



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Office fédéral des routes OFROU

DOCUMENTATION

EMBOUTEILLAGE DANS LES TUNNELS

Analyse et mesures

Édition 2026 V1.00

ASTRA 86065

Impressum

Auteurs / Groupe d'accompagnement

Dr Reto Siegenthaler	FB OpSi ASTRA, président
Bernard Mariéthod	FB OpSi ASTRA
Jean-Pierre Benguerel	VMZ-CH
Valérie Frede	SiBe-S, GE V
Christian Gammeter	ASTRA N-SSI
Rolf Haas	SiBe-S, GE I
Paolo Maltese	FB VM, N-VIM
Ferdinand Moor	StreMa opérationnel F3
Dr Thierry Pucci	SiBe-S, UT II
Jacques Magnin	SiBe-S, UT II
Markus Robbiani	SiBe-S, GE VII
Luca Turra	SiBe-S, UT IV
Christoph Lanz	ASIT AG, Berne, élaboration
Dr Marco Bettelini	ASIT AG, Berne, élaboration

Traduction

La version originale en allemand fait foi.

Allemand

Éditeur

Office fédéral des routes OFROU
Division Réseaux routiers N
Normes et sécurité de l'infrastructure SSI
3003 Berne

Source

Le document peut être téléchargé gratuitement à l'adresse www.astra.admin.ch.

© OFROU 2026

Reproduction autorisée, sauf à des fins commerciales, avec mention de la source.

Avant-propos

Les embouteillages sur les routes nationales affectent considérablement le réseau routier suisse. Les embouteillages sur les routes dégagées doivent être évités, notamment en raison des heures perdues. Les embouteillages dans les tunnels présentent toutefois un risque supplémentaire en matière de sécurité. En raison de l'espace restreint et du nombre élevé d'usagers, les embouteillages dans les tunnels comportent donc des risques plus importants. Les collisions par l'arrière, les incendies ou autres incidents similaires peuvent rapidement engendrer de graves conséquences. Malgré les mesures déjà mises en œuvre, des embouteillages se produisent encore régulièrement dans les tunnels du réseau routier national.

Cette documentation présente les causes et les risques des embouteillages dans les tunnels et identifie les mesures appropriées pour les prévenir. Elle offre aux services compétents de l'OFROU, aux exploitants et aux planificateurs, un soutien pour une prévention efficace des embouteillages dans les tunnels des routes nationales.

Office fédéral des routes

Jürg Röthlisberger
Directeur

Table des matières

	Impressum	2
	Avant-propos	3
1	Introduction	7
1.1	Objectif de la documentation.....	7
1.2	Champ d'application.....	7
1.3	Destinataires	7
1.4	Entrée en vigueur et modifications.....	7
2	Situation initiale et procédure.....	8
2.1	Situation initiale et motivation.....	8
2.2	Définitions.....	8
2.3	Situation et évolution des embouteillages sur les routes nationales	8
2.4	Risques liés aux embouteillages dans les tunnels.....	10
2.5	Recommandations de la PIARC	10
2.6	Délimitation.....	12
3	Risques d'embouteillages dans les tunnels.....	13
3.1	Augmentation de la fréquence des incidents	13
3.1.1	Accidents.....	13
3.1.2	Incendies	14
3.2	Nombre élevé de personnes dans le tunnel	15
3.3	Propagation de la fumée et qualité de l'air.....	15
3.4	Accès difficile pour les forces d'intervention en cas d'incident	16
4	Causes pertinentes des embouteillages dans les tunnels	18
4.1	Surcharge du trafic.....	18
4.1.1	Surcharge chronique du trafic.....	18
4.1.2	Surcharges ponctuelles du trafic.....	18
4.2	Influences météorologiques	18
4.3	Conditions structurelles.....	18
4.4	Gestion du trafic et signalisation	19
4.5	Chantiers	19
4.6	Comportement des usagers de la route.....	19
5	Mesures visant à prévenir les embouteillages dans les tunnels en Suisse	20
5.1	Système de dosage	20
5.2	Déviations à grande échelle.....	20
5.3	Réaffectation de la bande d'arrêt d'urgence (PUN)	20
5.4	Harmonisation de la vitesse et avertissement des dangers (GHGW)	21
5.5	Suppression de voies avant le tunnel	22
5.6	Fermeture du tunnel au moyen d'un feu rouge au portail	22
5.7	Éviter la suppression de voies	23
5.8	Empêcher les changements de voie des usagers de la route	23
5.9	Détection des embouteillages	24
6	Mesures supplémentaires possibles pour prévenir les embouteillages dans les tunnels.....	25
6.1	Assistance par des feux rouges aux portails	25
6.2	Optimisation de la planification des chantiers	26
6.3	Équipement des tunnels.....	27
6.4	Information des usagers de la route	28
6.5	Sensibilisation et documentation	28
6.6	Disposition des entrées, sorties et bifurcations.....	28

7	Mesures à prendre en cas d'embouteillages dans les tunnels en Suisse	29
7.1	Mesures préventives en cas de risque d'embouteillage	29
7.2	Ventilation du tunnel	29
7.3	Issues de secours	29
7.4	Mesures à prendre en cas de début d'embouteillage	29
7.5	Systèmes de régulation du trafic et prévention des embouteillages grâce aux feux rouges	30
7.6	Intervention	30
8	Évaluation des mesures visant à prévenir les embouteillages dans les tunnels	31
8.1	Identification des mesures	31
8.2	Mesures de construction recommandées	31
8.2.1	Éviter la suppression de voies de circulation	31
8.2.2	Disposition des entrées, sorties et bifurcations	32
8.2.3	Géométrie et profil longitudinal du tunnel	33
8.3	Mesures recommandées en matière de circulation	34
8.3.1	Systèmes de dosage	34
8.3.2	Suppression des voies avant le tunnel	34
8.3.3	Fermeture du tunnel en cas d'embouteillage dans le tunnel	35
8.3.4	Déviation à grande échelle	35
8.3.5	Limitation et harmonisation de la vitesse	35
8.3.6	Réutilisation de la bande d'arrêt d'urgence	36
8.4	Mesures techniques recommandées	37
8.4.1	Équipement du tunnel	37
8.4.2	Fermeture de voies / tunnels	39
8.5	Mesures organisationnelles recommandées	40
8.5.1	Optimisation de la planification du chantier	40
8.6	Mesures recommandées en matière d'information et de sensibilisation	41
8.6.1	Information des usagers de la route	41
8.6.2	Formation des usagers de la route	42
8.6.3	Élargir/compléter le guide des bonnes pratiques sur l'autoroute avec la fin des embouteillages dans le tunnel <i>Description</i>	42
8.6.4	Sensibilisation des exploitants et des planificateurs	43
8.7	Aperçu des mesures recommandées	44
	Glossaire	45
	Bibliographie	46
	Liste des modifications	47

1 Introduction

1.1 Objectif de la documentation

La documentation présente les causes et les risques liés aux embouteillages dans les tunnels et identifie les mesures appropriées pour les prévenir. Elle poursuit les objectifs suivants :

- Présenter les principes fondamentaux et des prescriptions relatifs aux embouteillages dans les tunnels
- Mettre en évidence les risques liés aux embouteillages dans les tunnels
- Mettre en évidence les avantages économiques de la prévention des embouteillages
- Mettre en évidence les causes pertinentes des embouteillages dans les tunnels
- Présenter les enseignements tirés à l'étranger
- Analyser les mesures mises en œuvre et les mesures supplémentaires possibles pour prévenir les embouteillages dans les tunnels
- Recommander des mesures à mettre en œuvre
- Recommander le type de mise en œuvre
- Définir des possibilités et des mécanismes permettant de suivre la mise en œuvre

Elle offre aux services compétents de l'OFROU, aux exploitants et aux planificateurs un soutien pour une prévention efficace des embouteillages dans les tunnels des routes nationales.

1.2 Champ d'application

La documentation s'applique à la planification, à la conception, à la réalisation et à l'utilisation/l'exploitation de toutes les nouvelles constructions et installations existantes dans les tunnels et sur les tronçons adjacents.

1.3 Destinataires

Cette directive s'adresse aux maîtres d'ouvrage, aux planificateurs, à la police et aux exploitants d'installations de tunnels.

1.4 Entrée en vigueur et modifications

Ce document entre en vigueur le 13.03.2026. La «liste des modifications » est documentée à la page 47.

2 Situation initiale et procédure

2.1 Situation initiale et motivation

Les routes nationales constituent l'épine dorsale du réseau routier suisse. Elles absorbent une part considérable du trafic, en particulier dans les agglomérations en pleine expansion le long de l'axe Genève-Berne-Zurich et dans le trafic de transit sur l'axe nord-sud.

Les embouteillages sur les routes nationales affectent considérablement le système routier suisse. Les congestions de trafic sur les tronçons à ciel ouvert doivent être évitées, notamment en raison des dommages économiques qu'ils causent. Les embouteillages dans les tunnels présentent toutefois un risque supplémentaire en matière de sécurité – en raison de l'espace restreint et du nombre élevé d'usagers. Les embouteillages dans les tunnels comportent donc des risques plus importants. Les collisions par l'arrière, les incendies ou autres incidents similaires peuvent rapidement avoir des conséquences catastrophiques. Malgré les mesures déjà mises en œuvre, des embouteillages se produisent régulièrement dans les tunnels du réseau routier national.

Le domaine spécialisé Sécurité opérationnelle de l'OFROU (FB OpSi ASTRA) a commandé les études désormais disponibles sur la prévention des embouteillages dans les tunnels du réseau routier national sous l'angle de la sécurité opérationnelle.

2.2 Définitions

L'utilisation des termes « embouteillage » et « circulation ralentie » est clairement définie en Suisse sur le site Internet de l'OFROU (« Fluidité du trafic et embouteillages » – « Définitions » [9]).

« Selon la définition des spécialistes de l'information routière, il y a embouteillage

- *lorsque la vitesse des véhicules sur les routes à haut débit ou les routes principales hors des localités est de moins de 10 km/h pendant au moins une minute et que le trafic est souvent immobilisé,*
- *lorsque le temps perdu aux carrefours ou aux goulots d'étranglement sur les routes principales à l'intérieur des localités dépasse les 5 minutes au total. »*

« Selon la définition des spécialistes de l'information routière, il y a fort ralentissement

- *lorsque, à l'extérieur des localités, la vitesse des véhicules est de moins de 30 km/h pendant au moins une minute et/ou que le trafic est parfois temporairement immobilisé. »*

La logique de régulation technique du trafic (VTRL) utilise une autre définition conformément à la directive ASTRA 15019 (seuils plus élevés).

2.3 Situation et évolution des embouteillages sur les routes nationales

La documentation ASTRA [7], publiée chaque année, constitue une base importante et utile pour la circulation et les embouteillages en général. Elle contient des évaluations statistiques et donne un bon aperçu des points noirs en matière d'embouteillages (définition des embouteillages selon la section 2.2). Néanmoins, la détermination pour laquelle les tunnels sont concernés n'est que partiellement applicable.

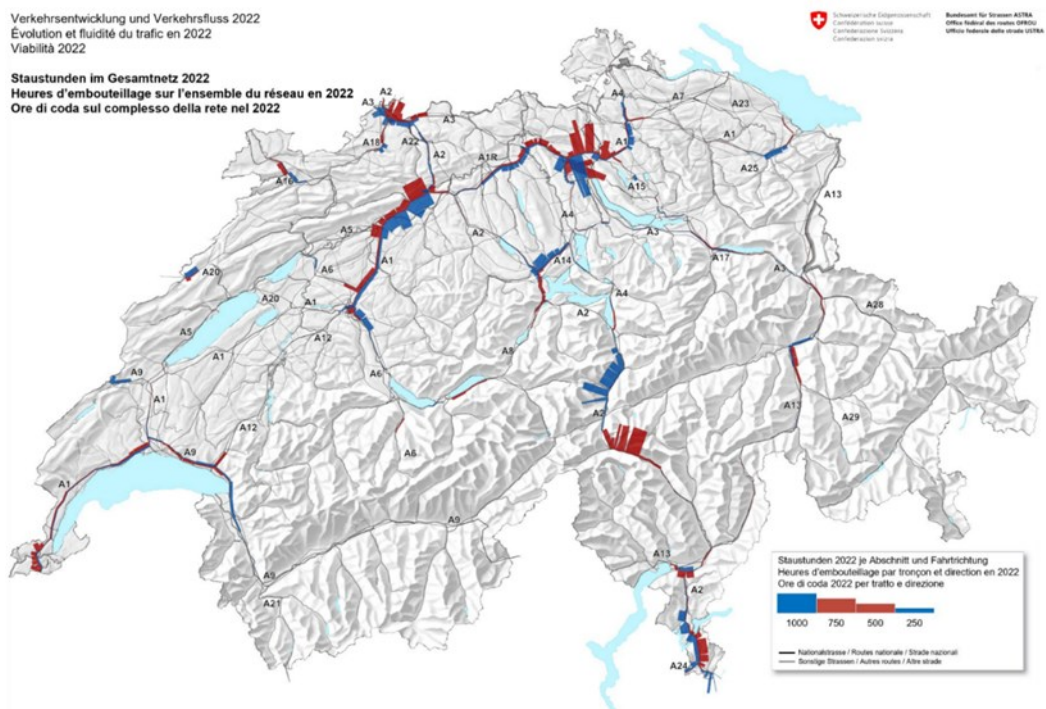


Fig. 1 Points noirs en matière d'embouteillages [7]

L'évolution dans le temps des heures d'embouteillage en Suisse est indiquée dans Tab. 1 et Fig. 2. La définition des heures d'embouteillage et leur calcul sont décrits dans le rapport sur la fluidité du trafic [7] dans l'annexe « Heures d'embouteillage sur le réseau routier national – Méthodologie, pertinence et signification ».

