bord des engins moteurs et des voitures : Mesure standard recommandée. Assurer un bon fonctionnement et améliorer l'efficacité. b) Extincteurs automatiques ou manuels à bord des engins moteurs : Mesure recommandée pour les nouveaux engins moteurs et certaines composantes mécaniques ou électriques exploitées dans les grands réseaux qui ont beaucoup de tunnels (et spécialement de très longs tunnels). c) Systèmes d'extinction automatique à bord des voitures : Mesure non recommandée pour toutes les voitures, mais pouvant être une solution raisonnable dans certaines conditions: réseau fermé, exploitation de rames à composition fixe (navettes de banlieue).	

<b>R-13</b>	<b>Commande centralisée du système de climatisation</b>
<b>Description générale et objectifs</b>	
Système de commande centralisé pour arrêter le climatiseur en cas d'urgence, afin de ralentir la propagation du feu et de la fumée dans les véhicules.	
<b>Aspects importants</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Possibilités techniques de résoudre le problème pour les véhicules neufs et existants.</li> </ul>	
<b>Spécifications</b>	
-	
<b>Impact sur la sécurité</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Ralentit la propagation du feu et de la fumée dans les véhicules.</li> <li>+ Préviend ou réduit la pénétration de fumée ou de gaz toxique en provenance de l'extérieur du véhicule.</li> </ul> Réduction du risque: faible.	
<b>Autres effets</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diminution du confort des passagers en cas de fausse alerte.</li> </ul>	
<b>Rapport coût/efficacité</b>	
Bon pour les voitures neuves. Pour le matériel existant, cela dépend des solutions techniques possibles.	
<b>Evaluation</b>	
<b>Tunnels neufs et tunnels existants</b>	
Cette mesure de sécurité est recommandée (raisonnable).	

R-14	<b>Possibilité de séparer les trains</b>
<b>Description générale et objectifs</b> L'évacuation se base sur le concept selon lequel les voyageurs se déplacent dans la partie intacte du train et que cette partie est séparée et déplacée hors du tunnel avec un engin moteur.	
<b>Aspects importants</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• La séparation est aidée / préparée / automatisée par des mesures techniques (attelage spécial p.ex.).</li> <li>• Scénarios dans lesquels la séparation exerce un effet (positif ou négatif), spécialement en cas d'incendie.</li> </ul>	
<b>Spécifications</b> -	
<b>Impact sur la sécurité</b> - Dans certaines conditions (scénarios spécifiques), cette mesure peut être très efficace. - Peut convenir en cas d'incendie dans un train de marchandises, pour retirer du tunnel la partie intacte du train. - Suivant le scénario d'incendie (localisation du feu), une part importante des voyageurs ne peut pas se déplacer dans la partie intacte du train. - Si la séparation ne réussit pas (problèmes techniques, incapacité de séparer le train manuellement, panne de courant), l'effet est nul voire pire (perte de temps). - Si l'engin moteur servant à tirer le train hors du tunnel vient du côté opposé du tunnel (=véhicule de secours), il en résulte une perte de temps importante. Réduction du risque: faible.	
<b>Autres effets</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Si la séparation est réalisée par une solution technique, tous les véhicules du train qui traversent le tunnel doivent en être équipés.</li> </ul>	
<b>Rapport coût/efficacité</b> Faible. L'effet de cette mesure étant plutôt discutable et une solution technique plutôt chère, il faut s'attendre à un rapport coût/efficacité défavorable.	
<b>Evaluation</b> <b>Tunnels neufs et tunnels existants</b> Non recommandé en guise de concept général. Peut être adéquat dans une situation particulière, mais la décision de séparer le train et de le retirer du tunnel doit être prise en fonction du contexte.	

