

### 3. COLLISIONS À L'INTÉRIEUR DES TUNNELS ROUTIERS

#### 3.1. ÉLÉMENTS DE CONTEXTE

Comme déjà souligné au *chapitre 1.2*, la définition détaillée des incidents significatifs varie d'un pays à l'autre, en fonction des exigences nationales. L'Annexe 1 fournit des exemples d'incidents considérés comme significatifs dans différents pays.

Les collisions et incendies sont considérés comme des incidents significatifs (dans tous les pays), car ils peuvent avoir de sérieuses conséquences. Ce chapitre traite des collisions à l'intérieur des tunnels routiers. D'autres types d'incidents significatifs peuvent être pris en compte par analogie avec les problèmes répertoriés sur les collisions.

Les facteurs ayant une incidence sur les collisions dans les tunnels routiers sont décrits au *chapitre 3* qui aborde également les paramètres pertinents du point de vue des collisions, lesquels peuvent également être pertinents du point de vue d'autres types d'incidents comme le profil de tunnel, les facteurs d'accident, le profil de(s) conducteur(s) et du(des) véhicule(s) et le comportement des personnes impliquées.

De plus, le *chapitre 3* présente une liste complète des données à collecter sur les collisions en tunnel ainsi qu'une évaluation des données statistiques disponibles de différents pays sur les taux de collisions et sa possible application.

#### 3.2. CARACTÉRISTIQUES DES COLLISIONS DANS LES TUNNELS ROUTIERS

Élément particulier d'une route, le tunnel routier est un tronçon qui se trouve dans un milieu confiné avec des restrictions latérales et verticales. Les différences distinctes entre les collisions survenant en tunnel et celles survenant sur des tronçons de route à l'air libre sont déterminées par certaines caractéristiques spécifiques du système tunnel dans son ensemble, lesquelles peuvent se résumer comme suit :

- Les tunnels sont des structures fermées et confinées qui peuvent engendrer de l'anxiété chez certains usagers ainsi qu'un comportement spécifique des personnes en cas de collision (tant pour les personnes directement qu'indirectement impliquées dans une collision) ;
- De manière générale, les tunnels comportent peu (ou pas) de jonctions, nœuds routiers, carrefours et intersections, ni d'accès à voies adjacentes.
- Les piétons et les véhicules lents (comme les mobylettes, les motocycles, les tracteurs agricoles ou autres moyens de locomotion) sont généralement interdits dans la plupart des tunnels ;
- La proximité d'obstacles fixes (comme les têtes de tunnel, panneaux routiers, plafond, piédroit) peut influencer le comportement de conduite ;
- Les mesures de protection que l'on trouve généralement sur les tronçons de route à l'air libre (par ex. barrières ou autres systèmes d'absorption d'énergie) ne se trouvent pas dans tous les tunnels ;
- De nombreux tunnels autoroutiers ne possèdent pas de voie d'arrêt d'urgence à la différence des routes à l'air libre ;
- Les usagers de tunnel doivent percevoir, analyser et comprendre un environnement de conduite différent ;

- En cas de situation critique à l'intérieur d'un tunnel routier, les conducteurs peuvent avoir à prendre des décisions plus rapidement qu'ils n'y sont habitués dans d'autres conditions.
- Le comportement des usagers peut être affecté par une qualité de l'air non contrôlée ou non maintenue dans les limites admissibles ;
- Les conditions environnementales sont mieux maîtrisées à l'intérieur des tunnels (absence de pluie, de neige, de glace, de vent, de brouillard et surface moins glissante), mais des changements soudains peuvent survenir aux têtes de tunnel ;
- Les tunnels sont normalement éclairés 24 heures sur 24, mais des changements soudains de conditions d'éclairage peuvent survenir aux têtes de tunnel ;
- L'atmosphère monotone des longs tunnels peut entraîner une baisse d'attention chez le conducteur ;
- Les conditions du tunnel peuvent donner lieu à des erreurs d'appréciation du tracé en plan et du profil en long ainsi que de la distance de sécurité par rapport aux autres véhicules et obstacles.

Compte tenu des éléments ci-dessus, les collisions en tunnel peuvent être différentes de celles qui surviennent sur une route à l'air libre en ce qui concerne les aspects suivants :

#### **A propos de l'occurrence des incidents :**

- Certains types spécifiques de collisions ne peuvent pas survenir dans les tunnels (par ex. collisions causées par le vent, la pluie ou la neige ou d'autres causes liées à des influences environnementales).
- La probabilité de certains types de collisions est réduite dans les tunnels, par ex. collisions dues à un changement de voie, à un changement de direction, à des piétons ou des animaux sauvages ou encore à cause d'une surface de route glissante.
- Les conséquences de certaines collisions peuvent être aggravées si la collision survient dans un tunnel, par ex. collision avec un obstacle fixe tel que les piédroits ou les entrées de tunnel.
- Certaines causes d'incidents sont propres aux tunnels, par exemple une mauvaise visibilité due au recouvrement soudain du pare-brise de buée ou l'inondation soudaine d'un tunnel immergé.

#### **A propos des conséquences des incidents :**

- Les conséquences d'une collision peuvent augmenter dans un tunnel, principalement à cause du confinement de l'espace, par exemple les collisions avec les piédroits (au lieu de la barrière de sécurité) ou les collisions causant des incendies, explosions ou déversements de matières dangereuses.
- La réponse de secours peut être détériorée à cause de difficultés d'accès à la scène d'un incident.

### **3.3. FACTEURS D'INFLUENCE POUR LES COLLISIONS EN TUNNELS ROUTIERS**

Les aspects spécifiques aux collisions en tunnel abordés dans le chapitre peuvent avoir une incidence aussi bien sur la fréquence des collisions que sur leurs conséquences. Les facteurs pertinents sont d'abord identifiés et examinés qualitativement. Ensuite, les facteurs les plus pertinents sont examinés de plus près sur la base des résultats des études détaillées sur les collisions en tunnels routiers. En général, peu d'éléments montrent que l'influence des différents facteurs peut-être traitée individuellement et une approche quantitative n'est disponible que pour un nombre très limité de ces paramètres.

Les facteurs identifiés peuvent être examinés comme suit, sans se prétendre exhaustifs :

- configuration de base du tunnel – tunnel unidirectionnel ou bidirectionnel : l'incidence est significative s'agissant du type de collision, des fréquences ainsi que des conséquences ; des informations pour une évaluation quantitative sont disponibles (voir [chapitre 3.5](#)) ;
- tracé en plan : un tracé défavorable ou incertain (par ex. virages serrés) peut réduire la distance de visibilité dans un tunnel, favorisant donc les collisions avec les obstacles sur la route (comme les éventuelles files de véhicules) ;
- tracé du profil en long : une pente importante peut ralentir considérablement les PL, avec pour résultat une plus grande différence de vitesse entre ces derniers et les voitures, ce qui peut également donner lieu à des erreurs d'appréciation des distances ;
- nombre de voies : un nombre suffisant de voies de circulation compte tenu de la charge de trafic attendue facilite le flux de circulation (dans la plupart des cas, un nombre identique au nombre de voies de circulation sur une route à l'air libre est jugé suffisant). Cependant, un nombre supérieur de voies de circulation par sens de circulation accroît la fréquence des changements de voie, ce qui entrave la circulation des files voisines ;
- largeur des voies : une voie plus étroite peut entraver le flux de circulation sur la file adjacente.
- distance entre la voie de circulation et le piédroit : un piédroit trop près de la voie de circulation peut avoir une incidence sur la position latérale des véhicules et leur vitesse ;
- présence/distance des garages ou bande d'arrêt d'urgence : les collisions à la suite d'une panne peuvent être évitées si le véhicule incriminé ne bloque pas une voie de circulation ;
- longueur du tunnel : diverses expériences ont été examinées comme « *un tunnel plus long peut avoir une incidence sur la concentration* » de sorte que le taux de collisions peut augmenter avec la longueur du tunnel ou « *étant donné que la plupart des collisions surviennent dans les zones d'entrée et de sortie, les tunnels plus longs peuvent donc afficher en moyenne des taux de collisions inférieurs* » ;
- zones du tunnel : les fréquences et les types de collisions varient d'une zone à l'autre à l'intérieur du tunnel (par ex. on peut s'attendre à davantage de collisions dans la zone d'entrée en raison de la lente adaptation des yeux à l'environnement sombre du tunnel) ;
- charge de circulation, composition et caractéristiques de la circulation : la charge de circulation totale ainsi que les caractéristiques spécifiques de la circulation comme les pointes de trafic ou la congestion ont une incidence sur la fréquence ainsi que sur les conséquences des collisions ; la proportion des PL a également une incidence sur les taux de collisions (par ex. en raison de la différence de vitesse entre les PL et les voitures) et en particulier sur leurs conséquences ;
- intersections et bretelles : La présence de bretelles d'entrée ou de sortie ainsi que d'intersections peut avoir une incidence considérable sur les taux de collisions ;
- vitesse : la vitesse a tout particulièrement une incidence sur les conséquences ; par conséquent, des mesures de surveillance comme différents types de contrôles de vitesse peuvent également avoir une incidence sur les conséquences ;
- éclairage du tunnel : le niveau d'éclairage du tunnel ainsi que d'autres caractéristiques d'éclairage comme la brillance des parois du tunnel ainsi que l'adaptation de l'éclairage du tunnel dans la zone d'entrée peuvent être des paramètres déterminants pertinents ;
- guidage optique des conducteurs : le guidage optique des conducteurs par des LED ou d'autres moyens peut être pertinent notamment dans le cas d'un tracé en plan spécifique ;
- systèmes d'information des conducteurs et de gestion de la circulation : ils peuvent être particulièrement utiles dans des tunnels urbains complexes où la charge de circulation est importante ;

