



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Office fédéral des routes OFROU

DIRECTIVE

CHOCS PROVENANT DE VÉHICULES ROUTIERS CONTRE LES OUVRAGES D'ART

*Édition 2025 V1.51
ASTRA 12008*

Impressum

Auteurs/groupe de travail

Dr. Dimitrios Papastergiou	OFROU N-SSI, présidence
Walter Waldis	OFROU N-SSI
Stéphane Cuennet	OFROU I-Ouest, Soutien technique
Dr. Wolfgang Schüler	Bureau d'ingénieurs W. Schüler
Thomas P. Lang	Thomas Lang Consulting GmbH, Grindelwald
Pascal Guignard	Gruner AG, Zurich
Dr. Mark Treacy	Gruner AG, Zurich
Prof. Dr. Eugen Brühwiler	EPFL

Traduction

Services linguistiques OFROU, la version originale en allemand fait foi.

Éditeur

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

Diffusion

Le présent document peut être téléchargé gratuitement sur le site www.astra.admin.ch.

© OFROU 2025

Reproduction à usage non commercial autorisée avec indication de la source.

Avant-propos

La présente directive est destinée aux représentants des maîtres de l'ouvrage ainsi qu'à leurs ingénieurs mandatés. Elle fournit des informations détaillées quant aux divers aspects des chocs de véhicules routiers contre les structures porteuses.

La première édition de cette directive, parue en 2005, détaillait les principes nécessaires pour calculer de manière différenciée les actions déterminantes lors du choc d'un véhicule routier. Ils ont servi de base uniforme pour le dimensionnement et la vérification d'éléments d'ouvrages d'art et pour la protection de ces derniers contre les chocs provenant de poids lourds. Ces principes se trouvent aussi sous forme résumée dans les annexes informatives de la présente édition de la directive.

Celle-ci tient compte du développement de l'état de la technique. Les principales modifications qui y ont été apportées par rapport à la version de 2005 sont les suivantes :

- Élimination de divergences ou explications relatives à des écarts par rapport à la norme SIA 261 en ce qui concerne les valeurs de base Q_0 servant à définir les valeurs de calcul des forces dues au choc ;
- Élimination de contradictions avec la norme VSS 40 561 concernant la distance entre la structure porteuse et le bord de la chaussée pour laquelle il faut tenir compte des chocs de véhicules routiers ;
- Indication sous forme de tableau des valeurs de calcul des forces dues au choc Q_d pour les dispositifs de retenue de véhicules (DRV) placés avant les éléments de structure porteuse en fonction de la distance entre le DRV et la structure porteuse ;
- Remplacement du coefficient de majoration ψ_v tenant compte du volume du trafic par un coefficient de majoration tenant compte de l'accidentalité ;
- Adaptation à la norme SIA 269 et mise à jour des prescriptions relatives à la vérification par le calcul d'ouvrages existants et à l'évaluation de la proportionnalité de mesures, ainsi qu'ajout d'exemples d'application.

Ainsi, la présente édition de la directive ne contredit pas les normes valables en Suisse. Étant donné que divers facteurs d'influence sont pris en compte, tels que la distance de la structure à la route, le type et la fréquence des accidents ou encore le modèle de dispositif routier de retenue de véhicules, la directive permet de déterminer les forces dues à un choc de manière plus différenciée.