R-15	<b>Equipement de premiers secours à bord du train</b>
<b>Description générale et objectifs</b> Chaque train est équipé d'au moins une boîte de secours. Les secours en cas de (petit) accident sont immédiatement possibles.	
<b>Aspects importants</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• La boîte de secours doit se trouver à un endroit facilement accessible au personnel du train, mais suffisamment protégée contre les actes de vandalisme.</li> <li>• Mesure de sécurité non spécifique aux tunnels.</li> </ul>	
<b>Spécifications</b> -	
<b>Impact sur la sécurité</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>+ Premiers secours pour les petites blessures (pas seulement dans le tunnel).</li> <li>- Aucun effet en cas d'accident grave (le personnel embarqué a alors d'autres tâches).</li> </ul> Réduction du risque: faible.	
<b>Autres effets</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• La boîte doit être régulièrement contrôlée et complétée .</li> </ul>	
<b>Rapport coût/efficacité</b> Rapport coût efficacité moyen. Peu de coûts et d'effets.	
<b>Evaluation</b> <b>Tunnels neufs et tunnels existants</b> Cette mesure est recommandée en guise de mesure à caractère général (pas seulement du point de vue de la sécurité dans les tunnels).	

R-20	<b>Equipement et conception pour faciliter l'évacuation des véhicules (avec accès pour les services de secours)</b>
<b>Description générale et objectifs</b> a) Equipement d'évacuation: le personnel du train est équipé de mégaphones et de lampes pour informer les voyageurs hors du train également en cas d'évacuation. b) Concept d'évacuation: les voitures (portes, fenêtres, caisse) sont conçues avec des sorties/accès de secours définis. Ces endroits sont visibles/indiqués pour les voyageurs et les services de secours.	
<b>Aspects importants</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• a) Des mégaphones et des lampes doivent être placés à un endroit facilement accessible au personnel du train.</li> <li>• b) Intégration de l'aspect du concept d'évacuation dans les spécifications futures. Pour les véhicules existants, l'étendue est limitée (indication des sorties de secours).</li> <li>• b) Équipement des services de secours avec des outils adéquats pour ouvrir la caisse ou les fenêtres en cas d'urgence.</li> </ul>	
<b>Spécifications</b> -	
<b>Impact sur la sécurité</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>+ a) Facilitation des secours autonomes guidés (conseils aux passagers).</li> <li>+ b) Facilitation de l'évacuation du train après déraillement/collision.</li> <li>+ b) Un concept d'évacuation optimisé est également efficace en pleine voie.</li> <li>- A) En cas d'urgence, le personnel du train a beaucoup de tâches différentes à accomplir: il n'aura sans doute pas le temps de chercher cet équipement.</li> </ul> Réduction du risque: faible.	
<b>Autres effets</b> Les mégaphones et les lampes doivent être contrôlés régulièrement.	
<b>Rapport coût/efficacité</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>a) Rapport coûts/efficacité moyen. Peu de coûts et d'effets(rapport équilibré).</li> <li>b) Bon s'il existe d'autres spécifications.</li> </ul>	
<b>Evaluation</b> <b>Tunnels neufs et tunnels existants</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>a) Mesure recommandée.</li> <li>b) Il est recommandé d'intégrer la question des sorties / accès de secours dans d'autres spécifications relatives aux véhicules (mais ce n'est pas un thème spécifique aux tunnels).</li> </ul>	