- état technique des véhicules : il peut avoir une incidence aussi bien sur les fréquences que les conséquences ;
- facteurs culturels : les habitudes de conduite peuvent avoir une incidence considérable sur les fréquences et les conséquences ; d'autres facteurs comme le non-usage de la ceinture de sécurité peuvent avoir une incidence sur les conséquences.

L'interaction de l'ensemble de ces paramètres est très complexe et il est par conséquent difficile de quantifier l'influence de chacun d'entre eux. Il existe toutefois certaines études qui fournissent des informations sur ce sujet.

L'une des premières études sur les collisions en tunnels routiers a été réalisée par le Comité technique *C5 Tunnels routiers* de l'AIPCR avec le Rapport technique Sécurité routière dans les tunnels (1995) [8]. La conclusion de ce rapport technique indiquait que la sécurité routière dans les tunnels est meilleure que sur les routes à l'air libre, sauf en cas de carences dans la conception géométrique. Les tunnels autoroutiers unidirectionnels offrent de meilleures conditions de sécurité routière que les tunnels bidirectionnels. Le rapport susmentionné a toutefois plus de 20 ans et grâce aux améliorations tant dans la collecte des données relatives aux incidents que de l'évaluation, nous disposons maintenant de beaucoup plus de données, qui sont à la fois plus spécifiques. Compte tenu de cette amélioration des informations relatives aux collisions en tunnel, plusieurs études ont été réalisées, s'intéressant individuellement à certains des paramètres déterminants susmentionnés ou à leur interaction. Par ailleurs, certains pays disposent de données quantitatives complètes qui peuvent être utilisées pour calculer les taux de collisions pour des types spécifiques de tunnels (voir [chapitre 3.5](#)).

Une étude suisse sur la sécurité de la circulation dans les tunnels autoroutiers de 2004 [35] contient une analyse statistique multiparamètres des collisions en tunnels considérant plusieurs paramètres du tunnel et de la circulation. Avec seulement 5 paramètres, une importante corrélation entre ces paramètres et la fréquence et les conséquences des collisions a pu être identifiée :

- tunnel unidirectionnel et bidirectionnel : les tunnels unidirectionnels présentent un risque de collision inférieur ;
- longueur du tunnel : les tunnels plus longs présentent un taux de collisions inférieur ;
- charge de circulation – TMJA<sup>4</sup> : les tunnels avec une forte charge de circulation présentent un risque de collision supérieur ;
- transport de marchandises : une proportion élevée de PL augmente le risque de collision (conséquences plus graves) ;
- distance entre la voie de circulation et le piédroit : une plus grande distance réduit le taux de collisions.

Dans les études sur l'analyse des risques, la présence de bretelles d'entrée et de sortie est souvent prise en compte en tant que facteur de risque significatif supplémentaire.

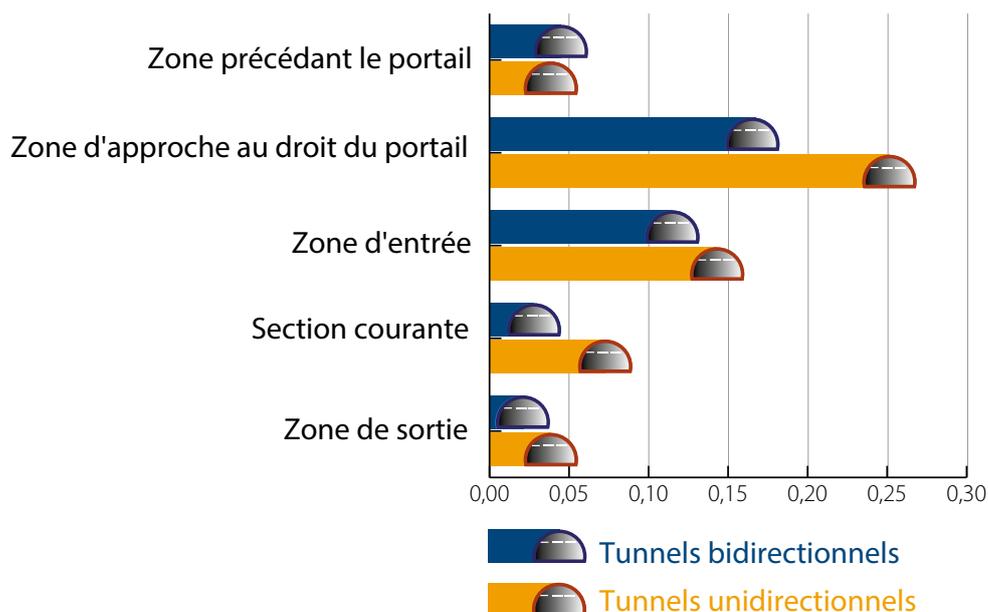
Dans une étude autrichienne sur la sécurité des tunnels autoroutiers [34] portant sur la période 1999 - 2009, les taux de collisions ont été particulièrement étudiés en fonction des zones du tunnel ; 5 zones ont été définies :

---

<sup>4</sup> Trafic moyen journalier annuel dans un tunnel donné

- zone précédant le portail : 250 m avant le tunnel ;
- zone d'approche au droit du portail : 10 m avant/après la tête de tunnel ;
- zone d'entrée : 10 m -150 m à l'intérieur du tunnel ;
- section courante : plus de 150 m des deux portails ;
- zone de sortie : jusqu'à 250 m derrière le tunnel.

Les taux de collisions les plus élevés étaient relevés dans la zone d'approche au droit du portail, suivie de la zone d'entrée, alors que la section courante présente un taux de collisions sensiblement inférieur



*Illustration 4 : Taux de collisions  
(accidents corporels / 1 million de véhicule-km)  
en fonction des zones du tunnel dans les tunnels autoroutiers autrichiens [34]*

La même étude examinait la cause de 502 collisions en tunnel. Les résultats sont illustrés dans l'illustration 5. Il en ressort que les principales causes étaient des erreurs de conduite et un manque d'attention. L'étude a également révélé que les tunnels unidirectionnels présentaient un taux de collisions supérieur à celui des tunnels bidirectionnels. Cependant, les valeurs déterminées pour les tunnels bidirectionnels et unidirectionnels respectivement sont basées sur des ensembles de tunnels dont la longueur moyenne et le trafic varient. C'est pour cette raison que le modèle de risque de tunnel autrichien inclut une fonction spécifique afin de tenir compte de l'incidence de ces paramètres lors du calcul des taux de collisions pour un tunnel donné. En Autriche, de plus en plus de tunnels sont équipés d'un système de contrôle de vitesse électronique (« *régulation du trafic sur un tronçon* ») qui a des effets positifs sur le risque de collision.