Tab. 1 Heures d'embouteillage en millions par an pour 2010-2019 [13].

	AB		Nicht-AB		Alle Strassen		alle
	LMW	SMW	LMW	SMW	LMW	SMW	
2010	15.19	0.79	11.23	0.22	26.42	1.00	27.42
2011	15.68	0.81	11.23	0.22	26.90	1.03	27.93
2012	16.45	0.85	11.23	0.22	27.68	1.07	28.75
2013	15.67	0.82	11.23	0.22	26.90	1.04	27.93
2014	16.62	0.87	11.23	0.22	27.85	1.09	28.94
2015	17.66	0.87	11.23	0.22	28.89	1.09	29.98
2016	18.60	0.94	11.23	0.22	29.83	1.16	30.99
2017	19.92	1.06	11.23	0.22	31.15	1.28	32.43
2018	20.45	1.81	11.23	0.22	31.67	2.03	33.70
2019	21.21	3.33	11.23	0.22	32.44	3.55	35.99

AB: Autobahnen. LMW: leichte Motorwagen (Personenwagen und Leichte Nutzfahrzeuge), SMW: schwere Motorwagen (Lastwagen und Reisebusse);

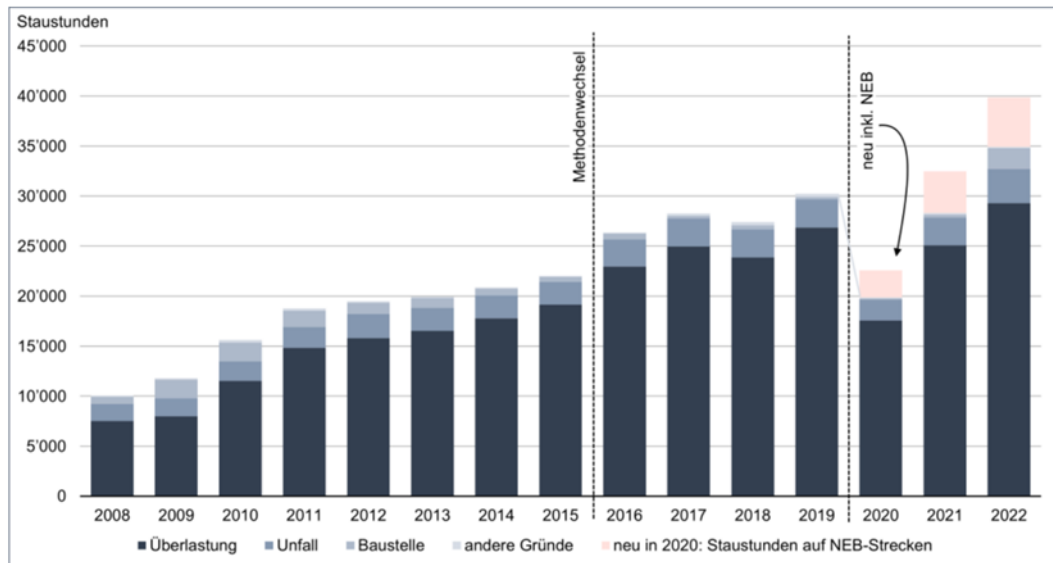


Fig. 2 Heures d'embouteillage par an sur le réseau routier national pour 2008-2022 (la baisse en 2020 était due à la pandémie) [7].

Le nombre d'heures d'embouteillage augmente très rapidement, beaucoup plus rapidement que l'évolution générale du trafic. En 2022, 85,1 % de toutes les heures d'embouteillage étaient dues à la saturation du trafic. 9,0 % des embouteillages ont été précédés d'un accident. 5,5 % ont été causés par des chantiers et 0,3 % par d'autres raisons [7].

De plus amples informations sur les embouteillages ont été obtenues directement auprès de la Centrale suisse de gestion du trafic (VMZ-CH) [8].

Certaines normes VSS contiennent des informations sur le thème des embouteillages. Il n'existe pas de travaux traitant explicitement de la thématique « embouteillages dans les tunnels ». Certains travaux de recherche VSS traitent de thèmes pouvant avoir une influence sur la formation d'embouteillages dans les tunnels, par exemple la gestion du service hivernal (mesures de retenue), l'aménagement des zones d'accès aux tunnels, l'optimisation des chantiers.

2.4 Risques liés aux embouteillages dans les tunnels

Les embouteillages sur les routes sont généralement indésirables. Les embouteillages dans les tunnels comportent notamment des risques supplémentaires et plus importants que les embouteillages sur les routes ouvertes. Ces risques sont expliqués plus en détail dans le chapitre 3. Le présent rapport expose les raisons pour lesquelles les embouteillages dans les tunnels doivent être évités autant que possible.

2.5 Recommandations de la PIARC

L'Association mondiale de la Route PIARC attire l'attention, dans différents documents, sur le problème des embouteillages dans les tunnels et sur les mesures à prendre pour y remédier. Les recommandations les plus pertinentes concernant la prévention des embouteillages dans les tunnels sont résumées ci-dessous.

PIARC 2008R15 – Tunnels Routiers Urbains – Urban Road Tunnels [16]

Recommandations pertinentes pour prévenir les embouteillages dans les tunnels :

- Pas de réduction du nombre de voies dans ou immédiatement après un tunnel
- Pas d'entrées ni de sorties dans ou à proximité d'un tunnel
- Création de voies réservées aux véhicules lents dans les tunnels à forte pente
- La vitesse maximale signalée après un tunnel ne doit pas être inférieure à celle avant le tunnel

- Équipement avec une signalisation concise et succincte: trop de panneaux déroutent les usagers de la route et entraînent des manœuvres de freinage
- Équipement et couleurs appropriés dans les tunnels afin de réduire les craintes des usagers de la route (éclairage, couleurs claires, etc.)
- Enregistrement et contrôle de la situation du trafic par un système de gestion du trafic

PIARC RR378-027 – Efficacité des mesures d'atténuation des risques pour les tunnels routiers [17]

Recommandations pertinentes pour prévenir les embouteillages dans les tunnels :

- Information des usagers de la route sur les situations d'embouteillage
- Fermeture immédiate d'une voie après un accident
- Barrières en confirmation du feu rouge au portail
- Amélioration de la détection des accidents (vidéo, boucles à induction, détection acoustique)
- Gestion du trafic en cas de forte affluence

PIARC 2019R03FR – Prévention et limitation des collisions liées aux tunnels [18]

Recommandations pertinentes pour prévenir les embouteillages :

- Restriction de la composition du trafic (par exemple, exclusion des camions, des autobus, etc.)
- Interdiction de dépasser pour les camions
- Séparation physique du trafic ou des types de trafic (par exemple, un tunnel séparé pour les camions et un autre pour les voitures particulières)
- Pas de fortes pentes et, si c'est le cas, aménagement d'une voie supplémentaire pour les véhicules lents
- Accentuation de la rugosité de la chaussée pour réduire la distance de freinage
- Pas de réduction du nombre de voies dans ou juste après un tunnel
- Possibilités de signalisation pour l'attribution d'une voie de roulement à un type de véhicule spécifique (par exemple les camions) ou pour la fermeture d'une voie
- Détection automatique des embouteillages et autres anomalies dans le flux de circulation
- Éclairage additionnel de vitesse au moyen de LED variables afin d'encourager à respecter la vitesse recommandée
- Affichage de messages variables
- Régulation du trafic à l'aide de feux de signalisation permettant un dosage selon le système de goutte-à-goutte

PIARC 2008R17 – Facteurs humains et sécurité des tunnels routiers du point de vue des usagers [19]

Recommandations pertinentes pour prévenir les embouteillages :

- Signalisation suffisante et en temps utile des embouteillages et des voies/tunnels fermés
- Pré signalisation 1,0 à 1,5 km avant l'entrée du tunnel
- Répétition des informations indiquant que le tunnel est fermé
- Affichage de messages variables (attire davantage l'attention des usagers de la route) en lieu et place de signaux statiques
- Suppression de l'information 150 à 200 m avant le tunnel afin de ne pas distraire les usagers de la route

Remarque : en Suisse, les signaux situés immédiatement avant l'entrée d'un tunnel sont autorisés et utiles s'ils transmettent des informations importantes pour la sécurité.

2.6 Délimitation

Les mesures dont la mise en œuvre ne relève pas de la compétence de la division OpSi de l'OFROU ne sont pas abordées dans le présent rapport, ou seulement de manière marginale.

L'instruction ASTRA 73002 [3] décrit la répartition opérationnelle des tâches entre la gestion du trafic (VMZ-CH), les tâches de sécurité (ELZ) et la maintenance opérationnelle (BLZ). Le VIM (gestion du trafic et de l'innovation) est responsable de la gestion stratégique du trafic, tandis que la VMZ-CH (centrale suisse de gestion du trafic) est responsable de la gestion opérationnelle du trafic. La répartition des tâches conformément aux conventions de prestations entre la VMZ et les POLCANT doit être prise en compte en conséquence. Les UT n'ont pas de contrat de prestations concernant les tâches de gestion du trafic (commutation de la signalisation ou BZ qui influencent positivement le trafic, c'est-à-dire diriger, guider, contrôler et informer les usagers). Toutes les questions techniques ne relèvent pas de la responsabilité de la gestion du trafic, bien que celle-ci définisse l'équipement des lignes [2]. Le présent rapport ne traitera pas davantage en détail de cette répartition des tâches.

3 Risques d'embouteillages dans les tunnels

3.1 Augmentation de la fréquence des incidents

3.1.1 Accidents

Les embouteillages entraînent des pertes de temps et une augmentation de la fréquence des accidents avec des coûts consécutifs importants. À l'inverse, les accidents sont souvent à l'origine des embouteillages. En 2015, environ 25 % des coûts liés aux embouteillages, soit un total de 450 millions de francs suisses, étaient dus aux accidents.



Fig. 3 Collision dans un tunnel (photo : Luzerner Zeitung, 18 octobre 2019 <https://www.luzernerzeitung.ch>).

Tab. 2 Coûts des embouteillages [14]

	2010	2015	%	%	Veränderung
	Mio. CHF	Mio. CHF	2010	2015	2015 ggü. 2010
Stauzeitkosten	1'137	1'293	64.4 %	68.5 %	+13.8 %
Staubedingte Umweltkosten	26	27	1.5 %	1.4 %	+2.9 %
Staubedingte Klimakosten	15	17	0.9 %	0.9 %	+11.7 %
Staubedingte Energiekosten	109	101	6.2 %	5.3 %	-7.8 %
Staubedingte Unfallkosten	479	450	27.1 %	23.8 %	-6.1 %
Gesamte Staukosten	1'767	1'888	100.0%	100.0%	+6.9 %

La plupart des accidents liés aux embouteillages sont des collisions par l'arrière (environ 75 % de tous les accidents, Tab. 3). Les queues de colonne des embouteillages dans les tunnels sont particulièrement dangereuses en termes de collision par l'arrière, sachant que les conducteurs qui ne remarquent pas un embouteillage peuvent rouler quasiment ou totalement sans freiner jusqu'au début de l'encolonnement des véhicules à l'arrêt.

Tab. 3 Coût des accidents liés aux embouteillages en 2015 en millions de CHF par an [14].

	AB/AS	übrige Strassen	Total	%
Auffahrunfälle	195.2	131.9	327.1	73 %
übrige Unfallarten	59.7	63.2	122.9	27 %
Total	255.0	195.1	450.0	100 %
%	57 %	43 %	100 %	

Quelle: Ecoplan (2019).

Abkürzungen: AB: Autobahnen, AS: Autostrassen.

D'autres raisons expliquent la fréquence accrue des accidents dans les embouteillages : baisse de concentration due à la monotonie du trajet dans le tunnel, distraction ou comportement inapproprié des usagers de la route. Il arrive régulièrement que des usagers de la route effectuent des manœuvres de dépassement ou de demi-tour téméraires dans un embouteillage, manœuvres qui entraînent des accidents.

Il apparaît que les embouteillages dans les tunnels engendrent globalement des coûts considérables. Les mesures de prévention des embouteillages peuvent avoir un impact économique direct et indirect important.

3.1.2 Incendies

Outre les accidents, les embouteillages dans les tunnels sont également davantage susceptibles de provoquer des incendies que dans des conditions de circulation normales. Le fait de rester à l'arrêt avec le moteur en marche entraîne plus souvent une surchauffe des moteurs, car l'air de refroidissement est insuffisant ou inexistant. Cela augmente la fréquence des incendies lors d'embouteillages dans les tunnels, avec les conséquences négatives que cela implique pour les usagers de la route et les infrastructures.