## DEXPLOITATION

<b>O-1</b>	<b>Directives d'exploitation (trains voyageurs/marchandises en particulier)</b>
<b>Description générale et objectifs</b>	
Réduction des croisements de trains (voyageurs/marchandises en particulier) dans les tunnels, grâce à une optimisation de l'horaire.	
<b>Aspects importants</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Densité du trafic (→ possibilité de définir des intervalles de temps).</li> <li>• Pourcentage de trains marchandises et voyageurs (trafic mixte).</li> <li>• Exploitation de jour et de nuit des trains voyageurs et marchandises (séparément).</li> <li>• Vitesse du train (influences aérodynamiques).</li> <li>• Tunnels à double voie ou à voie unique.</li> <li>• Le tunnel est-il isolé ou fait-il partie d'un réseau de différents tunnels (chaîne de plusieurs tunnels, ce qui est plus difficile à gérer, p. ex.)</li> <li>• Dans certaines situations, il peut être nécessaire d'exclure certains types de véhicules sur certains types d'itinéraires (matériel roulant ancien sur lignes à longs tunnels, p.ex.).</li> </ul>	
<b>Spécifications</b>	
Les horaires sont conçus de telle sorte qu'il n'y ait pas (ou un minimum) de croisements.	
<b>Impact sur la sécurité</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Suppression / réduction des accidents impliquant deux trains (voyageurs et marchandises (dangereuses) notamment): collision, collision après déraillement, incendie (incendies importants avec marchandises dangereuses notamment).</li> <li>- Si des trains marchandises sont déviés sur des tronçons sans tunnel, la fréquence des accidents peut augmenter (itinéraire plus long, nouveaux risques aux passages à niveau, par exemple).</li> </ul> Réduction du risque: moyenne.	
<b>Autres effets</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diminue la productivité spécialement du trafic de marchandises en particulier, à cause de : <ul style="list-style-type: none"> <li>- l'utilisation restreinte des tronçons concernés,</li> <li>- la prévision de voies d'embranchement supplémentaires dans des chantiers de triage (afin d'arrêter / trier le trafic marchandises).</li> </ul> </li> </ul>	
<b>Rapport coût/efficacité</b>	
Le rapport coût/efficacité peut varier fortement selon la situation (voir considérations et paramètres importants).	
<b>Evaluation</b>	
<b>Tunnels neufs et tunnels existants</b>	
Mesure non recommandée en guise de mesure standard, mais uniquement pour les tunnels à hauts risques et si les conditions d'exploitation le permettent (optimisation de l'exploitation du point de vue de la sécurité).	

<b>O-2</b>	<b>Directives pour le transport de marchandises dangereuses</b>
<b>Description générale et objectifs</b>	
Restrictions liées au passage simultané de trains voyageurs et de trains contenant des matières dangereuses (similaire à O-1) dans les tunnels:	
<ul style="list-style-type: none"> <li>a) marchandises dangereuses en général (y compris les chargements/wagons individuels d'un train marchandises) ;</li> <li>b) trains blocs avec matières dangereuses uniquement.</li> </ul>	
<b>Aspects importants</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• La restriction a) – matières dangereuses - signifie dans la pratique que tous les trains de marchandises sont concernés. Il est difficile de trier les chargements et wagons individuels de matières dangereuses. Parfois, le mélange de différents chargements de marchandises peut être dangereux et il est impossible de vérifier toutes les combinaisons.</li> <li>• Les mêmes considérations et paramètres que pour O-1 s'appliquent.</li> </ul>	
<b>Spécifications</b>	
-	
<b>Impact sur la sécurité</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Suppression / réduction des accidents impliquant des trains voyageurs et marchandises (matières dangereuses), ce qui permet d'éviter les conséquences spécialement graves dues au feu ou à des émissions toxiques. Il s'agit d'une mesure de sécurité pour réduire le risque de catastrophe.</li> <li>+ Les incendies important impliquant des matières dangereuses peuvent aussi causer d'importants dommages à la construction du tunnel. Aspects spécifiques : tunnels sous-marins et tunnels à proximité de zones urbaines.</li> <li>- Si des trains marchandises transportant des matières dangereuses (en particulier les trains blocs) sont déviés sur des tronçons sans tunnel, le risque sur ces tronçons peut augmenter si la ligne traverse des zones à population dense, avec une qualité géométrique plus faible ou un environnement sensible (eaux souterraines, eaux de surface).</li> </ul>	
Réduction du risque: faible à moyenne (dépend du pourcentage de marchandises dangereuses).	
<b>Autres effets</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Voir O-1</li> <li>• Si seuls des trains blocs sont concernés (b), les restrictions d'exploitation sont moins sévères à cause du nombre limité de ces trains.</li> </ul>	
<b>Rapport coût/efficacité</b>	
Pour a) faible	
Pour b) moyen. Le rapport coût/efficacité peut être équilibré.	
<b>Evaluation</b>	
<b>Tunnels neufs et tunnels existants</b>	
Recommandé pour les tunnels à hauts risques si les conditions d'exploitation le permettent (optimisation de l'exploitation du point de vue de la sécurité).	