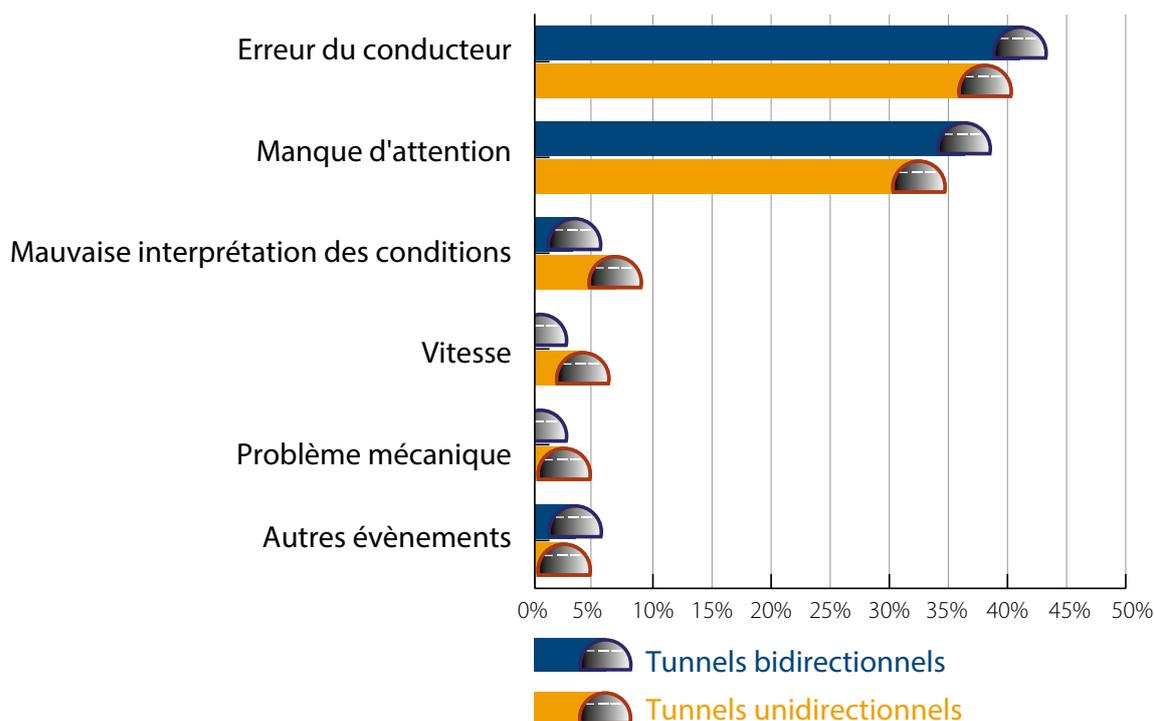


Illustration 5 : causes de collisions dans les tunnels autoroutiers autrichiens [34]

Une étude italienne [30] a révélé que dans les tunnels autoroutiers unidirectionnels, le taux de collisions moyen est de  $12.10^8$  véh.km pour les accidents corporels (tués et blessés). Sur la même période de surveillance, le taux de collisions moyen sur les tronçons d'autoroutes comportant des tunnels était estimé à  $9.10^8$  véh.km pour les accidents corporels. En l'absence de différence significative dans la procédure utilisée pour la collecte des données relatives aux accidents corporels en tunnel par rapport à celle des routes à l'air libre, les taux en question peuvent donc être considérés comme comparables. De plus, le risque de sous-estimation est négligeable, car les blessés et les tués sont systématiquement enregistrés dans les tunnels et sur les tronçons à l'air libre. La base de données a été fournie par le ministère italien du Transport. L'étude était basée sur une période de surveillance de 4 ans allant de 2006 à 2009. Sur cette période, 762 accidents corporels (collisions mortelles et ayant causé des blessures uniquement) ont été enregistrés dans 195 tubes de tunnels unidirectionnels. Les taux de collisions susmentionnés, qui montrent que le taux de collisions moyen, concernant les accidents corporels, est plus élevé dans les tunnels que sur les autoroutes contenant ces structures, ont été calculés sur cette base. Un incrément positif de 33,3 % a notamment été enregistré dans le taux d'accidents corporels en tunnels par rapport à celui des autoroutes correspondantes. Cet incrément est suffisamment significatif.

De manière générale, si l'on en croit la littérature existante, la fréquence de toutes les collisions (collisions entraînant des dommages matériels, blessés et tués) comparée à celle des accidents corporels est en Italie moins élevée dans les tunnels que sur les tronçons de route à l'air libre comparables.

A propos des tunnels autoroutiers italiens, des études ultérieures [31] [32] ont montré que la fréquence<sup>5</sup> d'accidents corporels survenant à l'intérieur des tunnels augmente avec la longueur

<sup>5</sup> Dans cette étude, la fréquence a été définie comme le nombre de collision par tunnel par an.

du tunnel, le trafic moyen journalier annuel par voie, le pourcentage de camions et le nombre de voies. En revanche, la variable du trottoir latéral ne s'est pas avérée statistiquement significative. Ces études ont également révélé une réduction continue significative du nombre d'accidents corporels dans les tunnels autoroutiers au fil des années. Cette réduction au fil des ans peut être attribuable : à l'installation de systèmes électroniques de contrôle de la vitesse toujours plus nombreux sur les autoroutes comportant les tunnels étudiés ; aux effets positifs de l'introduction du permis avec retrait de points en cas de violation du Code de la route, et à la mise en œuvre et/ou au renforcement de mesures de sécurité dans les tunnels après octobre 2006, date de l'entrée en vigueur de la directive européenne 2004/54/CE en Italie.

Dans une étude française publiée en 2015 [47], les analyses statistiques approfondies avaient été réalisées dans le but d'identifier et de comprendre l'influence de paramètres spécifiques sur le nombre de pannes, collisions et incendies. Les paramètres suivants avaient été pris en compte : volume de circulation, nombre de PL, longueur du tunnel, type de flux de circulation (unidirectionnel ou bidirectionnel), environnement urbain ou non urbain, limitations de vitesse, déclivité, centre de supervision du tunnel, année d'occurrence.

Ces analyses consistent à isoler un paramètre et à en étudier l'incidence sur le nombre d'incidents, en maintenant tous les autres paramètres constants<sup>6</sup>. Les conclusions décrites ci-dessous se rapportent exclusivement aux collisions et aux paramètres « *significatifs* ». On considère qu'un paramètre est significatif lorsque son influence significative sur le taux de collisions est avérée (occurrence / véh/km).

L'étude a été réalisée pour inclure uniquement les accidents corporels et les collisions avec dommages matériels. Ces analyses statistiques approfondies ont abouti à deux conclusions principales.

La première est que le taux de collisions est plus élevé dans les tunnels unidirectionnels que dans les tunnels bidirectionnels. À la lumière de la méthode statistique expliquée ci-dessus, cette conclusion est valable si tous les autres paramètres restent égaux, notamment la longueur, la circulation et la vitesse. Par conséquent, on peut expliquer ce résultat par le fait que les tunnels unidirectionnels procurent aux usagers un plus grand sentiment de sécurité, car aucun véhicule ne circule dans le sens inverse. Les usagers peuvent ainsi se comporter moins prudemment dans un tunnel unidirectionnel (par ex. excès de vitesse). Selon les résultats des analyses statistiques approfondies, le taux de collisions dans un tunnel unidirectionnel est environ deux fois plus élevé que dans un tunnel bidirectionnel, tous les autres paramètres étant maintenus constants, comme indiqué dans le tableau ci-dessous :

**TABEAU 1 : TAUX DE COLLISIONS DANS LES TUNNELS UNIDIRECTIONNELS ET BIDIRECTIONNELS (TOTAL DES COLLISIONS + ACCIDENTS CORPORELS UNIQUEMENT) D'APRÈS L'ÉTUDE FRANÇAISE [47]**

	Taux de collisions global (Nombre total de collisions / 10 <sup>8</sup> véh·km)	Taux d'accidents corporels (Nombre d'accidents corporels / 10 <sup>8</sup> véh·km)
Tunnels unidirectionnels	44	9
Tunnels bidirectionnels	25	5

<sup>6</sup> Ces analyses s'appuient sur des modèles statistiques complexes adaptés aux caractéristiques statistiques de l'échantillon d'événements étudiés. Ainsi, il est possible d'utiliser la régression Quasi-Poisson et les régressions binomiales négatives pour modéliser de manière satisfaisante des événements rares et très dispersés. Ces régressions ont été utilisées pour les collisions. La régression de Poisson, idéale pour les événements rares, a été utilisée pour les incendies.