Le potentiel de dommages considérables est beaucoup plus élevé dans un tunnel que sur les tronçons à ciel ouvert, tant pour les personnes que pour les infrastructures. Les personnes sont contraintes de fuir vers la sortie de secours la plus proche en empruntant des issues de secours parfois enfumées à l'intérieur du tunnel ; les infrastructures sont gravement endommagées par le feu, l'énergie et la fumée, ces éléments stagnants ne pouvant s'extraire par le haut.



Fig. 4 Incendie dans le tunnel et la galerie du Schallberg (route du col du Simplon) (Photo : TicinoNews, 2019, <https://www.ticinonews.ch>).

3.2 Nombre élevé de personnes dans le tunnel

En cas d'embouteillage, les véhicules sont serrés les uns derrière les autres. Si l'on part du principe que l'espace entre deux véhicules de 5 m de long est de 30 m, un embouteillage entraîne un nombre de véhicules six fois plus important que lorsque la circulation est fluide. Cette hypothèse simplifiée montre l'ordre de grandeur. Des données empiriques plus précises sont disponibles dans le rapport PIARC [15].

Tab. 4 Densité du trafic en circulation fluide et en cas d'embouteillage [15].

TABLEAU 2 - DONNÉES MOYENNES DE TRAFIC DE POINTE					
		Densité moyenne de trafic de pointe (uvp/km) Volume de trafic (uvp/h) par voie			
		TUNNEL EN RASE CAMPAGNE			
		Trafic unidirectionnel		Trafic bidirectionnel	
	v [km/h]	uvp/km	uvp/h	uvp/km	uvp/h
Trafic fluide	60	30	1 800	23	1 400
Trafic congestionné	10	70	700-850	60	600
Trafic à l'arrêt	0	150	-	150	-
		TUNNEL URBAIN			
		Trafic unidirectionnel		Trafic bidirectionnel	
	v [km/h]	uvp/km	uvp/h	uvp/km	uvp/h
Trafic fluide	60	33	2 000	25	1 500
Trafic congestionné	10	100	1 000	85	850
Trafic à l'arrêt	0	165	-	165	-

L'augmentation du nombre de véhicules s'accompagne d'une augmentation d'un facteur 6 du nombre de personnes se trouvant dans le tunnel en cas d'embouteillage. De plus, statistiquement, le nombre de personnes handicapées ou à mobilité réduite augmente proportionnellement au nombre de personnes. Le nombre élevé de personnes présente un risque de dommages importants, par exemple en cas d'incendie. Si les personnes se trouvant dans le tunnel doivent évacuer l'ouvrage, des embouteillages peuvent se former les voies d'évacuation, en particulier au niveau des portes de secours. La vitesse moyenne d'évacuation diminue alors considérablement. Dans ce cas de figure, il faut s'attendre à une augmentation significative du nombre de blessés.

3.3 Propagation de la fumée et qualité de l'air

Le choix du système de ventilation en Suisse est effectué sur la base de la directive ASTRA 13001. Dans les tunnels à circulation unidirectionnelle avec une faible fréquence d'embouteillages, on utilise des ventilateurs à jet dans des zones comprises entre 600-800 m et 2000-3000 m. En cas de fréquence élevée d'embouteillages, la zone correspondante se situe entre 600-800 m et 800-1500 m. Les tunnels plus courts sont équipés d'une ventilation naturelle, tandis que les tunnels plus longs nécessitent un système d'extraction de fumée. En cas de circulation à double sens, le choix du système de ventilation est généralement similaire à celui utilisé pour la circulation à sens unique avec une fréquence élevée d'embouteillages.

Les systèmes de ventilation avec extraction concentrée de la fumée peuvent empêcher efficacement la propagation de la fumée dans le tunnel. La fumée est aspirée à proximité immédiate de l'incendie à l'aide de clapets réglables et de ventilateurs d'extraction. Cela contribue efficacement à limiter au minimum le nombre de véhicules exposés à la fumée.

La situation est fondamentalement différente et nettement plus dangereuse dans le cas d'une ventilation naturelle et d'une ventilation longitudinale mécanique avec des ventilateurs à jet. En cas d'incendie lors d'un embouteillage, la propagation de la fumée doit être

considérée comme critique, en particulier dans le cas d'une circulation à sens unique. La fumée peut d'une part être refoulée d'un seul côté (Fig. 5 , moitié supérieure, ventilation à vitesse critique de l'air), ce qui est idéal dans le cas d'un trafic bidirectionnel fluide. D'autre part, la propagation de la fumée peut être limitée autant que possible (Fig. 5 , moitié inférieure), ce qui est généralement la seule option en cas d'embouteillage. En fonction de la puissance de ventilation et du sens d'évacuation, il n'est pas possible de garantir des voies d'évacuation sans fumée à tous les usagers de la route. Les véhicules bloqués dans un embouteillage ne peuvent pas quitter la zone enfumée. La situation est analogue en cas de circulation en sens inverse.

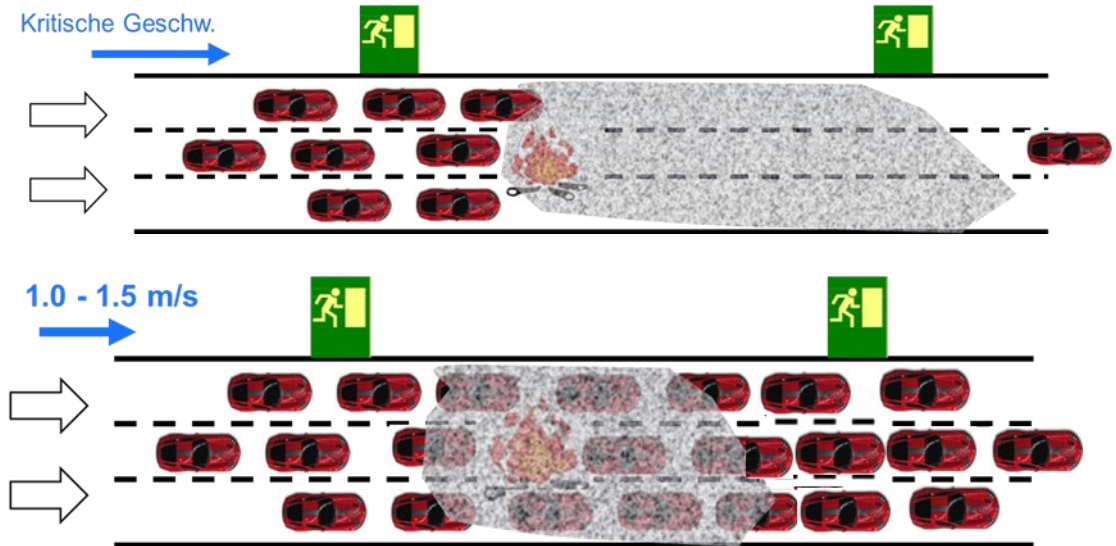


Fig. 5 Situation d'incendie dans un tunnel à circulation unidirectionnelle ; incendie avec circulation fluide (en haut, ventilation à vitesse critique) et incendie avec embouteillage (en bas, vitesse de l'air 1 - 1,5 m/s) (image : auteurs).

L'augmentation des distances entre les issues de secours représente un facteur de risque supplémentaire, en particulier en cas d'embouteillage.

3.4 Accès difficile pour les forces d'intervention en cas d'incident

En cas d'incident, l'intervention des pompiers s'effectue en principe des deux côtés du tunnel. En cas de circulation à sens unique, l'accès s'effectue en partie à travers le tube concerné, dans le sens inverse de la circulation. Le deuxième tube du tunnel et une éventuelle galerie de sécurité sont également disponibles pour l'intervention.

En cas d'embouteillage, l'accès des pompiers et des autres forces d'intervention à l'épicentre de l'incident ou à un autre incident peut être fortement entravé. L'accès par la chaussée n'est possible que si les usagers de la route forment une voie de secours dès qu'ils sont bloqués dans un embouteillage. Comme il n'y a généralement pas de bande d'arrêt d'urgence dans les tunnels (par exemple pour les tunnels de montagne), l'accès par la bande d'arrêt d'urgence n'est pas possible. Si l'accès est impossible, l'intervention doit se faire à pied, ce qui entraîne des retards considérables pour les forces d'intervention. L'accès peut éventuellement se faire par le tube opposé, mais là aussi, la dernière partie du cheminement jusqu'au lieu du sinistre devra se faire à pied car, en règle générale, seule une connexion transversale sur trois entre les tubes, est praticable.



Fig. 6 Embouteillage dans un tunnel sans voie de secours – impossible pour les services d'intervention de progresser (photo : Dreamstime, <https://www.dreamstime.com>).

4 Causes pertinentes des embouteillages dans les tunnels

4.1 Surcharge du trafic

4.1.1 Surcharge chronique du trafic

La surcharge récurrente du trafic est de loin la cause la plus fréquente des embouteillages.

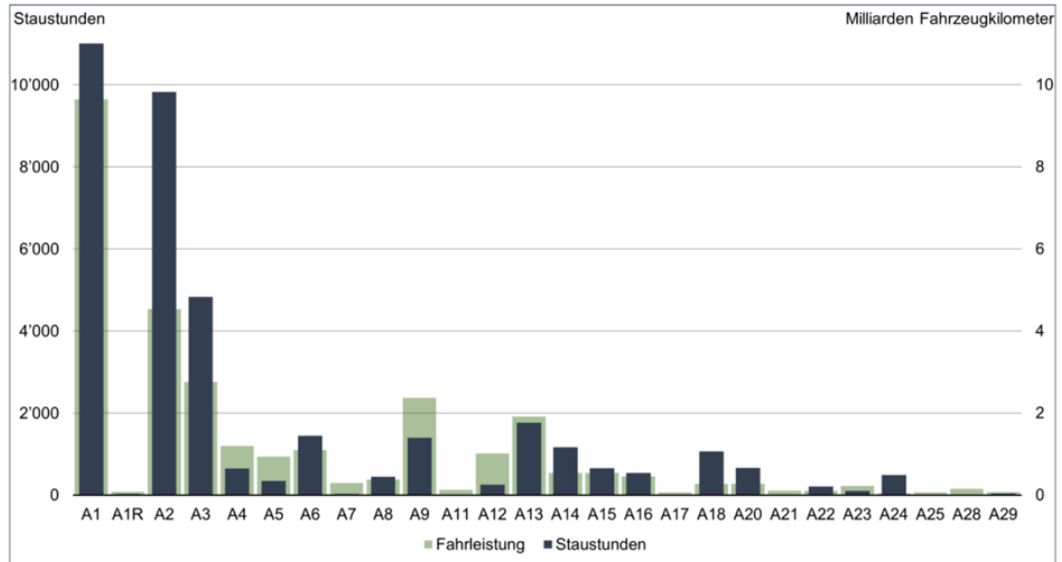


Fig. 7 Causes des embouteillages, par route nationale (2022) [7].

La saturation chronique du trafic survient généralement lorsque le volume de trafic est régulièrement égal ou supérieur à la capacité disponible. Des embouteillages aux points névralgiques se forment alors souvent aux heures de pointe.

4.1.2 Surcharges ponctuelles du trafic

Les surcharges ponctuelles du trafic sont limitées dans le temps et dans l'espace, mais entraînent également souvent des embouteillages. Il s'agit par exemple :

- Du début ou fin des vacances / jours fériés
- Du changement de locataires dans les stations de ski
- De grands événements

4.2 Influences météorologiques

Les influences météorologiques (fortes tempêtes, grêle, etc.) entraînent une réduction de la vitesse et des embouteillages en raison des mauvaises conditions de circulation.

4.3 Conditions structurelles

Toutes les conditions architecturales qui favorisent généralement la formation d'embouteillages entraînent des bouchons dans un tunnel lorsqu'elles se trouvent à l'intérieur ou à proximité immédiate de celui-ci. Il s'agit principalement :

- Des bifurcations
- Des bretelles de sorties et d'entrée
- De la réduction du nombre de voies

De plus, un tracé défavorable avec des virages sans visibilité, une signalisation peu claire ou un profil longitudinal présentant de grands changements de pente, peuvent entraîner des embouteillages dans un tunnel.

4.4 Gestion du trafic et signalisation

En matière de gestion du trafic, les mesures suivantes favorisent la formation d'embouteillages dans un tunnel :

- La réduction de la vitesse dans ou peu après un tunnel
- Les changements de voie signalés dans un tunnel
- La suppression de voies et sorties dans ou peu après un tunnel
- Les accès d'entrée dans le tunnel ou juste avant ou après celui-ci

En règle générale, la norme SIA 197/2 [5], chiffre 8.2.4 « Ramifications en tunnel » s'applique.

Remarque : la directive européenne [4] stipule : « À l'exception de la bande d'arrêt d'urgence, le même nombre de voies est maintenu à l'intérieur et à l'extérieur du tunnel. ».