O-10	<b>Arrêt des trains qui suivent ou qui viennent en sens inverse (hors du tunnel) en cas d'incident</b>
<b>Description générale et objectifs</b> Arrêt des trains qui suivent / viennent en sens inverse, hors du tunnel, dès qu'il existe une information relative à un incident dans le tunnel. Cette mesure s'applique essentiellement aux tunnels à double voie.	
<b>Aspects importants</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Il faut une longueur minimale de tunnel.</li> <li>• Tunnel à double voie ou à voie unique (différentes procédures).</li> <li>• Système de protection des trains.</li> <li>• Pour mettre en pratique la mesure, il faut des moyens de communication adéquats et des signaux d'arrêt près de l'entrée du tunnel.</li> <li>• La mesure doit être traitée sur la base de règles, afin de limiter les faux arrêts.</li> </ul>	
<b>Spécifications</b> -	
<b>Impact sur la sécurité</b> + Prévention / réduction de la fréquence des accidents impliquant plusieurs trains ; réduction de conséquences catastrophiques (notamment en cas d'incendie ou de propagation de fumée). Réduction du risque: faible	
<b>Autres effets</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pour les doubles tunnels à voie unique et les tunnels de plus de 15 km, il peut être nécessaire d'introduire d'autres procédures ou des procédures supplémentaires.</li> </ul>	
<b>Rapport coût/efficacité</b> Bon rapport coût/efficacité.	
<b>Evaluation</b> <b>Tunnels neufs et tunnels existants</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Réalisation de la mesure et mise en place de signaux permettant d'empêcher l'entrée d'un train dans les tunnels.</li> </ul>	

O-20	<b>Information des voyageurs (préparation aux situations d'urgence)</b>
<b>Description générale et objectifs</b> Les voyageurs sont informés sur le comportement à adopter en cas d'urgence, notamment en cas d'incidents dans les tunnels.	
<b>Aspects importants</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Il faut que le nombre et la longueur des tunnels soient importants sur le réseau ferroviaire concerné.</li> <li>• Langue et forme d'une telle information.</li> <li>• Simplicité de l'information.</li> <li>• Intégration dans des campagnes de sécurité à caractère général.</li> <li>• Répétition, continuité.</li> </ul>	
<b>Spécifications</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Moyens: posters, brochures, spots.</li> </ul>	
<b>Impact sur la sécurité</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>+ Les voyageurs qui ont lu/entendu l'information peuvent mieux réagir en cas d'incident, pas uniquement dans les tunnels.</li> <li>- L'information peut provoquer un sentiment de colère et d'insécurité.</li> </ul> Réduction du risque: faible.	
<b>Autres effets</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Une information similaire est déjà faite pour le trafic dans les tunnels routiers (les gens ont l'habitude d'entendre parler de la sécurité dans les tunnels ou de lire des informations à ce sujet).</li> <li>• Les campagnes doivent être organisées par des spécialistes de la communication parce que c'est un thème délicat.</li> </ul>	
<b>Rapport coût/efficacité</b> On peut s'attendre à un bon rapport coût/efficacité.	
<b>Evaluation</b> <b>Tunnels neufs et tunnels existants</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• A réaliser.</li> </ul>	

O-21	<b>Compétences du personnel embarqué</b>
<b>Description générale et objectifs</b> Le personnel embarqué de tous les exploitants ferroviaires jouit d'une formation régulière pour la prévention et la gestion des incidents dans les tunnels: vérifier un incident, en rendre compte au centre d'exploitation, prise de décisions, premiers secours/opérations de lutte contre le feu, déclencher les secours autonomes, etc.	
<b>Aspects importants</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Différentes sociétés d'exploitation.</li> <li>• Connaissances de plusieurs langues.</li> <li>• Une part importante de la formation consiste à prévenir les incidents (p.ex. contrôle de fumée et de feu dans le train avant d'entrer dans un long tunnel, pour les trains de nuit).</li> </ul>	
<b>Spécifications</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Liste de contrôle.</li> </ul>	
<b>Impact sur la sécurité</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>+ Les accidents dans les tunnels peuvent être très critiques du point de vue temps. Une intervention rapide et correcte du personnel du train est essentielle pour réduire le risque: que les gens quittent le train par erreur ou y restent alors qu'une évacuation serait nécessaire, p. ex.</li> <li>+ Une bonne formation exerce également des effets positifs sur la sécurité hors des tunnels.</li> <li>- Il n'est pas possible de prévenir les mauvaises décisions.</li> </ul> Réduction du risque: faible (ou moyenne, suivant l'intensité de la formation)	
<b>Autres effets</b> -	
<b>Rapport coût/efficacité</b> On peut s'attendre à un bon rapport coût/efficacité.	
<b>Evaluation</b> <b>Tunnels neufs et tunnels existants</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mesure standard acceptée, devant être intensifiée. Il faut s'assurer que tout le personnel de tous les exploitants soit formé.</li> </ul>	