La deuxième conclusion tirée est que le taux de collisions est plus élevé dans les tunnels possédant une forte pente longitudinale. Ce résultat peut s'expliquer par le fait que les conducteurs ont tendance à aller plus vite en descente et que la différence de vitesse entre les véhicules lents (par ex. PL) et les autres véhicules est plus significative sur les tronçons en montée. D'un point de vue quantitatif, il s'avère que les effets de la déclivité sont les mêmes, que les véhicules soient en montée ou en descente. En fait, les taux de collisions sont plus élevés dans les tunnels avec une forte déclivité (montée ou descente). D'après les résultats des analyses statistiques approfondies, des facteurs de correction ont été définis pour estimer les taux de collisions en tant que fonction de la pente longitudinale. Par exemple, le taux de collisions dans un tunnel présentant une déclivité de 3 % (montée ou descente) est 1,3 fois plus élevé que dans un tunnel présentant une déclivité de 0 %. Le tableau montre comment le taux de collisions global (c'est-à-dire collisions avec et sans victimes) varie en fonction de la pente du tunnel :

**TABLEAU 2 : FACTEURS DE CORRECTION DU TAUX DE COLLISIONS GLOBAL EN FONCTION DE LA DÉCLIVITÉ DU TUNNEL**

Pente du tunnel	Facteur de correction
0 %	1
±1 %	1,1
±2 %	1,2
±3 %	1,3
±4 %	1,4
±5 %	1,5

Les chiffres calculés et les analyses statistiques approfondies ont permis de tirer d'autres conclusions :

- le taux de collisions global des PL est 1,3 fois supérieur au taux de collisions global des véhicules de tourisme ; cependant, aucune incidence statistique significative de la caractéristique « poids lourd » sur ce résultat n'a été constatée ;
- une analyse simple des taux de collisions (accidents corporels uniquement, y compris mortels) a fait ressortir que le taux d'accidents corporels est plus bas dans les tunnels que sur la route à l'air libre, d'après les chiffres du tableau ci-dessous :

**TABLEAU 3 : COLLISIONS CORPORELLES, COMPARAISON ENTRE LES TUNNELS ET LES ROUTES À L'AIR LIBRE EN FRANCE - PÉRIODE 2007-2011**

	Tunnel	Route à l'air libre
Taux de collisions corporelles (Nombre d'accidents corporels / 10 <sup>8</sup> véh.km)	6,35	13,7
Taux de blessés (Nombre de blessés / 10 <sup>8</sup> véh.km)	6,86	16,4
Taux de tués (Nombre de tués / 10 <sup>8</sup> véh.km)	0,21	0,76

La littérature susmentionnée des études de Suisse, Italie, Autriche et France, montre que différents résultats ont été obtenus (certains se corroborant, d'autres se contredisant). La compréhension de l'incidence des facteurs susmentionnés sur les collisions en tunnel mérite donc d'être approfondie. Les discussions entre les experts du groupe de travail pendant l'élaboration de ce rapport ont aussi révélé le grand soin qui doit être apporté lors des comparaisons et discussions des résultats de différentes études. En effet, ces résultats sont influencés par beaucoup de facteurs, comme les conditions et les méthodes d'acquisition des données, la qualité et l'exhaustivité des données, les définitions et les méthodes appliquées pour les études aussi bien que les

spécificités nationales en matière de sécurité routière et de gestion du trafic. Le tableau ci-dessous résume les principales constatations et conclusions de ces études :

<b>TABLEAU 4 : SYNTHÈSE DES RÉSULTATS D'ETUDES SUR LES COLLISIONS EN TUNNEL</b>				
<b>Facteur d'influence</b>	<b>Salvisberg 2004 [35], Suisse</b>	<b>Caliendo 2014 [30], Italie</b>	<b>Nussbaumer [34]. 2009, Autriche</b>	<b>CETU 2015 [47], France</b>
Mode de circulation : Unidirectionnel ou bidirectionnel	Les tunnels unidirectionnels présentent un risque de collision inférieur	Seuls les tunnels unidirectionnels sont étudiés	Les tunnels unidirectionnels présentent un taux de collisions plus élevé que les tunnels bidirectionnels (sur la base de l'ensemble des tunnels dont la longueur moyenne et le trafic varient.)	Les taux d'accidents corporels et le taux de collisions global sont tous deux plus élevés dans des tunnels unidirectionnels que dans des tunnels bidirectionnels (tous les autres paramètres étant maintenus constants)
Charge de circulation (TMJA)	Les tunnels présentant une charge de circulation élevée affichent des taux de collisions supérieurs	La fréquence d'accidents corporels augmente avec le TMJA par voie		
Composition du trafic	Une plus grande proportion de PL accentue les conséquences des collisions	La fréquence des accidents corporels augmente avec le pourcentage de camions		Le taux de collisions global des PL est 1,3 fois supérieur à celui des voitures de tourisme (incidence statistiquement non significative)
Zones du tunnel			Taux de collisions plus élevés dans la zone d'approche au droit du portail suivie de la zone d'entrée, taux de collisions considérablement inférieur dans la section courante	Le taux de collisions global est plus élevé dans les zones d'approche au droit du portail qu'au milieu des tunnels
Longueur du tunnel	Les tunnels plus longs présentent un taux de risque de collisions inférieur.	Le taux d'accidents corporels augmente avec la longueur du tunnel	Le taux de collisions diminue avec la longueur du tunnel (en raison de l'incidence des taux élevés dans la zone du portail)	
Pente du tunnel				Le taux de collisions global est plus élevé dans les tunnels possédant une forte pente longitudinale.

**TABEAU 4 : SYNTHÈSE DES RÉSULTATS D'ÉTUDES SUR LES COLLISIONS EN TUNNEL**

Facteur d'influence	Salvisberg 2004 [35], Suisse	Caliendo 2014 [30], Italie	Nussbaumer [34], 2009, Autriche	CETU 2015 [47], France
Systèmes électroniques de contrôle de la vitesse		L'installation de systèmes électroniques de contrôle de la vitesse toujours plus nombreux semble avoir des effets positifs sur la réduction du nombre de collisions avec le temps	L'installation d'un système électronique de contrôle de la vitesse a des effets positifs sur la fréquence et les conséquences des collisions	
Tunnels et route à l'air libre		Le taux moyen pour les accidents corporels est plus élevé dans les tunnels que sur les autoroutes comprenant ces ouvrages	Le taux de collisions pour les accidents corporels est plus faible dans les tunnels que sur les tronçons de route à l'air libre	Le taux d'accidents corporels est plus faible dans les tunnels que sur les routes à l'air libre

D'autres études supplémentaires sont nécessaires pour approfondir les connaissances sur les collisions en tunnel (notamment l'interaction des différents paramètres déterminants). Néanmoins, pour que ces études reposent sur une base solide, il convient de définir les exigences spécifiques quant à la collecte de données relatives aux collisions en tunnel, couvrant l'incident en soit ainsi que les conditions limites et les paramètres déterminants tels que susmentionnés.

### 3.4. COLLECTE DE DONNÉES RELATIVES AUX COLLISIONS EN TUNNEL

Lorsque survient une collision dans un tunnel, les données et informations y afférentes doivent être recueillies pour une utilisation ultérieure. La quantité de données à recueillir peut varier considérablement en fonction de la pertinence de la collision, des objectifs de la collecte de données et de l'utilisation ultérieure de celles-ci. La liste présentée ci-dessous doit être considérée comme la liste la plus complète de données pouvant être recueillies en rapport avec une collision et être utilisée dans toutes les applications possibles. Pour la définition du périmètre des données à recueillir dans la pratique, le lecteur est invité à se reporter au [chapitre 2](#) (plus particulièrement au [paragraphe 2.5](#)) qui traite des aspects pratiques pertinents et des limites. Une référence spécifique à un ensemble de données minimum à utiliser pour étayer l'analyse des risques est également présentée à titre d'exemple de collecte de données pour une application spécifique.

#### Informations générales

- Nom et code d'identification (le cas échéant) du tunnel.
- Heure (date/heure) : heure de l'occurrence et de la détection de la collision, durée de l'événement, heure de retour à la normale de la circulation.
- Lieu : tube, sens de circulation des véhicules impliqués, localisation sur la route, voie de circulation, bande d'arrêt d'urgence, structures spécifiques à proximité de l'événement, etc. Pour enregistrer les différentes conditions (environnementales) de conduite, il est recommandé d'adopter un système de zonage du tunnel prédéfini et de catégoriser la localisation de l'incident en conséquence. Une liste des systèmes de zonage de tunnel est présentée en [annexe 3.1](#) du présent rapport. Il convient d'observer que la définition du

système de zonage varie d'un pays à l'autre. Cela rend difficile la comparaison des résultats entre pays.