4.5 Chantiers

La disposition défavorable des chantiers à proximité d'un tunnel peut entraîner des embouteillages dans le tunnel, car la réduction de la vitesse et les éventuels changements de voie imposés entraînent en soi des embouteillages ou des ralentissements. L'installation de feux de signalisation temporaires sur un chantier peut également entraîner des embouteillages dans un tunnel, en fonction de la disposition des feux et de la durée des phases rouges.

D'une manière générale, les prescriptions de la norme SIA 197/2 [5] s'appliquent.

Remarque : la directive européenne [4] stipule que « les fermetures partielles ou totales de voies nécessitées par des travaux programmés de construction ou d'entretien doivent toujours commencer avant l'entrée du tunnel ».

4.6 Comportement des usagers de la route

Le comportement des usagers de la route est parfois difficile à prévoir. Les accidents entraînent régulièrement des embouteillages. D'autres facteurs peuvent également provoquer des embouteillages dans le tunnel comme, par exemple :

- Le non-respect des voies dans le tunnel (conduite en zigzag)
- La conduite inattentive
- Le freinage brusque
- Le ralentissement des curieux lors d'accidents

5 Mesures visant à prévenir les embouteillages dans les tunnels en Suisse

5.1 Système de dosage

Les systèmes de dosage constituent un moyen efficace pour prévenir les embouteillages dans les tunnels. Pour leur mise en œuvre, un espace de stockage suffisant est nécessaire avant le point de dosage (sur la route ou dans des aires d'attente séparées), en particulier pour les poids lourds.

5.2 Déviation à grande échelle

Après un accident ou tout autre événement bloquant ou limitant pendant une période prolongée la circulation sur un tronçon donné d'une route nationale, des déviations à grande échelle sont mises en place. Les déviations sont gérées par la VMZ-CH et signalées à l'aide de panneaux à messages variables et de panneaux de signalisation dynamique.

Dès réception d'un message d'accident, la police transmet l'information correspondante à la VMZ-CH. Celle-ci rédige un message routier qui peut être diffusé via les appareils de navigation, la radio et Internet.

Parallèlement, la déviation est mise en place conformément au plan de gestion du trafic.

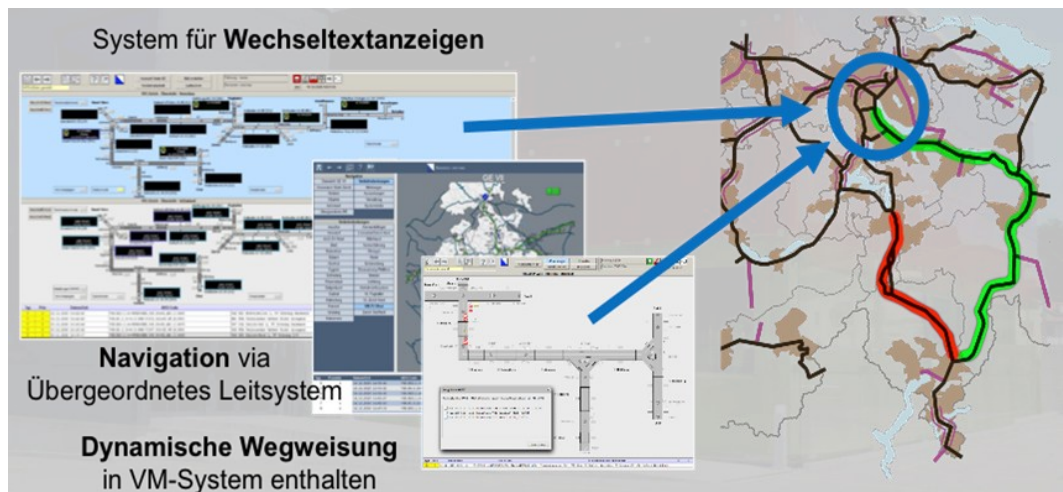


Fig. 8 Déviation à grande échelle du trafic via le San Bernardino, après un accident sur l'axe du Gothard [10].

5.3 Réaffectation de la bande d'arrêt d'urgence (PUN)

La réaffectation de la bande d'arrêt d'urgence (PUN) permet d'augmenter d'une voie supplémentaire [12] la capacité de la route nationale de manière temporaire (PUN temporaire) ou permanente (PUN permanente). Les bandes d'arrêt d'urgence sont alors réaménagées de manière à pouvoir être ouvertes à la circulation de manière temporaire aux heures de pointe ou de manière permanente. La PUN est particulièrement adaptée aux agglomérations urbaines pour fluidifier le trafic. La PUN est une solution transitoire relativement rapide à mettre en œuvre et relativement peu coûteuse pour augmenter à court terme la capacité d'un tronçon autoroutier surchargé (même si la procédure d'approbation des plans prend souvent beaucoup de temps en raison des nombreuses oppositions).

La réaffectation des bandes d'arrêt d'urgence doit être envisagée dans le contexte global du système de transport. La PUN n'est mise en œuvre que là où elle n'entraîne pas de nouvelles congestions sur les tronçons autoroutiers voisins. De même, la PUN doit tenir

compte du réseau routier secondaire et est donc toujours réalisée en collaboration avec les communes et les cantons concernés.

Dans la région de Zurich, une « PUN événementiel » a également été mise en place : A1 VZ Limmattal jusqu'à AS Seebach et A3 AS Urdorf-Süd jusqu'à VZ Zurich-Sud. Ces deux tronçons comptent 7 tunnels.



Fig. 9 Réutilisation temporaire de la bande d'arrêt d'urgence en cas de trafic intense.

En raison de l'absence générale de bandes d'arrêt d'urgence, les PUN ne sont pas utilisées dans les tunnels. Cependant, une PUN après un tunnel peut aider à éviter les embouteillages dans un tunnel. Certains tunnels sont équipés de bandes d'arrêt d'urgence afin de permettre la mise en place d'une PUN continue.

Au cours des prochaines années, environ 300 km de nouvelles PUN seront réalisées et mises en service progressivement.

5.4 Harmonisation de la vitesse et avertissement des dangers (GHGW)

Selon l'état actuel de la recherche, un tronçon d'autoroute atteint sa capacité maximale lorsque les véhicules roulent à une vitesse d'environ 80 km/h.

La réduction progressive de la vitesse maximale de 120 à 100 ou 80, voire 60 km/h permet d'améliorer la fluidité du trafic sur un tronçon autoroutier donné. Dans de nombreux cas, cette augmentation de capacité suffit à retarder et à atténuer les embouteillages.

L'équipement avec des systèmes appropriés d'harmonisation de la vitesse et d'alerte aux dangers « GHGW » (ASTRA 15016 [1]) joue notamment un rôle central. Les GHGW sont des instruments importants pour harmoniser le flux de circulation grâce à des réductions de vitesse et pour informer et avertir les usagers de la route des perturbations du trafic et autres dangers sur les tronçons suivants. Ces GHGW sont installés sur les tronçons à ciel ouvert et dans les tunnels, ce qui signifie que le BZ GHGW est également activé dans les tunnels. En cas d'incident, la matrice à réflexes prend alors en charge la commutation des feux de portail et de certains signaux dans le tunnel. Cependant, l'événement est transmis au système de gestion du trafic suisse (VL-CH), qui génère et active de manière entièrement ou semi-automatique un état de fonctionnement local BZ ou un BZ régional ou suprarégional (par exemple, un plan de gestion du trafic convenu par l'OFROU et les cantons). En outre, le système permet de définir et d'activer des BZ manuels ad hoc.

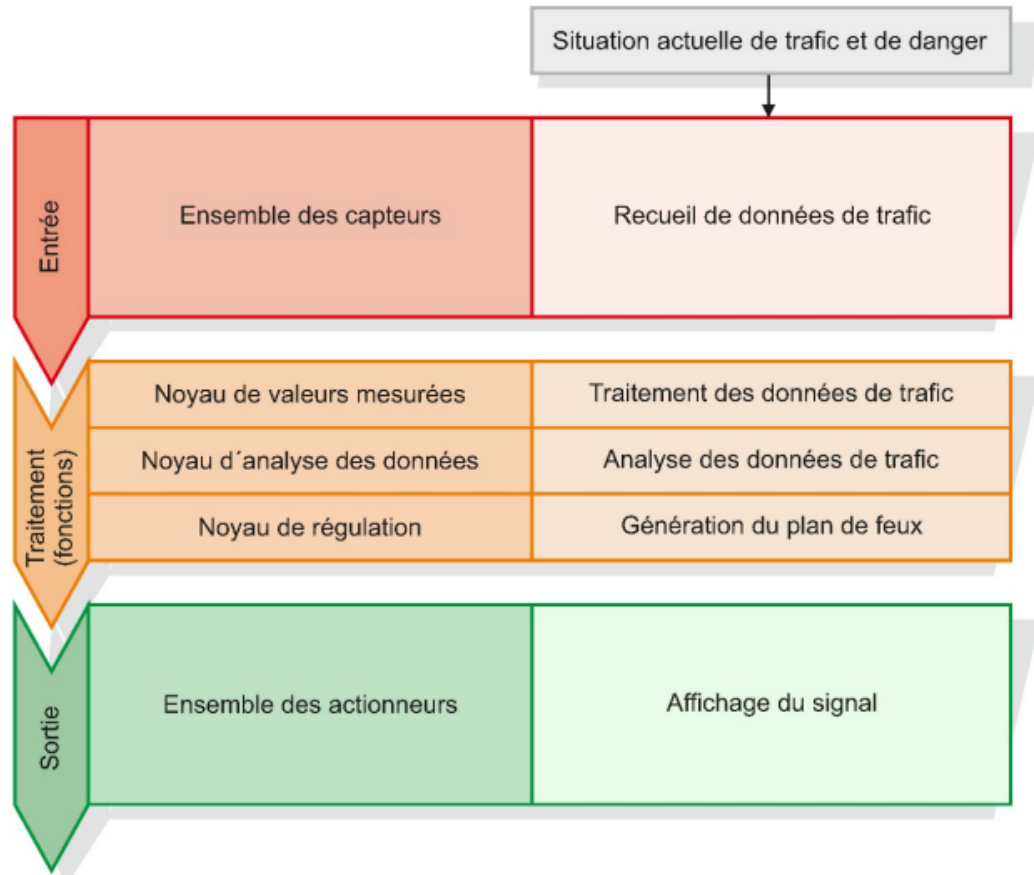


Fig. 10 Schéma de déroulement des HV-AD [1].

Sur certains tronçons, le système GHGW contrôle automatiquement la vitesse maximale autorisée en fonction du volume de trafic enregistré. Il arrive toutefois que les opérateurs doivent prendre le contrôle du système automatique afin d'adapter la vitesse à la situation réelle. Sur les autres tronçons, en particulier dans les tunnels, le contrôle est encore effectué manuellement par les centres de gestion du trafic. Les nouveaux systèmes sont gérés par la VMZ-CH. Cela concerne également une éventuelle augmentation du dosage des tunnels, en cas de gestion.

Le bon fonctionnement du système suppose que des contrôles de vitesse appropriés et d'éventuelles sanctions soient appliqués.

5.5 Suppression de voies avant le tunnel

La suppression d'une voie avant le tunnel peut constituer une alternative efficace ou une étape préliminaire au feu rouge du portail. Cette mesure réduit le volume maximal de trafic dans le tunnel et atténue les effets des embouteillages dans et après le tunnel. En cas de trafic intense, les embouteillages se forment ainsi avant le tunnel et la circulation reste fluide dans et après le tunnel.

5.6 Fermeture du tunnel au moyen d'un feu rouge au portail

La fermeture temporaire du tunnel au moyen d'un feu rouge au portail est un moyen très efficace de lutter contre les embouteillages dans le tunnel. Cependant, le feu rouge provoque toujours des vagues dans le trafic et entraîne inévitablement des embouteillages sur la route à ciel ouvert ou dans d'autres tunnels, si plusieurs tunnels se succèdent. Cette mesure prend, en cas d'incident, beaucoup de temps à la police ou à la VMZ-CH (gestion du trafic) et mobilise des ressources. Une gestion rapide à plusieurs endroits ne peut être garantie.

L'expérience montre que les feux de signalisation (feux rouges) sur les autoroutes suisses (en particulier dans les tunnels à plusieurs voies) sont souvent ignorés par les usagers. Lors de la mise en service d'un nouveau tunnel, un projet pilote visant à soutenir les feux rouges a été lancé. Des enquêtes menées auprès des automobilistes qui avaient ignoré le feu rouge ont révélé qu'ils l'avaient fait parce qu'ils ne voyaient aucune raison de fermer le tunnel et aucun danger. C'est pourquoi un panneau d'information à LED combiné à un GHGW a été installé à environ 30 m avant l'entrée du tunnel afin de renforcer le feu rouge (voir Fig. 11). Un radar fixe garantit en même temps que les infractions au signal peuvent être sanctionnées. Les premières expériences se sont avérées positives. L'étude pilote a été évaluée après un an d'exploitation (été 2024).



Fig. 11 Signal à l'entrée du 3e tube du tunnel du Gubrist.