O-30	<b>Plans d'urgence et de secours</b>
<b>Description générale et objectifs</b> Préparation de plans d'urgences contenant: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Une stratégie pour gérer les événements critiques</li> <li>- Plans de déclaration d'urgence</li> <li>- Plans spécifiques aux tunnels pour les services de secours</li> </ul>	
<b>Aspects importants</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Plans de secours: conception du tunnel, chemins d'accès et d'évacuation, zones de secours, systèmes de contrôle, de ventilation, de drainage des voies et de communication dans le tunnel, installations électrique, alimentation en eau, dispositif de mise à la terre, contrôle d'accès, équipement spécial, etc.</li> <li>• Sur papier ou/et ordinateur.</li> <li>• Tous les services impliqués doivent disposer des (mêmes) informations.</li> <li>• Les détails peuvent varier selon l'organisation des services de secours d'un pays / d'une région.</li> </ul>	
<b>Spécifications</b> -	
<b>Impact sur la sécurité</b> + Garantit une intervention propre. + Minimise les délais d'intervention (p.ex. connaître le chemins le plus court vers une entrée). - Aucun plan ne peut couvrir la multitude des situations possibles jusqu'au dernier détail . Réduction du risque: moyenne.	
<b>Autres effets</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pas seulement raisonnable pour les tunnels, effet positif général.</li> </ul>	
<b>Rapport coût/efficacité</b> On peut s'attendre à un bon rapport coût/efficacité.	
<b>Evaluation</b> <b>Tunnels neufs et tunnels existants</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mesure standard recommandée.</li> </ul>	

O-31	<b>Exercices avec les services de secours (communication et coordination entre chemins de fer et services de secours)</b>
<b>Description générale et objectifs</b> Exercices d'urgences dans les tunnels avec tous les services de secours: pour exercer la collaboration entre services ferroviaires et autres services de secours, pour s'habituer aux conditions spécifiques aux tunnels et aux chemins de fer.	
<b>Aspects importants</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vu que les accidents qui surviennent dans les tunnels peuvent avoir de graves conséquences, ce genre d'exercices devrait aussi être exécuté à « large échelle » (p.ex. services et personnels régionaux, problèmes de communication avec les mass média).</li> <li>• Les exercices exigent une bonne préparation et une bonne évaluation, les rapports devraient être distribués plus intensément (organisations intéressées, chemins de fer).</li> <li>• Une approche globale est importante, comprenant l'information et la communication.</li> </ul>	
<b>Spécifications</b> -	
<b>Impact sur la sécurité</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>+ Pour maximiser l'efficacité des services de secours, réduire les délais d'intervention des opérations de secours dans des conditions difficiles.</li> <li>- Aucun exercice ne peut couvrir la multitude des situations possibles jusqu'au dernier détail.</li> </ul> Réduction du risque: moyen.	
<b>Autres effets</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Raisonnable pas seulement pour les tunnels, effet positif général.</li> <li>• Les exercices à large échelle peuvent provoquer des restrictions d'exploitation.</li> </ul>	
<b>Rapport coût/efficacité</b> On peut s'attendre à un bon rapport coût/efficacité.	
<b>Recommandation</b> <b>Tunnels neufs et tunnels existants</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mesure standard recommandée.</li> </ul>	