### **Profil du tunnel et information sur la circulation**

- Description du tunnel : dans la plupart des cas, une description détaillée du tunnel n'est pas nécessaire, car l'information se trouve dans la base de données correspondante. Ce qui est nécessaire est une brève description des caractéristiques structurelles et géométriques du tunnel (longueur, déclivité, voies d'arrêt d'urgence, garages, etc.), en particulier à la proximité de l'événement, mesures de sécurité spécifiques mises en œuvre (prévention - atténuation - réponse en cas d'urgence).
- Description de la route : nombre de voies, tracé en plan, déclivité, aménagements de sécurité pertinents, vitesse maximale autorisée, etc.
- Surface de la route à proximité de l'événement : type (surface en béton bitumineux antidérapant, béton antidérapant, asphalte ou béton), état permanent.
- Signalisation et marquage de la route et tunnel : disponibilité, état, localisation.
- Données caractéristiques relatives à la circulation (TMJA, composition du trafic, en particulier le pourcentage de PL, etc.), caractéristiques spécifiques de la circulation (notamment la congestion), conditions de circulation avant et pendant l'événement.
- Réglementation relative au transport des marchandises dangereuses (dispositif, classification selon l'ADR, etc.)

### **Profil de collision**

- Identification de la collision (par ex. un système de numérotation unique) et/ou description du type de collision
- Il est recommandé d'utiliser un système de normalisation afin d'éviter dans la mesure du possible les descriptions orales arbitraires. La classification ou la description des incidents doit se baser uniquement sur les observations et non pas sur ce que l'on considère être la cause initiale. La base du système de normalisation (ou de la description libre, si un tel système n'a pas été adopté) pour la classification des collisions doit prendre en compte plusieurs aspects des composants qui définissent l'identité de l'événement. Les aspects qui doivent être visés par le système de classification peuvent être :
  - Véhicules impliqués dans la collision : Véhicule MG/Pas véhicule MG/Aucun.
  - Conséquences pour la vie et la santé humaines : Oui/Non.
  - Endommagement important de l'infrastructure du tunnel, installations ou équipements : Oui/Non.
  - Endommagement important des véhicules ou des biens : Oui/Non.
  - Atteintes à l'environnement : Oui/Non.
  - Situation : Incendie / Collision de véhicule(s) / Panne de véhicule / Défaillance de la structure / Conditions météorologiques / Niveau d'éclairage insuffisant / Présence de piétons / Présence de cyclistes / Présence d'objets.
  - Type de collision de véhicules (collision frontale, collision arrière, collision latérale, collision en écharpe, collisions à un seul véhicule).
- Conséquences de la collision : nombre de blessés légers, nombre de blessés graves, nombre de tués, endommagement de la structure, des installations ou des équipements du tunnel, endommagement des véhicules, endommagement des biens (tiers), dommage indirect (pertes), dommages immatériels (par ex. perte de réputation), atteinte à l'environnement. Les dommages susmentionnés doivent faire l'objet d'une description précise accompagnée, si possible, d'une description de leurs conséquences économiques.
- La surface de la route à proximité de l'événement : conditions réelles – par ex. surface

- enneigée, mouillée, verglacée, gelée, glissante.
- Conditions de visibilité : brouillard, fumée, poussière, particules en suspension, éclairage inadapté.
- Conditions environnementales : sec, brouillard, pluie, neige, vent, stalactites, brouillard glacé, concentration anormale de gaz.
- Présence de travaux en cours (construction, maintenance, etc.).
- Obstacles sur la surface de la route.
- Événements enregistrés : par la télésurveillance (CCTV), boucles magnétiques, détection automatique des incidents, autres moyens.
- Utilisation des aménagements de sécurité : garage, nature et utilisation des sorties de secours.
- Utilisation et activation des équipements de sécurité : système de ventilation, barrières, bornes, communication radio, interruption des fréquences radio et diffusion de messages d'urgence spécifiques, informations fournies aux usagers.
- Défaillances techniques des systèmes tunnel (nombre, origine des défaillances).
- Principale cause de collision (accélération, dépassement, droit de passage, panne mécanique, etc.).
- Intervention des secours.
- Heure précise de l'alarme et de l'alerte pour l'intervention des services de secours extérieurs et, le cas échéant, des secours internes.
- Heure précise de l'intervention des services concernés (c'est-à-dire pompiers, police de la route, ambulance).
- Il est fortement recommandé de consigner le déroulement précis des événements

#### **Profil des conducteurs(s) et véhicule(s)**

Le traitement des données à caractère personnel doit respecter les dispositions et restrictions légales :

- Informations sur le conducteur : catégorie de permis, expérience du conducteur, sexe, âge, nationalité, formation.
- Défaillances du conducteur : dues à l'alcool, aux médicaments, autres.
- État du conducteur : alerte, fatigué, impulsif, indisposition soudaine, suicidaire.
- Utilisation des dispositifs de retenue : casque, ceinture de sécurité, siège auto.
- Numéro d'immatriculation (si la loi le permet).
- Type et nombre de véhicule(s) impliqué(s).  
Pour éviter les descriptions arbitraires dans la description du type de véhicules, il est recommandé d'utiliser des systèmes de classification prescrits pour la catégorisation des véhicules. Ces systèmes de catégorisation sont définis par exemple dans deux directives européennes (2002/24/CE du 18 mars 2002 et 2007/46/CE du 5 septembre 2007).
- Exploitant du véhicule : particulier, commercial, transports publics.
- Année de mise en service du véhicule.

#### **Comportement des personnes impliquées**

- Description et analyse du comportement des usagers de tunnel impliqués dans l'incident, soit enregistré par la télésurveillance, soit au moyen d'entretiens, ou de témoignages, ou par tout autre moyen fiable.
- Description et analyse du comportement de l'exploitant.
- Description et analyse du comportement des services de secours.

Du point de vue de l'évaluation des données, en ce qui concerne la définition d'informations quantitatives et de données d'entrée pour l'analyse des risques, il est possible de définir comme suit un ensemble minimum de données :

### **Informations générales**

- Nom et code d'identification, le cas échéant, du tunnel.
- Heure (date/heure) : heure de l'occurrence et de la détection de la collision.
- Lieu : tube, sens de circulation des véhicules impliqués, localisation sur la route, zone du tunnel, voie de circulation, bande d'arrêt d'urgence, structures spécifiques à proximité de l'événement, etc.

### **Profil du tunnel et information sur la circulation**

- Description du tunnel : une brève description des caractéristiques structurelles et géométriques du tunnel (longueur, pente, voies d'arrêt d'urgence, garages, etc.), en particulier à proximité de l'événement, mesures de sécurité spécifiques mises en œuvre.
- Description de la route : nombre de voies, pente, tracé en plan, aménagements de sécurité pertinents, vitesse maximale autorisée (prévention - atténuation - réponse en cas d'urgence).
- Signalisation et marquage de la route et tunnel : disponibilité, état, localisation.
- Données caractéristiques relatives à la circulation (TMJA, composition du trafic, en particulier le pourcentage de PL), caractéristiques spécifiques de la circulation (notamment la congestion), conditions de circulation avant et pendant l'événement.
- Réglementation relative au transport des marchandises dangereuses (dispositif, classification selon l'ADR)

### **Profil de collision**

- Identification de la collision (par ex. un système de numérotation unique) et/ou description du type de collision.
- Conséquences de la collision : nombre de blessés légers, nombre de blessés graves, nombre de tués, endommagement de la structure, des installations ou des équipements du tunnel, endommagement des véhicules, endommagement des biens (tiers).
- Présence de travaux en cours (construction, maintenance, etc.).
- Obstacles sur la surface de la route.
- Événements enregistrés : par la télésurveillance (CCTV), boucles magnétiques, détection automatique des incidents, autres moyens.
- Utilisation des aménagements de sécurité : garage, nature et utilisation des sorties de secours.
- Utilisation et activation des équipements de sécurité : système de ventilation, barrières, bornes, communication radio, interruption des fréquences radio et diffusion de messages d'urgence spécifiques, informations fournies aux usagers.
- Principale cause de collision : accélération, dépassement, droit de passage, panne mécanique, etc.
- Intervention des secours.
- Heure précise de l'alarme et de l'alerte pour l'intervention des services de secours extérieurs et, le cas échéant, des secours internes.
- Heure précise de l'intervention des services concernés (c'est-à-dire pompiers, police de la route, ambulance).
- Il est fortement recommandé de consigner le déroulement précis des événements

**Profil des conducteurs(s) et véhicule(s)**

- Type et nombre de véhicule(s) impliqué(s).