Remarque : les systèmes de signalisation lumineuse sur voie (FLS) (voir VSS 40 802 et ASTRA 23001) ne constituent pas un moyen de prévention des embouteillages dans les tunnels. Le « X » rouge est utilisé pour fermer une voie. Les FLS ne doivent pas être utilisés pour arrêter la circulation. Pour cela, des feux de signalisation sont nécessaires.

5.7 Éviter la suppression de voies

La réduction du nombre de voies dans ou juste après un tunnel entraîne automatiquement des embouteillages lorsque le trafic est dense, car le même nombre de véhicules doit soudainement se répartir sur une voie en moins. La réduction du nombre de voies dans les tunnels doit donc être évitée à tout prix, conformément aux dispositions de la norme SIA 197/2 [5], chiffre 8.2.4 « Ramifications en tunnel ». Si une réduction du nombre de voies est nécessaire, elle doit être effectuée avant le tunnel ou seulement après une certaine distance après le tunnel, afin d'éviter tout embouteillage dans le tunnel.

5.8 Empêcher les changements de voie des usagers de la route

En raison de l'espace restreint et de l'obscurité, les changements de voie dans les tunnels peuvent entraîner des freinages brusques, des accidents et des embouteillages. Il est beaucoup plus facile pour les usagers de la route d'effectuer des changements de voie sur une route ouverte que dans un tunnel. La signalisation des sorties et des bifurcations situées immédiatement après un tunnel doit donc être placée à une distance suffisante avant le tunnel afin que les usagers de la route aient le temps de changer de voie avant d'entrer dans le tunnel.

Des lignes de sécurité continues peuvent également empêcher les usagers de la route de changer de voie dans le tunnel, par exemple après être entrés dans un tunnel ou juste avant un tunnel. Ils doivent alors rester sur la voie de droite pendant toute la durée du tunnel.

5.9 Détection des embouteillages

La vidéosurveillance dans ou après le tunnel peut détecter automatiquement les embouteillages. Des solutions radar pour la détection des embouteillages ont également été mises en place de manière ponctuelle. En principe, ces deux systèmes peuvent être utilisés pour diriger la signalisation de manière à indiquer l'embouteillage. Cela a déjà été fait dans certains cas, mais pas de manière systématique, car la détection génère de fausses alertes, en particulier dans la zone du portail. C'est pourquoi, elle est parfois désactivée. Pour détecter la fin des embouteillages, on peut utiliser des systèmes radar ou à boucles d'induction. Ceux-ci ne sont pas influencés par les conditions d'éclairage et fournissent donc des valeurs fiables, par exemple pour la commutation des feux de portail. La détection des embouteillages après le tunnel correspond à un avertissement préalable qu'un embouteillage potentiel est imminent dans le tunnel.

6 Mesures supplémentaires possibles pour prévenir les embouteillages dans les tunnels

6.1 Assistance par des feux rouges aux portails

L'expérience en Suisse et à l'étranger montre que le feu rouge au portail n'est souvent pas respecté. Les usagers de la route pénètrent dans le tunnel fermé malgré le feu rouge. Les mesures suivantes sont envisageables pour renforcer le feu rouge au portail ou améliorer sa visibilité et sa perception. Certaines d'entre elles sont déjà mises en œuvre en partie en Suisse et à l'étranger.

- Barrières

Conformément à la directive européenne [4], « Des moyens supplémentaires tels que des panneaux à messages variables et des barrières peuvent être prévus pour assurer un respect approprié de la signalisation ». Le domaine Normes et sécurité de l'OFROU s'est clairement prononcé contre les barrières physiques aux entrées des tunnels, car elles sont considérées comme trop dangereuses pour les tunnels suisses situés sur des routes à grand débit (sans péages ni autres éléments susceptibles de ralentir la circulation avant la barrière). En revanche, l'utilisation de barrières est en principe envisageable sur les routes du réseau secondaire. En Suisse, les barrières aux entrées des tunnels ne sont généralement pas prévues, conformément au manuel technique BSA : « Aucune barrière n'est utilisée aux entrées des tunnels » [6].

En Suisse alémanique, les barrières sur les autoroutes ne sont pas bien perçues. On craint notamment que la barrière fermée puisse entraîner des accidents et des collisions. En Suisse romande, en revanche, des barrières sont utilisées de manière isolée (Genève, Vernier, Confignon, Glion). Au tunnel de Glion, dans le canton de Vaud, la barrière est fermée lorsque le feu est rouge. Au cours des quelque 20 années qui ont suivi sa mise en place, aucun accident lié à la barrière n'a été signalé au tunnel de Glion. Dans le passé, des accidents isolés dus aux barrières se sont produits dans les tunnels de Cholfirst et de Fäsenstaub sur la N4.



Fig. 12 Barrière au tunnel de Glion.

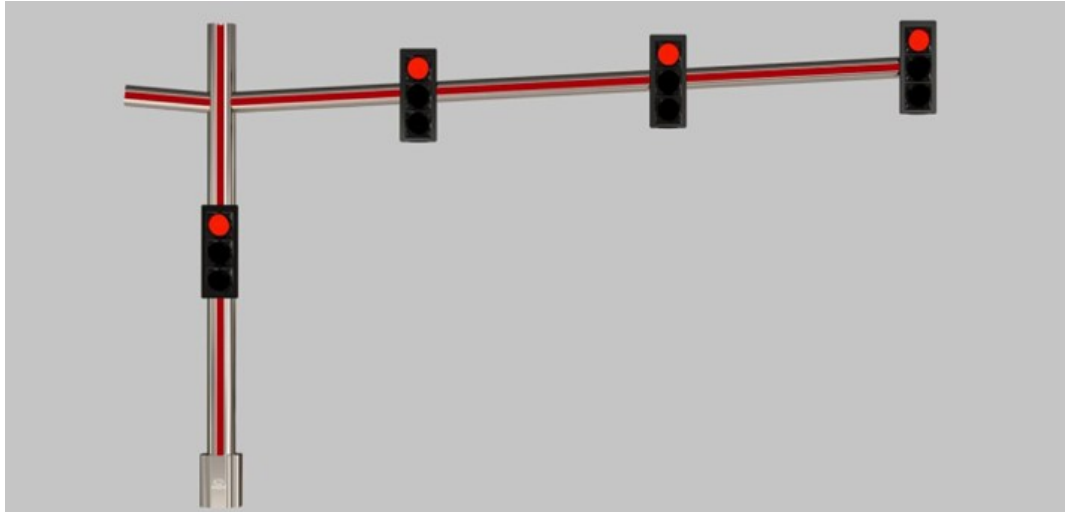


Fig. 13 Marquages lumineux dynamiques pour les portails de tunnels (<https://stolb.com.ua/en>).

- La combinaison de feux de signalisation verticaux, de LED sur la chaussée et de panneaux WTA accompagnés d'un bref texte explicatif peut être considérée comme la variante optimale.

6.2 Optimisation de la planification des chantiers

La planification des chantiers offre un grand potentiel pour éviter les embouteillages dans les tunnels. Souvent, la planification des chantiers ne tient pas compte de la situation des embouteillages dans les tunnels. Les autorités compétentes doivent prendre conscience de la nécessité d'organiser les chantiers dans le temps et dans l'espace de manière à éviter les embouteillages dans les tunnels.

Les adaptations et les transferts de voies ainsi que les feux de signalisation doivent être disposés de manière à éviter la formation d'embouteillages dans les tunnels.



Fig. 14 Transition de voie sur un chantier autoroutier (photo : t-online, 20/07/2019, www.t-online.de).

En indiquant la durée de la phase rouge des feux de signalisation sur les chantiers, on augmente la probabilité que les feux rouges soient respectés. Ici aussi, le lien de causalité s'applique : lorsque l'on sait pourquoi un feu rouge est allumé ou combien de temps il dure, on a davantage tendance à le respecter.



Fig. 15 Feu de signalisation avec minuterie (ici également pendant la phase verte).

6.3 Équipement des tunnels

Un équipement adapté du tunnel, notamment en matière d'éclairage et de couleurs, peut avoir une influence positive sur le comportement des usagers de la route. Il arrive parfois qu'un tunnel soit perçu comme un « trou noir », ce qui peut inciter les usagers à freiner à l'entrée du tunnel. Cela augmente alors le risque d'accident et d'embouteillage.

Les éléments appropriés pour réduire les embouteillages sont les suivants :

- Un éclairage suffisant, homogène et non éblouissant, en particulier à l'entrée du tunnel (éclairage d'adaptation)
- Des dispositifs de guidage optique correctement placés (LED directement au bord de l'accotement, bande d'arrêt d'urgence, bande centrale)
- Des murs de couleur claire, éventuellement une chaussée claire, un plafond sombre (créant une impression d'espace)



Fig. 16 Murs clairs, dispositifs de guidage optique sur l'accotement, bon éclairage (photo : Gifas, 18.12.2019, <https://www.gifas.ch>).

D'ici 2030 environ, tous les tunnels du réseau routier national suisse seront éclairés par des LED. Cela permettra d'optimiser les conditions d'éclairage dans les tunnels grâce à une combinaison appropriée d'éclairage et de couleurs blanches sur les parois des tunnels.

En principe, en matière d'équipement, il convient de tenir compte non seulement du FHB T/G, mais aussi de l'état de la technique qui impose parfois des exigences plus élevées que le FHB T/G.

6.4 Information des usagers de la route

Lorsque les usagers de la route évitent les tunnels autoroutiers sujets aux embouteillages, la probabilité d'embouteillages diminue automatiquement. Pour cela, les usagers de la route doivent être informés en temps réel de la situation du trafic. La VMZ-CH traite toutes les données de circulation dont elle a connaissance (restrictions de circulation, perturbations du trafic, etc.) et diffuse les informations correspondantes via la radio, Internet et les systèmes de navigation. Cela concerne les embouteillages, le trafic dense, les accidents, les déviations, les fermetures, etc.

Les systèmes de haut-parleurs dans les tunnels sont parfois utilisés de manière routinière à l'étranger. En Suisse, cela n'est pour l'instant pas à l'ordre du jour en raison des exigences techniques très élevées pour garantir l'intelligibilité.

Il faut des systèmes de haut-parleurs fonctionnant selon le principe du pavillon à interface avec synchronisation des fréquences entre les différents haut-parleurs [20]. L'installation est techniquement coûteuse et complexe à régler.

6.5 Sensibilisation et documentation

La sensibilisation de toutes les parties concernées au problème des embouteillages dans les tunnels est très importante pour la sécurité. Une documentation appropriée doit être mise en place au sein de l'OFROU afin de garantir que ce sujet reçoive l'attention nécessaire à tous les niveaux. Cela concerne en particulier les services suivants :

- L'échange FB OpSi OFROU – FU
- Les filiales (StreMa)
- Les unités territoriales
- Les SiBe-S / chargés de sécurité tronçon
- VIM
- La VMZ-CH

Il est également très important de sensibiliser les usagers de la route. Comment se comporter dans un tunnel en général, et en cas d'embouteillage dans un tunnel ? Ces questions devraient être abordées dans le cadre de toute formation à la conduite, qu'il s'agisse de transport privé ou professionnel, en particulier pour les chauffeurs routiers.

Cette mesure est déjà partiellement mise en œuvre aujourd'hui. L'examen du permis de conduire comprend quelques questions sur la sécurité dans les tunnels. D'autres éléments font déjà partie de la formation des conducteurs professionnels.

Il est nécessaire de sensibiliser les moniteurs d'auto-école à cette question. Cela ne relève toutefois pas du domaine de compétence de la division OpSi de l'OFROU. Cette mesure pourrait éventuellement être mise en œuvre par le service d'information et de communication de l'OFROU.

6.6 Disposition des entrées, sorties et bifurcations

La disposition, ou le positionnement, des entrées et sorties ainsi que des bifurcations par rapport aux tunnels a une influence déterminante sur la formation d'embouteillages dans un tunnel. L'influence du domaine spécialisé FB OpSi OFROU à cet égard est toutefois faible. Lors de la planification de nouveaux tronçons autoroutiers, les considérations d'aménagement du territoire ou les contraintes liées à la planification du trafic sont davantage prise en compte et ont bien sûr beaucoup plus de poids et d'influence que le fait qu'une disposition de tracé défavorable favorise la formation d'embouteillages.

Du point de vue d'OpSi, il serait néanmoins judicieux d'inclure une mention à ce sujet dans les cahiers des charges pour la planification de nouveaux tronçons autoroutiers.

7 Mesures à prendre en cas d'embouteillages dans les tunnels en Suisse

Les embouteillages dans les tunnels ne peuvent pas toujours être évités. Ce chapitre traite des mesures à prendre en cas d'embouteillage.

7.1 Mesures préventives en cas de risque d'embouteillage

En cas de risque élevé d'embouteillage, il convient de minimiser les facteurs aggravants. Voici quelques mesures possibles :

- N'effectuer les travaux dans les tunnels qu'aux heures de faible trafic
- Planifier et réaliser avec soin les chantiers dans et à proximité du tunnel
- Prendre rapidement des mesures en cas d'accidents, etc.