O-32	<b>Information sur le transport de marchandises dangereuses</b>
<b>Description générale et objectifs</b> a) Notification des mouvements de marchandises très dangereuses (à définir, p.ex. chlorure, propane, chlorure de vinyle) pour informer les services de secours concernés le long du trajet afin qu'ils soient préparés en cas d'urgence et aptes à prendre les bonnes mesures à temps (p.ex. évacuations). b) Système d'information qui permette d'identifier rapidement les charges impliquées en cas d'accident afin de prendre les bonnes précautions et décisions d'intervention (banque de données précise et rapidement accessible).	
<b>Aspects importants</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pour a): les marchandises importantes doivent être définies à un niveau international (p.ex. fixé dans les réglementations RID), les règles de transmission des informations au centre d'exploitation et aux services de secours responsables doivent être appliquées.</li> <li>• Pour b): les informations sont déjà disponibles d'une manière générale par le numéro du train et les informations sur les marchandises, mais pas avec la précision et la rapidité requises.</li> </ul>	
<b>Spécifications</b> -	
<b>Impact sur la sécurité</b> + Diminue le délai d'intervention pour les opérations de secours en cas d'accident avec des marchandises dangereuses, permet de prendre les bonnes décisions et précautions. + Réduit le risque couru par les services de secours. – Les informations fausses ou pas suffisamment claires peuvent aggraver les conséquences. Réduction du risque: faible.	
<b>Autres effets</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• La mesure exerce son effet principal sur les tronçons de pleine voie.</li> <li>• Implique des procédures d'organisation complexes.</li> <li>• Le développement technologique dans le domaine de la télématique ouvre de nouvelles voies pour la localisation géographique et le transfert de données.</li> </ul>	
<b>Rapport coût/efficacité</b> Faible, si de telles mesures sont introduites uniquement pour la sécurité des tunnels.	
<b>Evaluation</b> <b>Tunnels neufs et tunnels existants</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mesure raisonnable en guise de mesure de sécurité à caractère général, lorsque les informations relatives au transport de marchandises sont améliorées, mais non recommandée en tant que mesure de sécurité spécifique aux tunnels.</li> </ul>	



O-33	<b>Equipement de secours</b>
<b>Description générale et objectifs</b> Un équipement de secours permet de lutter contre les incendies dans le tunnel.	
<b>Aspects importants</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pour toute opération de secours dans le tunnel, les appareils respiratoires sont indispensables (pour une utilisation à long terme).</li> </ul>	
<b>Spécifications</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tous les services de secours responsables/concernés sont équipés d'appareils respiratoires pour permettre de lutter contre les incendies dans le tunnel.</li> <li>• Des palettes roulantes sont situées aux entrées et aux sorties du tunnel. Suivant le concept de secours, un équipement minimum supplémentaire se trouve vers les entrées.</li> </ul>	
<b>Impact sur la sécurité</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>+ Assure la sécurité des services de secours.</li> <li>+ Permet une reconnaissance des lieux dans la fumée.</li> <li>+ Palettes roulantes: facilite le transport du matériel ou des blessés.</li> <li>+ Palettes roulantes : effet faible, limité à des situations spécifiques (tunnels courts, en l'absence d'autre véhicule ferroviaire).</li> </ul> Réduction du risque: faible.	
<b>Autres effets</b> -	
<b>Rapport coût/efficacité</b> On peut s'attendre à un bon rapport coût/efficacité.	
<b>Evaluation</b> <b>Tunnels neufs et tunnels existants</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• L'équipement d'appareils respiratoires adéquats est une mesure standard (nécessaire pour toute intervention)..</li> </ul>	

## EMESURES SUPPLEMENTAIRES POUR LES TRES LONGS TUNNELS

Les tunnels très longs sont ceux de plus de 15 km.

Les mesures listées dans le présent document s'appliquent également aux tunnels très longs, sauf si elles sont modifiées / complétées comme indiqué ci-dessous :

Infrastructure (I)		NT	ET	VLT
Prévention des incidents	I-1 Contrôle de vitesse / Système de signalisation	0	0	+
Réduction de l'impact	I-20 Deux tunnels à voie unique	0	-	+
	I-24 Systèmes d'extinction (sprinkler ou similaire)	0	0	0
	I-25 Systèmes d'extraction de la fumée / de ventilation	0	0	+
Simplification de l'évacuation	I-45 Rameaux de communication	0	0	+
Simplification des secours	I-68 Système de contrôle	0	-	+
Tunnels très longs	I-80 Voie rigide – Voie sans ballast	0	0	+
	I-81 Segmentation de la caténaire	0	0	+