D'autres informations peuvent être requises afin de tirer des conclusions quant à la gestion de l'incident au niveau du tunnel.

**3.5. TAUX DE COLLISIONS**

Le taux de collisions ( $C_R$ ) considéré dans ce rapport s'applique aux accidents corporels uniquement et correspond au nombre d'accidents corporels par année divisé par le nombre total de kilomètres parcourus du tunnel en question (exprimé en centaines de millions de véhicule-kilomètres).

$$C_R = \frac{NAC}{365 \times L \times TMJA_i} \times 10^8 \quad \left[ \frac{\text{nombre d'accidents corporels}}{10^8 \text{ vehicules} \times \text{kilometer}} \right]$$

Où :

**TMJA** : Trafic moyen journalier annuel dans un tunnel donné (véhicules/jour)

**Accidents corporels** : nombre annuel d'accidents corporels survenus dans le tunnel (collisions/an)  
Les accidents corporels sont les collisions ayant causé au moins un blessé ou un tué.

**L** : Longueur du tube de tunnel (km)

La formule ci-dessus se rapporte un seul tunnel. Pour un ensemble de tunnels, cette formule doit être modifiée comme suit :

$$C_{Rn} = \frac{NAC_n}{365 \times \sum_i^n (L_i \times TMJA_i)} \times 10^8$$

Où :

$C_{Rn}$  : le taux de collisions pour l'ensemble de  $n$  tunnels.

**Acc. corp.<sub>n</sub>** : nombre annuel d'accidents corporels (blessés et/ou tués) dans l'ensemble de  $n$  tunnels (collisions/an).

$L_i$  : Longueur de tunnel  $i$  (km).

**TMJA<sub>i</sub>** : trafic moyen journalier annuel dans le tunnel  $i$  (véhicules/jour).

Seules les informations dont les membres du groupe de travail ont pu déterminer l'origine ont été utilisées pour le calcul du taux de collisions. Pour des informations plus spécifiques, le lecteur est invité à consulter l'[annexe 3.2](#) qui contient les données sur lesquelles nous nous sommes appuyés et les éléments de contexte.

Elles sont examinées séparément afin de tenir compte des différentes conditions des tunnels bidirectionnels et unidirectionnels. Il est ainsi possible d'étudier si ces différentes conditions sont à l'origine de taux de collisions différents.

Les données incluses à l'[annexe 3.2](#) permettent de calculer le taux de collisions moyen des tunnels routiers dans certains pays. Ces taux ne sont pas nécessairement représentatifs de l'ensemble des tunnels du pays, mais seulement d'un certain nombre d'entre eux auprès desquels les données ont été obtenues.

TABLEAU 5 : TAUX DE COLLISIONS MOYENS ( $C_R$ ) DES TUNNELS ROUTIERS DANS DIFFÉRENTS PAYS			
Pays	Type de circulation	Taux de collisions ( $C_R$ ) (par $10^8$ véh. km)	
Autriche	bidirectionnel	3,6	*
Argentine	bidirectionnel	5,74	**
France	bidirectionnel	5,30	***
Norvège	bidirectionnel	11,72	****
Espagne	bidirectionnel	9,30	*****
Vietnam	bidirectionnel	71,98 (18,00)	*****
		Taux de collisions (par $10^8$ véh. km)	
Autriche	unidirectionnel	9,80	*
Danemark	unidirectionnel	3,97	
France	unidirectionnel	8,72	***
Italie	unidirectionnel	12,02	
Pays-Bas	unidirectionnel	5,35	
Norvège	unidirectionnel	11,60	****
Corée du Sud	unidirectionnel	2,10	
Espagne	unidirectionnel	6,30	*****
Suisse	unidirectionnel	7,58	*****

\* Chiffres non calculés dans ce rapport, mais tirés du rapport Sécurité des tunnels routiers - Sécurité routière dans les tunnels routiers et autoroutiers (1999 à 2009) [34]

\*\* Le taux de collision communiqué pour l'Argentine ne couvre qu'un seul tunnel (Tunnel immergé Uranga-Sylvestre Begnis) [50]

\*\*\* Chiffres non calculés dans ce rapport, mais tirés du rapport [47]

\*\*\*\* Chiffres déduits du rapport « Études sur les tunnels routiers norvégiens II. Une analyse des incidents de circulation dans les tunnels routiers 2001-2006 » [29]

\*\*\*\*\* Chiffres non calculés dans ce rapport mais tirés du rapport [52]

\*\*\*\*\* Le taux de collision communiqué pour le Vietnam ne couvre qu'un seul tunnel (tunnel Hai Van). Le taux de collision inclut tous types d'accidents, ainsi que ceux avec blessés. Le nombre entre parenthèse indique un taux de collision avec blessés (réduction avec un facteur 4 – fondé sur un avis d'expert) : ce chiffre est indiqué dans l'illustration 6.

\*\*\*\*\* Le taux couvre tous les tunnels suisses (principalement des tunnels unidirectionnels) comme indiqué au [42]

Pour les données de base relatives aux taux de collisions, se reporter à l'annexe 3.2, tableau 11 et 12.

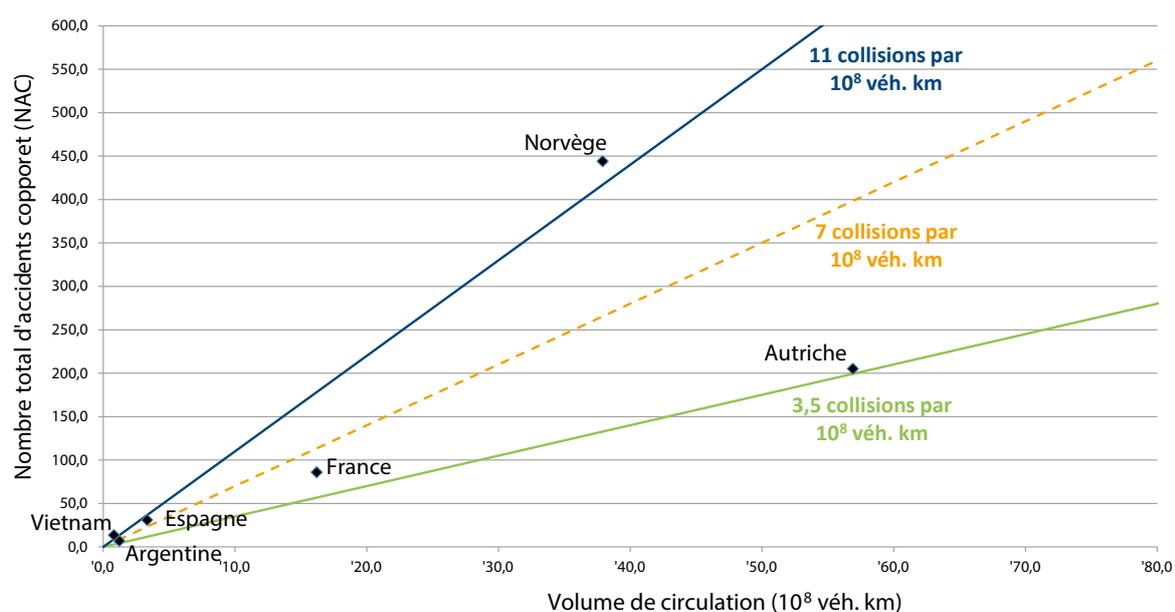


Illustration 6: nombre total de collisions enregistrées en relation avec le trafic correspondant pour divers pays – lignes de référence pour les taux de collision pour les tunnels bidirectionnels