7.2 Ventilation du tunnel

En cas de risque important d'embouteillage, il est essentiel de choisir, de concevoir et d'exploiter correctement le système de ventilation (par exemple, une extraction concentrée de la fumée plutôt qu'une ventilation longitudinale). À cette fin, il est nécessaire de disposer, dès la phase de planification, de prévisions d'embouteillage actualisées et fiables, prévisions qui serviront de base au choix du système de ventilation approprié. Une détection fiable des embouteillages est nécessaire pour exploiter correctement la ventilation en cas d'incident. Il convient de noter que les exigences de la ventilation en matière de détection des embouteillages sont généralement beaucoup plus élevées que celles de la gestion du trafic.

Les principes de base sont définis dans les directives ASTRA 13001 « Ventilation des tunnels routiers » et 13003 « Commande de la ventilation ». Cette mesure n'est pas approfondie ici, car elle est déjà traitée dans la réglementation OFROU existante.

7.3 Issues de secours

En cas de forte probabilité d'embouteillage, il peut être nécessaire de densifier les issues de secours, ce qui va bien au-delà des exigences minimales de la norme SIA 197/2 [5]. C'est par exemple le cas dans les tunnels courts et pentus à circulation unidirectionnelle avec ventilation longitudinale. Dans ce cas, la ventilation est d'une efficacité limitée en cas d'embouteillage et nécessite parfois des issues de secours supplémentaires.

L'optimisation éventuelle de l'espacement des issues de secours est généralement effectuée sur la base d'une analyse des risques selon la directive ASTRA 19004. Cette mesure n'est pas approfondie ici, car elle est déjà largement prise en compte dans la réglementation OFROU existante.

7.4 Mesures à prendre en cas de début d'embouteillage

Lorsque la vitesse du trafic est supérieure ou inférieure à environ 80 km/h, la capacité d'un tunnel diminue. Une réduction théorique de la capacité en cas de trafic intense entraîne un risque accru d'embouteillage. Les mesures suivantes peuvent réduire le risque de formation d'embouteillages ou atténuer les risques en cas d'embouteillage :

- Adaptation en temps utile de la limitation de vitesse (avant la formation de l'embouteillage et avant le tunnel)
- Feux clignotants jaunes dans le tunnel, comme avertissement générique
- Augmentation de l'éclairage.

7.5 Systèmes de régulation du trafic et prévention des embouteillages grâce aux feux rouges

Les systèmes de régulation du trafic, éventuellement accompagnés de mesures supplémentaires telles que des mesures visant à faire respecter une distance minimale entre les véhicules, peuvent être particulièrement efficaces.

Dans le cas des systèmes de dosage, de la fermeture du tunnel (feux rouges) ou de la suppression de voies avant un tunnel, il convient de tenir compte de la zone d'embouteillage située avant le tunnel et des tunnels précédents afin d'éviter que l'engorgement des véhicules ne se propage dans les tunnels précédents. Si nécessaire, il convient de prévoir des automatisations partielles/graduelles afin que les fermetures puissent être effectuées automatiquement.

Des boucles à induction ou des capteurs PIR peuvent être utilisés pour détecter les embouteillages à la sortie des tunnels et empêcher leur propagation dans le tunnel à l'aide d'un portique au rouge.

Le comptage des véhicules à l'intérieur du tunnel peut contribuer efficacement à la prévention des embouteillages.

7.6 Intervention

Les embouteillages dans les tunnels peuvent considérablement entraver l'intervention des services d'urgence. Cela concerne aussi bien l'accès au portail du tunnel que la circulation à l'intérieur du tunnel. Selon la situation, les mesures suivantes peuvent être envisagées :

- Prendre en compte les embouteillages dans la planification des interventions
- Adapter les plans d'intervention si nécessaire (par exemple, voies d'intervention alternatives)
- Prendre spécifiquement en compte le risque d'embouteillage lors des exercices
- Prévoir des accès supplémentaires/alternatifs en cas d'embouteillage.

8 Évaluation des mesures visant à prévenir les embouteillages dans les tunnels

8.1 Identification des mesures

Les mesures recommandées pour la mise en œuvre sont définies sur la base des mesures discutées dans les chapitres précédents. Il convient de noter que certaines de ces mesures sont déjà activées en Suisse. Le groupe de travail estime toutefois que celles-ci devraient être appliquées de manière cohérente.

On peut distinguer cinq groupes de mesures comme suit :

- Mesures de construction recommandées
- Mesures recommandées en matière de circulation
- Mesures techniques recommandées
- Mesures organisationnelles recommandées
- Mesures recommandées en matière d'information et de sensibilisation

Chacune de ces mesures a une influence positive sur la prévention des embouteillages dans le tunnel. L'efficacité de chaque mesure est évaluée ci-après.

Cependant, toutes les mesures ne relèvent pas de la responsabilité de la division OpSi de l'OFROU. Les chapitres suivants indiquent dans quelle mesure la division OpSi de l'OFROU peut influencer la mise en œuvre d'une mesure.

Trois niveaux sont distingués pour évaluer l'efficacité :

- H** Élevé
- M** Moyen
- G** Faible ou inexistant

Pour obtenir une estimation approximative des coûts, une classification qualitative en 4 catégories de coûts est effectuée :

- H** Élevé $\geq 5\%$ des coûts de construction
- M** Moyen Faible < Coûts < Élevé
- G** Faible Petit entretien des bâtiments (PEB) et mesures organisationnelles
- NB** Indéterminé (par exemple, car très dépendant de l'objet)

8.2 Mesures de construction recommandées

8.2.1 Éviter la suppression de voies de circulation

Description

La suppression de voies dans ou à la sortie d'un tunnel doit être évitée.

Argumentation

La réduction du nombre de voies dans un tunnel doit être évitée à tout prix, car elle entraîne inévitablement des embouteillages et augmente le risque d'accident. Si une réduction du nombre de voies est nécessaire, elle doit être effectuée avant le tunnel ou seulement après une certaine distance après le tunnel, afin d'éviter tout embouteillage dans le tunnel.

Cette exigence est déjà intégrée dans les réglementations applicables. La directive 2004/54/CE du Parlement européen et du Conseil du 29 avril 2004 concernant les exigences de sécurité minimales applicables aux tunnels du réseau routier transeuropéen stipule que « À l'exception des bandes d'arrêt d'urgence, le nombre de voies doit rester identique à l'intérieur et à l'extérieur du tunnel. Toute modification du nombre de voies doit être effectuée à une distance suffisante avant l'entrée du tunnel ». Conformément à l'instruction ASTRA 74001, cette exigence s'applique également à la Suisse.

Ce principe est également inscrit dans la norme SIA 197/2 [5] (Tunnels routiers) :

« 8.9.1.2 Une réduction de la largeur de la chaussée (suppression de voies de circulation) doit être prévue à l'extérieur du tunnel ».

Mise en œuvre

La mise en œuvre de cette mesure intervient principalement lors de la phase de planification de nouveaux tunnels ou dans certains cas, lors de la rénovation de tunnels existants.

Pour des raisons de sécurité, il est nécessaire d'inclure une mention correspondante dans les cahiers des charges pour la planification de nouveaux tronçons autoroutiers.

Efficacité

H Élevé

Coûts

NB Indéterminé (fortement dépendant de la situation)

8.2.2 Disposition des entrées, sorties et bifurcations

Description

Éviter les entrées, sorties et bifurcations dans les tunnels ou immédiatement après ceux-ci.

Argumentation

La disposition des entrées, sorties et bifurcations à proximité des tunnels a une influence déterminante sur la formation d'embouteillages et la fréquence des accidents dans un tunnel.

Ce principe est défini dans la norme SIA 197/2 [5] (Tunnels routiers – Exigences de conception et de construction) :

« Les carrefours seront si possible évités à proximité des portails ».

8.2.5.2 Si un tel carrefour se révèle nécessaire, on vérifiera que la colonne de véhicules qui se forme à l'entrée du carrefour ne s'étend pas jusque dans le tunnel.

8.2.4.1 On entend par ramifications les jonctions ou les bifurcations.

8.2.4.2 Les ramifications à l'intérieur d'un tunnel doivent si possible être évitées. »

Mise en œuvre

Lors de la planification de nouveaux tronçons autoroutiers, les considérations d'aménagement du territoire ou les contraintes liées à la planification du trafic ont bien sûr beaucoup plus de poids et d'influence que le fait qu'une configuration défavorable favorise la formation d'embouteillages.

L'intégration d'une mention correspondante dans les cahiers des charges pour la planification de nouveaux tronçons autoroutiers est nécessaire pour des raisons de sécurité.

*Efficacité***H** Élevé*Coûts***M** Moyen**8.2.3 Géométrie et profil longitudinal du tunnel****8.2.3.1 Géométrie et profil longitudinal***Description*

Éviter les géométries complexes (virages, changements de pente).

Argumentation

Les virages serrés ou les changements de pente importants réduisent la visibilité des usagers de la route et augmentent les risques généraux liés à la circulation. Cela peut entraîner des freinages brusques ou une réduction de la vitesse, voire des embouteillages.

Mise en œuvre

La mise en œuvre de cette mesure intervient principalement lors de la phase de planification de nouveaux tunnels ou de la rénovation de tunnels existants.

Il est judicieux d'inclure une mention correspondante dans les cahiers des charges pour la planification de nouveaux tronçons autoroutiers.

Cet aspect doit également être impérativement pris en compte dans l'audit de sécurité routière (RSA).

Ces préoccupations sont déjà partiellement prises en compte dans la documentation existante :

- SIA 197/2 [5] 8.2.1 « Tracé en plan »
- SIA 197/2 [5] 8.2.2 « Profil en long »
- SIA 197/2 [5] 8.3.2.4. « Pour les tunnels à rayon de courbure réduit, il sera tenu compte d'une surlargeur pour les véhicules et des distances de visibilité. »
- VSS 40 090b : Conception – Principes de base, distances de visibilité
- VSS 40 100a : Tracé – Éléments du tracé horizontal
- VSS 40 110 : Tracé – Éléments du tracé vertical

*Efficacité***M** Moyen*Coûts***M** Moyen**8.2.3.2 Voie supplémentaire pour véhicules lents***Description*

Voie supplémentaire pour véhicules lents/lourds sur les pentes raides.

Argumentation

Les véhicules lents peuvent bloquer tout un tunnel s'il n'y a pas de possibilité de dépassement. Dans ce cas, une voie supplémentaire peut réduire le risque d'embouteillage.

Mise en œuvre

La mise en œuvre de cette mesure intervient principalement lors de la phase de planification de nouveaux tunnels ou de la rénovation de tunnels existants. Si l'objectif est uniquement d'éviter les embouteillages, la création d'une voie supplémentaire n'est guère une solution rentable.

Il est judicieux d'inclure une mention correspondante dans les cahiers des charges pour la planification de nouveaux tronçons autoroutiers.

Cet aspect est traité dans les directives VSS suivantes :

- VSS 40 110 : Tracé – Éléments du tracé vertical
- VSS 40 138b : Tracé – Bandes supplémentaires dans les montées et les descentes

Efficacité

H Élevé

Coûts

H Élevé

8.3 Mesures recommandées en matière de circulation

8.3.1 Systèmes de dosage

Description

Utilisation de systèmes de dosage aux points névralgiques du réseau routier national.

Argumentation

Les systèmes de régulation du trafic constituent un moyen très efficace pour prévenir les embouteillages dans les tunnels. Ils peuvent être mis en place pour certains types de trafic, par exemple le trafic lourd, ou pour l'ensemble du trafic. Ils nécessitent suffisamment d'espace d'attente ou d'accumulation ainsi qu'une vue d'ensemble du flux de circulation. Les systèmes de régulation du trafic sont contrôlés par le centre de gestion du trafic.

Mise en œuvre

Les systèmes de dosage sont déjà mis en œuvre aujourd'hui. La poursuite de la mise en œuvre des systèmes de dosage devrait se faire en étroite collaboration avec la VMZ-CH ou avec les centres régionaux de gestion du trafic, afin que le dosage du trafic dans un tunnel n'ait pas d'impact négatif sur l'ensemble du système ou que de tels impacts puissent être contrés rapidement et efficacement. La responsabilité de la mise en œuvre incombe exclusivement à l'OFROU (VMZ-CH).

Il convient d'examiner à quels points névralgiques il serait judicieux d'utiliser un système de dosage.

Efficacité

H Élevé

Coûts

M Moyen

8.3.2 Suppression des voies avant le tunnel

Description

Suppression temporaire des voies devant le tunnel en cas de risque d'embouteillage dans le tunnel, si possible de manière automatisée. Classification et hiérarchisation des tunnels en fonction des exigences en matière de prévention des embouteillages et mise en œuvre progressive lorsque cela est judicieux ou nécessaire.

Argumentation

Cette mesure est déjà mise en œuvre de manière ponctuelle.

Mise en œuvre

Les tunnels du réseau routier national doivent être examinés en termes de vulnérabilité aux embouteillages, de risque potentiel lié aux embouteillages et d'efficacité de cette mesure. L'analyse aboutit à une liste de priorités pour la mise en œuvre de la mesure.