Tableau E1: Mesures « Infrastructure »

Exploitation		NT	ET	
Prévention des incidents	O-1 Directives d'exploitation (trains voyageurs / marchandises)	0 0	0 0	+

Tableau E2: Mesures « Exploitation »



<b>I-80</b>	<b>Voie rigide – Voie sans ballast</b>
<b>Description générale et objectifs</b> La voie sans ballast est meilleure du point de vue de la maintenance et du déraillement. Elle permet également d'utiliser des véhicules routiers du fait de l'espace au sol plus important dans les tunnels en alignement.	
<b>Aspects importants</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Maintenance: cycle de vie long, sans intervention.</li><li>• Déraillement: déplacement constant, sans décélération immédiate.</li><li>• Accessibilité aux véhicules routiers du fait de l'espace au sol plus important dans les tunnels en alignement et sans dévers. La qualité de voie doit être améliorée dans son ensemble.</li><li>• Possibilité d'utiliser des véhicules ferroviaires – routiers sur les voies.</li><li>• Davantage de poussière.</li></ul>	
<b>Spécifications</b> -	
<b>Impact sur la sécurité</b> <ul style="list-style-type: none"><li>+ Les brigades de pompiers sont rapidement sur le site pour décider de la stratégie d'intervention optimale, pour les premiers secours et pour les premières actions de lutte contre le feu.</li><li>- Davantage de poussière, visibilité réduite.</li></ul> Action du risque: moyenne.	
<b>Evaluation</b> <b>Tunnels neufs et tunnels existants</b> Recommandé pour des motifs de maintenance et de facilité d'accès aux véhicules routiers dans les tunnels à double voie sans dévers.	



I-81	<b>Segmentation de la caténaire</b>
<b>Description générale et objectifs</b> Déconnexion de la caténaire pour certaines parties du tunnel très long. Dispositifs de mise à la terre y compris les appareils de mesure de la tension aux entrées et aux sorties de secours (éléments de la caténaire situés à proximité).	
<b>Aspects importants</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Les services de secours ne peuvent pas pénétrer dans le tunnel en toute sécurité si la caténaire est sous tension.</li><li>• Déconnexion de la caténaire pour certaines parties du tunnel, de façon à pouvoir évacuer d'autres rames électriques des tunnels très longs.</li><li>• Déconnexion de la caténaire par l'entreprise ferroviaire.</li><li>• Si la mise à la terre est effectuée par les sapeurs-pompiers: nécessité de règles, de procédures sévères et d'exercices.</li><li>• Ne faire appel qu'à des personnes spécialement formées (sapeurs-pompiers professionnels de préférence).</li></ul>	
<b>Spécifications</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Il convient de prendre en compte les itinéraires d'évacuation des rames situées à l'intérieur du tunnel, de façon à ce que les services de secours puissent y pénétrer en toute sécurité et que les rames électriques « prises au piège » puissent sortir du tunnel prudemment.</li><li>• Des dispositifs de mise à la terre et des appareils de mesure sont positionnés à toutes les entrées de tunnel / extrémités de segments, avec moyens de communication (téléphone et éclairage, p.ex.).</li><li>• Les procédures et les responsabilités sont définies (y compris la communication entre les services de secours et le centre responsable).</li></ul>	
<b>Impact sur la sécurité</b> <ul style="list-style-type: none"><li>+ Permet aux services de secours de pénétrer à l'intérieur du tunnel et aux rames électriques d'être évacuées du tunnel.</li><li>+ Prévention des accidents impliquant le courant électrique lors des travaux de maintenance et en cas d'urgence.</li><li>+ Réduction des délais d'entrée dans le tunnel.</li><li>+ La mise à la terre peut être effectuée par les services de secours s'ils sont bien organisés.</li><li>- Risque d'accident en cas de fausse manipulation (risque supplémentaire pour les services de secours).</li></ul> Réduction du risque: élevée.	
<b>Evaluation</b> <b>Tunnels neufs et tunnels existants</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Mesure de sécurité recommandée pour les tunnels très longs, comme spécifié.</li></ul>	