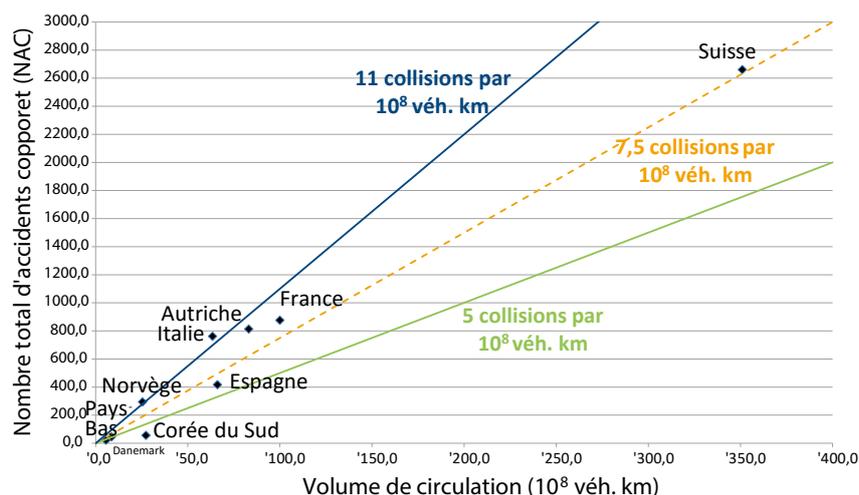


Illustration 7: nombre total de collisions enregistrées en relation avec le trafic correspondant pour divers pays – lignes de référence pour les taux de collision pour les tunnels unidirectionnels

Le taux de collisions moyen ( $C_R$ ) des différents pays varie environ entre 2 et 12 dans les tunnels unidirectionnels et entre 3 et 18 dans les bidirectionnels. Ces différences ne peuvent pas seulement être imputables aux différents paramètres de la sécurité routière (par exemple le comportement des conducteurs, les standards techniques des véhicules) ou aux paramètres du tunnel et du trafic (comme la géométrie du tunnel, les équipements du tunnel, le TMJA, etc.) mais aussi aux différents facteurs d'acquisition des données (comme les méthodes de recueil et d'évaluation, la taille et l'exhaustivité des échantillons de données, le nombre et la longueur de tunnels étudiés, la période de surveillance). Des exemples sont discutés dans les paragraphes suivants.

Les taux de collision présentés dans le tableau 5 ont par exemple été calculés sur la base de la statistique d'incident qui couvre une certaine période de temps, qui diffère de pays en pays. En évaluant les données, il a été observé que dans des données couvrant une période plus longue, les taux de collision diminuaient au fil du temps. Par conséquent les taux présentés dans le tableau 5 représentent une valeur moyenne pendant la période enregistrée. La raison de cet effet n'a pas été abordée et cet effet n'est donc pas discuté plus en détail dans ce rapport. Ce n'est pas clair à ce stade dans quelle mesure cette diminution des taux de collisions avec des blessés est due à une augmentation générale de la sécurité de trafic ou bien due aux efforts particuliers d'augmentation de la sécurité dans les tunnels.

En outre, les statistiques à propos des taux de collision couvrent les types différents de tunnels. Par exemple en Autriche et en Italie, les données se réfèrent aux tunnels d'autoroute seulement, tandis qu'en Norvège tous les types de tunnels sont inclus. De plus, les standards d'équipement dans beaucoup de tunnels norvégiens sont tout à fait différents que dans d'autres pays, parce qu'en Norvège beaucoup de tunnels sont localisés dans des zones géographiquement très éloignées.

Les taux de collisions ( $C_R$ ) français et autrichiens révèlent que les tunnels bidirectionnels présentent des taux inférieurs aux unidirectionnels. En Autriche, le taux de collisions de 9,8 collisions pour 100 millions de véhicule-kilomètres pour les tunnels unidirectionnels est environ 2,7 fois plus élevé que celui des tunnels bidirectionnels (3,6). En France, le taux de collisions de 8,72 collisions pour 100 millions de véhicule-kilomètres pour les tunnels

unidirectionnels est environ 1,6 fois plus élevé que celui des tunnels bidirectionnels (5,3). À première vue, cela semble contraire au bon sens et à l'expérience. Cependant, des explications possibles ressortent d'un examen des éléments de contexte du calcul de ces taux.

- Les tunnels bidirectionnels en France et en Autriche sont bien plus longs que les tunnels unidirectionnels. Dans l'étude autrichienne [34], la longueur moyenne des tunnels bidirectionnels est considérablement supérieure (4,2 km) à celle des tunnels unidirectionnels (1,25 km). En moyenne, les tunnels bidirectionnels sont trois fois plus longs que les tunnels unidirectionnels. Dans l'étude autrichienne, les  $C_R$  les plus élevés se trouvaient dans la zone d'approche au droit du portail, suivie de la zone d'entrée, alors que la section courante présente un taux de collisions sensiblement inférieur. Compte tenu qu'une grande partie des collisions surviennent dans les zones d'entrée et de sortie (de longueur fixe, identique pour les deux types de tunnels), les taux calculés pour la longueur totale du tunnel sont fortement influencés par cette longueur, d'où des taux inférieurs pour les tunnels plus longs (le cas des tunnels bidirectionnels).
- Les tunnels unidirectionnels procurent aux usagers un plus grand sentiment de sécurité, car aucun véhicule ne circule dans le sens inverse. Les usagers peuvent ainsi être moins prudents dans un tunnel unidirectionnel (par ex. excès de vitesse). Il ressort de l'étude autrichienne que les principales causes d'accidents étaient des erreurs de conduite et un manque d'attention.
- Le volume de trafic peut également avoir une incidence. En Autriche, le volume de circulation (par voie) est inférieur dans ces tunnels bidirectionnels, ce qui peut traduire une exposition moindre aux collisions par rapport aux tunnels unidirectionnels. Cependant, cette explication ne semble pas valable d'après l'étude française. Cette étude a révélé que le taux de collisions est plus élevé dans les tunnels unidirectionnels quel que soit le volume de circulation.

Les taux de collisions présentés plus haut représentent de manière générale les valeurs moyennes de certains ensembles de tunnels. Ces taux moyens calculés, s'ils sont considérés en tant que produit unique du traitement des données statistiques, peuvent receler d'importantes informations. Une lecture simple des valeurs moyennes ne donne aucune information sur l'influence des paramètres indiqués ci-dessus pouvant avoir une incidence significative sur les valeurs des taux de collisions. Pour pallier cela, en Autriche par exemple les taux d'incidents moyens de base (si utilisés dans l'analyse des risques) sont adaptés aux tunnels spécifiques en appliquant des facteurs de correction selon la longueur du tunnel et le volume du trafic du tunnel étudié. Bien que la longueur du tunnel et le volume du trafic soient les paramètres déterminants les plus évidents, d'autres peuvent avoir une incidence sur les taux de collisions des tunnels (voir liste au [chapitre 3.3](#)). On peut donc conclure que la comparaison des taux de collisions est statistiquement une véritable gageure en l'absence de connaissances spécifiques des conditions sous-jacentes. Malgré quelques études récentes sur le sujet, nous manquons encore de connaissances sur l'interaction des différents paramètres ayant une incidence sur les taux de collisions dans les tunnels routiers.

Pour un examen approfondi de la sécurité des tunnels routiers, des taux de collisions spécifiques peuvent être calculés et utilisés grâce à la formule ci-dessus. Les questions qui présentent un intérêt particulier en matière de sécurité des tunnels routiers peuvent être mises en exergue en ciblant des taux de collisions spécifiques. Ces taux de collisions spécifiques peuvent être liés à différentes zones du tunnel, ou bien correspondre à différentes périodes

de temps, la répartition des taux en fonction de divers groupes de conducteurs ou types de véhicules impliqués, ils peuvent faire référence à des caractéristiques géométriques spécifiques (par ex. section de différentes pentes longitudinales), à des types de collisions spécifiques, etc.

En ce qui concerne la période d'analyse, l'approche décrite dans le rapport 05.04.B 1995 « Sécurité routière dans les tunnels » de l'AIPCR [8] (*chapitre IV.1* - Commentaires généraux *IV.1.1*) est toujours valable aujourd'hui. Encore davantage que pour les pannes, la période d'analyse et le nombre d'événements constituent des facteurs essentiels pour les taux enregistrés. Un incident de plus ou de moins peut changer considérablement les taux si un tunnel en particulier est considéré.