*Efficacité***H** Élevé*Coûts***G** Faible**8.3.3 Fermeture du tunnel en cas d'embouteillage dans le tunnel***Description*

Fermeture temporaire du tunnel (feu rouge au portail) en cas d'embouteillage dans le tunnel, si possible de manière automatisée. Classification et hiérarchisation des tunnels en fonction des exigences en matière de prévention des embouteillages et mise en œuvre progressive lorsque cela est judicieux ou nécessaire.

Argumentation

Cette mesure est déjà mise en œuvre de manière ponctuelle. Il n'existe actuellement aucune analyse systématique des tunnels existants en termes de risque d'embouteillage et d'efficacité de cette mesure.

Mise en œuvre

Les tunnels du réseau routier national doivent être examinés en termes de vulnérabilité aux embouteillages, de risque potentiel lié aux embouteillages et d'efficacité de cette mesure. L'analyse aboutit à une liste de priorités pour la mise en œuvre de la mesure. Dans les cas graves, des systèmes de régulation du trafic doivent être prévus.

*Efficacité***H** Élevé*Coûts***G** Faible**8.3.4 Déviations à grande échelle***Description*

Déviations à grande échelle en cas d'accidents, d'embouteillages ou d'autres événements.

Argumentation

Les déviations à grande échelle en cas d'accident ou d'autre événement bloquant un tronçon d'une route nationale permettent de réduire la formation d'embouteillages, car les usagers de la route sont guidés vers d'autres itinéraires. Les déviations à grande échelle sont mises en place par VMZ-CH (au moyen de plans de gestion du trafic) dès que la police fournit les informations correspondantes. La déviation est signalée par des panneaux à messages variables et des panneaux de signalisation dynamiques, ainsi que par des informations routières diffusées via les appareils de navigation, la radio et Internet.

Mise en œuvre

La mise en place de déviations à grande échelle est un moyen déjà bien établi pour éviter les embouteillages après des accidents ou des événements similaires.

*Efficacité***M** Moyen*Coûts***G** Faible**8.3.5 Limitation et harmonisation de la vitesse***Description*

Limitation et harmonisation de la vitesse sur les tronçons encombrés du réseau routier national.

Argumentation

La capacité d'une autoroute dépend entre autres de la vitesse du trafic. La capacité maximale est atteinte lorsque les véhicules roulent à environ 80 km/h. À des vitesses inférieures ou supérieures, la capacité diminue, ce qui augmente le risque d'embouteillages.

Dans le cadre de l'harmonisation des vitesses, la vitesse maximale sur de longues distances (y compris dans tous les tunnels du trajet) est automatiquement fixée en fonction du volume de trafic enregistré. Cela permet d'atteindre la capacité maximale de l'autoroute.

En principe, la vitesse maximale signalée avant, dans et après un tunnel ne doit pas entraîner une réduction de la capacité dans ou immédiatement après le tunnel.

La vitesse idéale, avec le débit le plus élevé, est d'environ 80 km/h. Pour des raisons de capacité, les limitations de vitesse inférieures à 80 km/h ne sont généralement pas judicieuses. Une éventuelle réduction de la vitesse doit être mise en œuvre à une distance suffisante avant l'entrée du tunnel afin d'éviter tout danger à l'entrée du tunnel.

Mise en œuvre

Les installations existantes seront considérablement développées et automatisées à l'avenir.

Il existe à cet effet une directive spécifique sur l'harmonisation de la vitesse et l'alerte en cas de danger (GHGW), principes pour la planification et l'exploitation (ASTRA 15016 [1]).

Efficacité

H Élevé

Coûts

M Moyen

8.3.6 Réutilisation de la bande d'arrêt d'urgence

Description

Utilisation de la bande d'arrêt d'urgence comme voie supplémentaire en cas d'embouteillage.

Argumentation

Dans le cadre de la réutilisation de la bande d'arrêt d'urgence (PUN), celle-ci est ouverte temporairement ou en permanence à la circulation, ce qui augmente automatiquement la capacité du tronçon autoroutier. La réutilisation de la bande d'arrêt d'urgence après un tunnel peut réduire considérablement le risque d'embouteillage dans le tunnel. En règle générale, il n'y a pas de bande d'arrêt d'urgence dans le tunnel lui-même ; il n'est donc pas possible de la réutiliser.

Mise en œuvre

La réaffectation des bandes d'arrêt d'urgence est déjà mise en œuvre à divers endroits. Dans le cadre de la feuille de route VM-CH et du programme STEP-NS, on examine sur quels autres tronçons la réaffectation des bandes d'arrêt d'urgence pourrait également être mise en œuvre. Cette mise en œuvre doit toujours tenir compte de l'ensemble du système de transport afin que la réaffectation des bandes d'arrêt d'urgence n'entraîne pas de nouvelles congestions sur les tronçons autoroutiers voisins ou sur le réseau routier secondaire.

Il existe une directive OFROU spécifique : Directive sur la réaffectation des bandes d'arrêt d'urgence (ASTRA 15002).

Efficacité

H Élevé

Coûts

M Moyen

8.4 Mesures techniques recommandées

8.4.1 Équipement du tunnel

8.4.1.1 Éclairage

Description

Éclairage suffisant, homogène et non éblouissant ainsi que dispositifs de guidage optique (LED au bord de l'accotement) dans les tunnels.

Argumentation

Un tunnel est parfois perçu comme un « trou noir », ce qui peut entraîner des manœuvres de freinage et donc des embouteillages dans le tunnel. Un bon éclairage peut avoir une influence positive sur le comportement des usagers de la route. L'éclairage doit être non éblouissant, homogène et suffisamment lumineux, en particulier à l'entrée du tunnel, dans la zone d'adaptation. Les LED situées directement au bord de l'accotement constituent un dispositif de guidage optique pour tous les usagers de la route, en particulier pour les poids lourds.

Mise en œuvre

Dans le cas de nouvelles constructions ou de rénovations, l'éclairage peut être adapté ou mis en œuvre en conséquence.

Les spécifications correspondantes doivent être intégrées dans la directive 13015 « Installations d'éclairage » et dans le FHB BSA, et mises en œuvre de manière cohérente.

Efficacité

M Moyen

Coûts

M Moyen

8.4.1.2 Couleurs

Description

Couleurs claires pour les murs et éventuellement la chaussée, plafond sombre dans les tunnels.

Argumentation

Parfois, un tunnel est perçu comme un « trou noir », ce qui peut entraîner des manœuvres de freinage et donc des embouteillages dans le tunnel. Un choix judicieux des couleurs peut avoir une influence positive sur le comportement des usagers de la route. Les parois doivent être claires, éventuellement la chaussée aussi. Le plafond, en revanche, doit rester sombre, car cela crée une impression d'espace (ciel nocturne).

Mise en œuvre

Dans les nouvelles constructions ou les rénovations, l'éclairage peut être adapté ou mis en œuvre en conséquence.

Efficacité

M Moyen

Coûts

M Moyen

8.4.1.3 Lignes continues pour empêcher les changements de voie

Description

Lignes de sécurité dans certaines sections du tunnel pour empêcher les usagers de la route de changer de voie.

Argumentation

En raison de l'exiguïté et de l'obscurité, les changements de voie dans les tunnels peuvent entraîner des freinages brusques, des accidents et des embouteillages.

Les lignes de sécurité permettent d'empêcher les usagers de la route de changer de voie dans le tunnel, par exemple après être entrés dans un tunnel ou juste avant un tunnel. Ils doivent alors rester sur la voie définie tout au long du tunnel.

Il est beaucoup plus facile pour les usagers de la route de changer de voie sur une route dégagée que dans un tunnel. La signalisation des sorties et des bifurcations situées immédiatement après un tunnel doit donc être placée à une distance suffisante avant le tunnel afin que les usagers de la route aient le temps de se mettre sur la bonne voie avant d'entrer dans le tunnel.

Mise en œuvre

Mesure relativement facile à mettre en œuvre et peu coûteuse dans le cas de nouvelles constructions ou de rénovations, ou encore lors d'un intervalle d'entretien régulier.

Efficacité

M Moyen

Coûts

G Faible

8.4.1.4 Signalisation précoce des sorties et des bifurcations

Description

Les sorties et les bifurcations après un tunnel doivent être signalées suffisamment tôt avant le tunnel.

Argumentation

En raison de l'exiguïté et de l'obscurité qui règnent dans les tunnels, les changements de voie peuvent entraîner des freinages brusques, des accidents et des embouteillages. Il est beaucoup plus facile pour les usagers de la route d'effectuer un changement de voie sur une route dégagée que dans un tunnel. La signalisation des sorties et des bifurcations situées après un tunnel doit donc être placée à une distance suffisante avant le tunnel afin que les usagers de la route aient suffisamment de temps pour changer de voie avant d'entrer dans le tunnel.

Mise en œuvre

Mesure rapide, simple à mettre en œuvre et peu coûteuse.

Efficacité

H Élevé

Coûts

G Faible

8.4.1.5 Détection manuelle des accidents

Description

Mise en œuvre systématique de mesures préventives en cas de détection d'accident

Argumentation

L'équipement technique des tunnels avec des moyens d'aide à la détection manuelle des accidents permet de réagir rapidement en cas d'accident, par exemple en fermant une voie ou l'ensemble du tunnel par l'opérateur. La détection peut être effectuée manuellement à l'aide d'images vidéo, mais la mise en œuvre des mesures doit être automatique et être intégrée de préférence directement dans les systèmes de contrôle supérieurs (bouton d'urgence) et le système de gestion du trafic, afin que les déviations, les notifications d'embouteillages, etc. puissent être effectuées rapidement.

Mise en œuvre

Cette mesure peut être mise en œuvre dans le cadre de rénovations ou lors d'intervalles d'entretien.

Efficacité

H Élevé

Coûts

G Faible

8.4.1.6 Détection automatique des accidents

Description

Amélioration de la détection automatique des accidents à l'aide de vidéos, de boucles à induction ou de détection acoustique

Argumentation

L'équipement technique des tunnels avec des moyens de détection des accidents permet de réagir rapidement en cas d'accident, par exemple en fermant une voie ou l'ensemble du tunnel. La détection doit être automatique et est avantageusement intégrée directement dans un système de gestion du trafic afin que les déviations, les annonces d'embouteillages, etc. puissent être mises en place rapidement.

Cette mesure est controversée, car la fiabilité de la détection automatique des accidents est plutôt critique.

Mise en œuvre

Le groupe de travail ne recommande pas la mise en œuvre de cette mesure pour le moment.

Efficacité

H Élevé

Coûts

M Moyen

8.4.2 Fermeture de voies / tunnels

8.4.2.1 Signalisation générale

Description

Possibilités de signalisation pour la fermeture totale ou partielle (pour certains types de véhicules) d'une voie de circulation.

Argumentation

En cas d'accident ou d'autres anomalies dans le flux de circulation, il est important de pouvoir fermer rapidement certaines voies ou l'ensemble du tunnel. Cela concerne aussi bien une fermeture complète qu'une fermeture pour certains types de véhicules, par exemple les poids lourds. Les signalisations correspondantes doivent être physiquement présentes afin que la signalisation appropriée puisse être choisie en cas de besoin.

Les aspects suivants sont également pertinents :

- Première signalisation en temps utile au moins 1,0 à 1,5 km avant l'entrée du tunnel
- Répétition des informations indiquant qu'une voie / un tunnel est fermé
- Affichage de messages variables, pas de signaux statiques (ce qui attire davantage l'attention des usagers de la route)
- Plus aucune information 150 à 200 m avant le tunnel afin de ne pas distraire les usagers de la route

Mise en œuvre

Cette mesure peut être mise en œuvre dans le cadre de nouvelles constructions ou de rénovations.

Les spécifications correspondantes doivent être intégrées dans les directives de l'OFROU.

Efficacité

H Élevé

Coûts

G Faible

8.4.2.2 Assistance par des feux rouges au portail

Description

Mesures visant à soutenir le feu rouge au portail.

Argumentation

Les expériences faites en Suisse et à l'étranger montrent que le feu rouge n'est souvent pas respecté. Les usagers de la route s'engagent malgré le feu rouge dans le tunnel ou sur la voie fermée. Afin de renforcer l'efficacité des feux rouges et d'améliorer leur visibilité et leur perception, les mesures suivantes doivent être examinées :

- Les feux de signalisation disposés verticalement sont mieux perçus que ceux disposés horizontalement.
- Texte d'avertissement (arrêt, incendie, accident, etc.) indiquant la raison de la fermeture à côté du feu rouge
- Annonce du feu rouge avec des signaux préalables et alternés
- Signaux acoustiques

Les barrières sont parfois utilisées dans les régions francophones (CH et F) pour renforcer le feu rouge au portail. En Suisse alémanique, cette mesure suscite des réserves, bien qu'aucun accident grave impliquant une barrière fermée n'ait jamais été enregistré sur les autoroutes suisses.

Mise en œuvre

Les différentes mesures visant à soutenir le feu rouge au portail doivent être examinées et évaluées dans le cadre d'un concept. Sur la base de ce concept, des directives correspondantes doivent ensuite être élaborées.

Efficacité

M Moyen

Coûts

G Faible

8.5 Mesures organisationnelles recommandées

8.5.1 Optimisation de la planification du chantier

Description

Optimisation de la planification des chantiers en tenant compte des embouteillages dans les tunnels.