Généralement, les calculs de taux de collision basés sur le grand nombre d'observations (des collisions) peuvent fournir les évaluations plus précises du vrai taux sous-jacent. Au contraire, les calculs basés sur les petits nombres d'observations peuvent fluctuer radicalement d'année en année, ou différer considérablement d'un tunnel à un autre, même quand les différences semblent au premier coup d'œil ne pas être significatives. Mais ces différences et leur signification sont très importantes étant donné que les calculs de taux de collision sont basés sur de petits échantillons. Nous pensons que la période d'analyse adéquate est de 5 ans minimum pour les zones urbaines (fort trafic) et de 7-10 ans pour les zones interurbaines (trafic moyen et faible) pour que les données puissent être plus significatives d'un point de vue strictement statistique.

### 3.6. APPLICATION DES DONNÉES

La disponibilité et l'accessibilité des données à jour relatives aux collisions en tunnel sont essentielles dans un système efficace de gestion de la sécurité des tunnels routiers. Ces données ont de nombreux usages et sont incorporées de différentes manières dans le système de gestion de la sécurité, en fonction de nombreux facteurs tels que la structure du système, les exigences et obligations légales et réglementaires, la disponibilité et l'exhaustivité des données, les préférences et les priorités de la société, etc. Les utilisations les plus fréquentes des données relatives aux collisions sont :

- Soutenir l'utilisation de l'analyse des risques pour les tunnels routiers : Les données relatives aux collisions et leur traitement statistique ainsi que d'autres données relatives aux incidents constituent la base de l'application des méthodologies d'analyse des risques qui permettent d'évaluer quantitativement les risques à l'intérieur d'un tunnel. Les données d'entrée principales dépendent fortement de la méthodologie d'analyse des risques et de ses exigences. Par conséquent, une méthode d'analyse quantitative des risques spécifiques requiert comme entrée les taux de collisions pour tous les types de collisions attendus et leurs conséquences supposées. Mais certaines méthodes d'analyse qualitative des risques (analyse de scénarios) ont également besoin de données relatives aux collisions pour sélectionner les scénarios les plus représentatifs et choisir des paramètres d'entrée fiables comme le temps de réponse et d'action, le temps pour parvenir à la fermeture du tunnel, etc. Le niveau d'exhaustivité des données relatives aux collisions est directement lié à la complexité, à la particularité et aux exigences de la méthodologie d'analyse des risques applicable. La fiabilité et l'incertitude des résultats de l'analyse des risques sont fortement influencées par la fiabilité et l'incertitude des données d'entrée relatives aux collisions. Lorsque ces données entrent dans l'analyse des risques, il convient de prêter tout

particulièrement attention aux conditions spécifiques dans lesquelles la base des données relatives aux collisions a été développée. Avant d'appliquer des données relatives aux collisions dans l'analyse des risques d'un tunnel en particulier, il convient de déterminer si les conditions de ce tunnel sont comparables et de procéder aux éventuels ajustements nécessaires. De plus, les taux de collisions indiqués ci-dessus représentent généralement des valeurs de « base » qui doivent être ajustées au moins en ce qui concerne les paramètres déterminants les plus significatifs (comme la longueur du tunnel et le volume du trafic, le tracé en plan, la pente du tunnel, l'existence de croisements et autres configurations souterraines complexes) afin de représenter des taux de collisions pragmatiques pour le tunnel spécifique considéré. L'étude néerlandaise « *Orientations en matière de probabilités d'incidents* » [36] par exemple traite spécifiquement de l'introduction de données relatives aux incidents dans la procédure d'analyse des risques. La fréquence des incidents constitue une valeur d'entrée importante dans la méthode néerlandaise d'analyse quantitative des risques. Pour les tunnels existants, il est possible d'utiliser les données statistiques réelles, pour les nouveaux tunnels (à construire), il convient de faire une estimation. Afin de fournir à l'analyste des risques de meilleurs données et outils aux fins de l'estimation de la fréquence des incidents, cette étude a examiné la relation (quantitative) entre d'une part les caractéristiques du trafic et de la conception du tunnel/de la route et d'autre part la fréquence des incidents. Sur la base de la littérature, de la recherche et de l'avis d'experts, des facteurs de correction de la fréquence des incidents de base ont été déterminés pour 15 facteurs tels que le nombre de voies de circulation, la largeur des voies de circulation, la longueur du tunnel, la proportion de poids lourds, l'intensité du trafic, etc. Le résultat de l'outil a été vérifié par comparaison avec la fréquence réelle des incidents dans 17 tunnels publics existants. Les résultats des outils se sont avérés rester dans la même plage que les fréquences d'incidents réelles, ce qui permet d'accorder confiance à la méthode. Lorsque les données issues du retour d'expérience relatives aux collisions interviennent dans l'analyse des risques, la projection dans le temps de ces données constitue un autre sujet. Ce sujet n'entre pas dans le périmètre du rapport. Dans d'autres pays également (par ex. en Autriche [43] et en Suisse [42]), les informations et données (comme les taux d'incidents et les paramètres déterminants) découlant des statistiques nationales ou internationales sur les incidents sont utilisées dans les modèles respectifs de risques en tunnel.

- Pour élaborer une analyse détaillée de l'occurrence et du déroulement d'événement spécifique : il est possible d'examiner les actions des différents intervenants (personnel exploitant, agent de sécurité, gestionnaire de tunnel, équipe de secours interne ou extérieure, équipe de maintenance, etc.) et l'efficacité des installations de sécurité en appliquant une telle approche basée sur l'étude de scénarios. L'objectif est d'évaluer la qualité et l'efficacité des mesures prises par les intervenants (réaction, coordination, gestion, application et applicabilité de procédures et dispositions des Plans d'intervention et de sécurité, etc.) ainsi que la pertinence et la performance des équipements, installations de sécurité et procédures utilisés pour révéler d'éventuels « *points noirs* » ou des fréquences accrues de certains types de collisions dans le tunnel considéré. Par exemple, un taux de collisions arrière accru dans un tunnel donné peut indiquer une mauvaise appréciation des distances et des mesures doivent être prises pour améliorer cette appréciation (par ex. adoption de panneaux LED). Cela pourrait être le point de départ d'une étude spécifique sur un problème identifié, par exemple pour élaborer une base de données statistique pour le tunnel en question ou un ensemble de tunnels (par ex. taux de collisions, utilisation d'équipements)
- Mise en évidence d'un comportement inapproprié au volant observé à maintes reprises

dans un tunnel, offrant ainsi une occasion d'implémenter des mesures spécifiques de supervision ou d'améliorer le programme de formation des conducteurs ou de lancer des campagnes d'information et brochures.

En conséquence, la collecte et l'évaluation des données relatives aux collisions en tunnel s'appliquent à deux niveaux :

- au niveau local (pour un tunnel donné) : cela constitue une base importante pour l'évaluation de l'acceptabilité de la sécurité réelle ou prévue du tunnel en question, en plus de soutenir le processus de prise de décisions s'agissant des améliorations générales en matière de sécurité routière pour un tunnel donné. De plus, l'évaluation des collisions survenues dans un tunnel donné peut permettre de détecter certaines défaillances de l'infrastructure, des équipements, de la signalisation, de l'intervention d'urgence, etc. et de proposer et mettre en œuvre des mesures d'amélioration adéquates.
- au niveau national ou international : cela offre une base pour un cadre de référence aidant les autorités à définir et à adopter leur politique de sécurité (concernant les tunnels en tant qu'élément spécifique du réseau routier dans son ensemble). Cela permet notamment de quantifier la fréquence et les conséquences des événements critiques pouvant mettre en danger la vie et d'évaluer l'efficacité des installations de sécurité en plus d'éventuellement comparer le niveau de sécurité d'un tunnel donné par rapport à une référence nationale ou internationale. L'évaluation des collisions à l'échelle du réseau routier permet d'obtenir les principaux taux d'incidents de différents types de tunnels, fournissant ainsi des données (statistiques nationales pour des types spécifiques de tunnels) pour l'analyse des risques de tunnels en phase de conception ou en exploitation, lorsque la base des données adéquates est suffisante. Il est ainsi possible de hiérarchiser la priorité des mesures d'amélioration ainsi que d'autres aspects pertinents (par ex. paramètres d'exploitation et/ou financiers). Cette évaluation générale peut être complétée par des analyses spécifiques étudiant par exemple l'occurrence de collisions à des endroits spécifiques du tunnel (par ex. garages) ou l'influence de types spécifiques d'équipements (comme différents systèmes d'éclairage de tunnel).

Le Rapport technique de l'AIPCR 2013R07 « *Directives relatives aux enquêtes sur les accidents routiers pour les ingénieurs routiers* » [40] contient des informations générales sur les enquêtes relatives aux incidents routiers.