Argumentation

Souvent, la planification des chantiers ne tient pas compte des embouteillages dans les tunnels. Les autorités compétentes doivent prendre conscience de la nécessité d'organiser les chantiers dans le temps et dans l'espace de manière à éviter les embouteillages dans les tunnels.

Les ajustements et les transitions de voies ainsi que les feux de signalisation doivent être disposés de manière à éviter les embouteillages dans les tunnels. En indiquant la durée de la phase rouge sur les feux de chantier, on augmente la probabilité que les feux rouges soient respectés.


Mise en œuvre

Les services responsables de la planification et de la réalisation des chantiers doivent être sensibilisés à la question des embouteillages dans les tunnels.

La signalisation des chantiers est réglementée dans la norme VSS 40 885 Signalisation temporaire, dispositifs de guidage – Signalisation des chantiers sur les autoroutes et les semi-autoroutes.

Les directives et prescriptions correspondantes de l'OFROU doivent intégrer des indications concernant les embouteillages dans les tunnels.

Efficacité

 Élevé

Coûts

 Faible

8.6 Mesures recommandées en matière d'information et de sensibilisation

8.6.1 Information des usagers de la route

Description

Information des usagers de la route en cas d'événement.

Argumentation

Lorsque les usagers de la route évitent les tunnels autoroutiers sujets aux embouteillages, la probabilité d'embouteillages diminue automatiquement. Pour cela, les usagers de la route doivent être informés en temps réel de la situation du trafic. La VMZ-CH traite toutes les données de trafic dont elle a connaissance et diffuse les informations correspondantes via la radio, Internet et les appareils de navigation. Cela concerne les embouteillages, le trafic dense, les accidents, les déviations, les fermetures, etc.

L'OFROU ne procède plus à de nouvelles installations de programmes FM dans les tunnels du réseau routier national. Depuis 2017, les installations FM dans les tunnels sont démantelées et remplacées par des installations DAB+. Les programmes DAB+ peuvent être interrompus à tout moment pour diffuser des messages de la police [10]. Ces messages sont activés par l'opérateur du centre d'engagement et de commandement (opérateur trafic ELZ).

À l'avenir, les interventions par sonorisation dans les tunnels pourraient être une option.

Presque tous les usagers de la route possèdent aujourd'hui un appareil de téléphonie mobile/portable. Les messages routiers diffusés via le réseau mobile permettraient d'atteindre les usagers de la route. La faisabilité de diffusion des messages routiers via les réseaux de téléphonie mobile doit donc être examinée.

Mise en œuvre

Les informations routières sont déjà mises en œuvre aujourd'hui. Les informations diffusées doivent être très spécifiques.

Il convient d'examiner la possibilité d'étendre cette mesure à d'autres canaux que les appareils de navigation, la radio et Internet.

Efficacité

H Élevé

Coûts

NB Indéterminé (dépend de la technologie et du tunnel)

8.6.2 Formation des usagers de la route

Description

Formation sur le comportement à adopter dans les tunnels en général et en cas d'embouteillage dans un tunnel, pour tous les usagers de la route.

Argumentation

Une formation appropriée de tous les usagers de la route, y compris les chauffeurs professionnels, pendant leur apprentissage de la conduite, sur le comportement à adopter dans les tunnels et en cas d'embouteillage, permettrait de lutter contre certains comportements inappropriés à l'origine ou à la suite d'embouteillages dans les tunnels.

Mise en œuvre

La formation des usagers de la route est assurée par les moniteurs d'auto-école et les questions d'examen du permis de conduire. Le groupe de travail OpSi OFROU n'a aucune influence directe en la matière. On pourrait éventuellement envisager que le service d'information et de communication de l'OFROU communique aux moniteurs d'auto-école qu'il convient d'accorder une attention particulière à la formation au comportement à adopter dans les tunnels et en cas d'embouteillage pendant la formation des conducteurs.

Efficacité

H Élevé

Coûts

NB Indéterminé (coûts variables selon le concept)

8.6.3 Élargir/compléter le guide des bonnes pratiques sur l'autoroute avec la fin des embouteillages dans le tunnel

Description

Complément au guide des bonnes manières sur autoroute [11] avec des remarques spécifiques sur les dangers des embouteillages, en particulier à la fin des embouteillages dans les tunnels, et sur le comportement à adopter pour les éviter.

Argumentation

Le code de conduite ou guide des bons comportements sur autoroute contient des conseils sur le l'attitude à adopter sur l'autoroute afin d'améliorer la fluidité du trafic et la sécurité routière. Il contient des conseils sur le comportement à adopter dans les embouteillages (former un couloir de secours, éviter les changements de voie inutiles) et dans les tunnels, mais ne contient pas encore de recommandations concernant les embouteillages dans les tunnels.

Mise en œuvre

La prochaine édition du guide de conduite sur autoroute sera complétée par des informations sur les dangers des embouteillages dans les tunnels et quelques règles de base importantes (par exemple, respecter le feu rouge au portail).

Efficacité

H Élevé

Coûts

G Faible

8.6.4 Sensibilisation des exploitants et des planificateurs

Description

Sensibilisation des exploitants et des concepteurs de tunnels aux mesures visant à prévenir les embouteillages.


Argumentation

Dès la phase de planification d'un tunnel, différentes mesures visant à prévenir les embouteillages peuvent être proposées et mises en œuvre. La mise en œuvre de différentes mesures est également facile dans le cadre de rénovations. Afin que les mesures appropriées puissent être proposées, il est nécessaire d'informer et de sensibiliser les exploitants et les concepteurs à la question des embouteillages dans les tunnels.

Mise en œuvre

La sensibilisation peut se faire à différents niveaux. Elle est essentielle dans tous les travaux de planification et de rénovation par les services compétents au sein de l'OFROU et par les SiBe-S. D'autres organismes, tels que le service de prévention des accidents, peuvent également contribuer à la sensibilisation.

Efficacité

 Élevé

Coûts

 Faible

8.7 Aperçu des mesures recommandées

Les mesures discutées dans les sections précédentes sont répertoriées dans le tableau synoptique ci-dessous. Les couleurs correspondent aux critères suivants :

Efficacité « E » : H Élevé, M Moyen, G Faible

Coûts « C » : H Élevé, M Moyen, G Faible, NB Indéterminé

Tab. 5 Récapitulatif des mesures recommandées, les couleurs correspondent à l'efficacité («E») ou aux coûts («C»).

E	C	Mesure de construction recommandée
H	M	Disposition des entrées, sorties et bifurcations
H	H	Voie supplémentaire pour véhicules lents
H	NB	Éviter la suppression de voies de circulation
M	M	Géométrie et profil longitudinal
W	K	Mesures recommandées en matière de circulation
H	G	Suppression de voies avant le tunnel
H	G	Fermeture du tunnel en cas d'embouteillage dans le tunnel
H	M	Système de dosage
H	M	Limitation et harmonisation de la vitesse
H	M	Réutilisation des bandes d'arrêt d'urgence
M	G	Déviations à grande échelle
W	K	Mesures techniques recommandées
H	G	Signalisation précoce des sorties et des bifurcations
H	G	Signalisation en cas de fermeture de voies / tunnels
H	G	Détection manuelle des accidents
H	M	Détection automatique des accidents
M	G	Lignes continues pour empêcher les changements de voie
M	G	Assistance feux rouges aux portails
M	M	Couleurs
M	M	Éclairage
W	K	Mesures organisationnelles recommandées
H	G	Optimisation de la planification du chantier
W	K	Mesures recommandées en matière d'information et de sensibilisation
H	G	Élargissement du code de conduite sur autoroute
H	G	Sensibilisation des exploitants et des planificateurs
H	NB	Utilisateurs : informations en cas d'incident
H	NB	Utilisateur : Formation

Glossaire

Terme	Signification
AGr SiT	Groupe de travail « Embouteillages dans les tunnels »
OFROU	Office fédéral des routes
BZ	État de fonctionnement
FB OpSi OFROU	Service Sécurité opérationnelle de l'OFROU
FHB	Manuel technique
FLS	Systèmes de signalisation lumineuse sur les voies de circulation
FU	Assistance technique
FW	Pompiers
GE	Unité territoriale
GHGW	Harmonisation de la vitesse et alerte en cas de danger
KAPO	Police cantonale
OpSi	Sécurité opérationnelle
PIARC	Association internationale permanente des congrès de la route Association mondiale de la route
PUN	Réutilisation de la bande d'arrêt d'urgence
RABT	Directives pour l'équipement et l'exploitation des tunnels routiers (D)
RL	Directive
SIA	Société suisse des ingénieurs et des architectes
SiBe-S	Responsable de la sécurité de la ligne
SINA	Società Iniziative Nazionali Autostradali (I)
STEP-NS	Programme de développement stratégique des routes nationales
StreMa	Gestionnaire de tronçon
T/G	Tunnel/géotechnique
TM	Fiche technique
UT	Unité territoriale (Unité Territoriale / Unità Territoriale)
VIM	Gestion du trafic et de l'innovation
VM	Gestion du trafic
VMZ-CH	Centrale suisse de gestion du trafic
VSS	Association suisse des professionnels de la route
WTA	Affichage de messages variables

Bibliographie

Directives et lignes directrices de l'OFROU

- [1] Office fédéral des routes OFROU (2015), « **Harmonisation de la vitesse et avertissement des dangers (GHGW)** », *directive OFROU 15016, V1.01*, www.astra.admin.ch.
- [2] Office fédéral des routes OFROU (2023), « **Gestion du trafic sur les routes nationales (directive générale VM-NS)** », *directive OFROU 15003, V2.02*, www.astra.admin.ch.
- [3] Office fédéral des routes OFROU (2013), « **Commande des BSA – Rôles, tâches et exigences pour les interfaces utilisateur** », *Instruction OFROU 73002, V1.01*, www.astra.admin.ch.

Directive UE

- [4] Directive 2004/54/CE du Parlement européen et du Conseil du 29 avril 2004 concernant **les exigences de sécurité minimales applicables aux tunnels du réseau routier transeuropéen**.

Normes

- [5] Norme suisse SN 505 197/2 - SIA 197/2 «**Conception des tunnels – tunnels routiers**», 2023

Fiches techniques OFROU

- [6] Office fédéral des routes OFROU (2014), « **Notice technique Éléments de construction – Installations annexes – Système de barrières** », *manuel technique BSA OFROU 23001-11860*, www.astra.admin.ch.

Documentation / Rapports

- [7] Office fédéral des routes OFROU (2022), «**Statistique de l'évolution du trafic et de la fluidité du trafic 2022, statistique**», *édition 2022, V1.0*
- [8] Office fédéral des routes OFROU, VMZ-CH, « **Informations sur les points noirs en matière d'embouteillages dans les tunnels** », *courriel du 3 juin 2021*
- [9] Office fédéral des routes OFROU, définitions « **Flux de trafic – Encombrements** », <https://www.astra.admin.ch>
- [10] Office fédéral des routes OFROU, Silvio Siegrist, « **Utilisation des panneaux à messages variables et des panneaux de signalisation dynamiques : aperçu pratique** », 19.10.2021
- [11] Office fédéral des routes OFROU, Guide des bonnes manières sur l'autoroute, édition 2021, <https://www.astra.admin.ch>
- [12] Office fédéral des routes OFROU, « **Gestion du trafic en Suisse – Concept de réaffectation des bandes d'arrêt d'urgence (PUN)** », *rapport technique OFROU 85005, édition 2013, V1.00*
- [13] Office fédéral du développement territorial ARE, « **Coûts de la saturation des infrastructures de transport (KÜTI) : étude fondamentale** », *rapport final du 4 octobre 2022*
- [14] Office fédéral du développement territorial ARE, Mario Keller (mars 2019) « **Coûts des embouteillages en Suisse 2015** »
- [15] Association mondiale de la route AIPCR/PIARC (2012), « **Tunnels routiers : Émissions, ventilation, environnement** », *Rapport technique 2012R05FR*
- [16] Association mondiale de la route AIPCR/PIARC (2008) « **Tunnels Routiers Urbains – Urban Road Tunnels** », *Rapport technique 2008R15*
- [17] Association mondiale de la route AIPCR/PIARC, Bernhard Kohl (2018), « **Efficacité des mesures d'atténuation des risques pour les tunnels routiers** », *RR378-027*
- [18] Association mondiale de la route AIPCR/PIARC (2019), « **Prévention et limitation des collisions liées aux tunnels, 2019** », *Rapport technique 2019R03FR*
- [19] Association mondiale de la route AIPCR/PIARC (2008), « **Facteurs humains et sécurité des tunnels routiers du point de vue des usagers** », 2008R17
- [20] Office fédéral allemand des routes BAST, « **Lautsprecheranlagen und akustische Signalisierung in Strassentunneln** » (**Systèmes de sonorisation et signalisation acoustique dans les tunnels routiers**), cahier B 80, septembre 2011

Liste des modifications

Édition	Version	Date	Modifications
2026	1.00	13.03.2026	Entrée en vigueur de l'édition 2026.