Office fédéral des routes

Jürg Röthlisberger
Directeur

Table des matières

	Impressum	2
	Avant-propos	3
1	Introduction	7
1.1	But du document	7
1.2	Champ d'application	7
1.2.1	Dérogations	8
1.2.2	Ouvrages existants	8
1.3	Destinataires	8
1.4	Entrée en vigueur et modifications	8
2	Principes	9
2.1	Généralités	9
2.1.1	Aperçu des mesures	9
2.1.2	Stratégie et marche à suivre lors de l'étude de mesures	9
2.1.3	Proportionnalité	11
2.2	Vérification de la sécurité structurale	11
2.2.1	Généralités	11
2.2.2	Actions concomitantes	11
2.2.3	Éléments de construction voisins	11
2.3	Dispositif routier de retenue de véhicules	13
2.3.1	Glissières de sécurité	13
2.3.2	Parapets de sécurité	13
2.3.3	Atténuateurs de choc	14
2.4	Mesures organisationnelles	14
3	Actions	15
3.1	Situation de départ	15
3.2	Aperçu des types de choc	15
3.3	Valeurs de base de la force due au choc	15
3.4	Choc de véhicule (châssis de véhicule)	16
3.4.1	Aperçu et notations	16
3.4.2	Valeur de dimensionnement de la force due au choc	16
3.5	Choc de la carrosserie y.c. équipements et du chargement	18
3.5.1	Aperçu et notations	18
3.5.2	Choc contre pilier et paroi	19
3.5.3	Choc contre la superstructure	21
3.6	Position, direction, hauteur et surface d'application de la force	22
4	Ouvrages existants	25
4.1	Vérification par le calcul	25
4.2	Mesures	25
4.3	Risque de choc	26
4.4	Proportionnalité des mesures	26
	Annexes	27
	Glossaire	44
	Bibliographie	47
	Liste des modifications	49

1 Introduction

1.1 But du document

La présente directive décrit les actions sur les structures porteuses provoquées par le choc de véhicules routiers.

Ces actions sont prises en compte en tant que forces dues à un choc et incluent déjà des coefficients dynamiques. Les forces dues à un choc peuvent dès lors être utilisées en remplacement comme des charges statiques.

Lors du choc d'un véhicule routier contre une structure porteuse, une partie importante de l'énergie cinétique est absorbée par la déformation du véhicule, d'où l'appellation de « choc mou » dans ce cas. Les chocs durs ne peuvent être décrits à l'aide de charges statiques de remplacement. Ils ne sont pas traités dans cette directive (voir annexe I).

1.2 Champ d'application

Les chocs de véhicules routiers doivent être pris en compte pour les autoroutes, les semi-autoroutes et les routes hors localité lorsque la structure porteuse ou ses éléments de construction se situent dans les distances indiquées aux figures 1.1 ou 1.2.

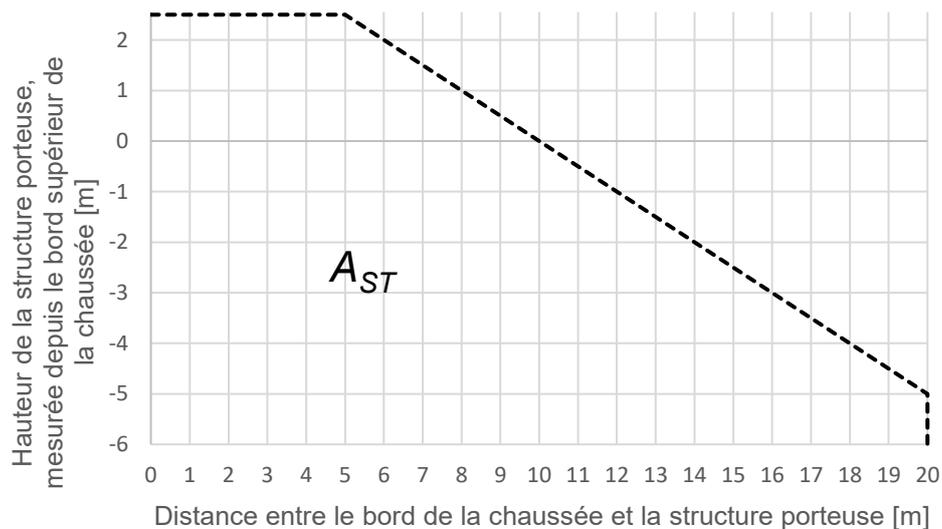


Fig. 1.1 Distances A_{ST} entre le bord de la chaussée et la structure porteuse (autoroutes et semi-autoroutes).

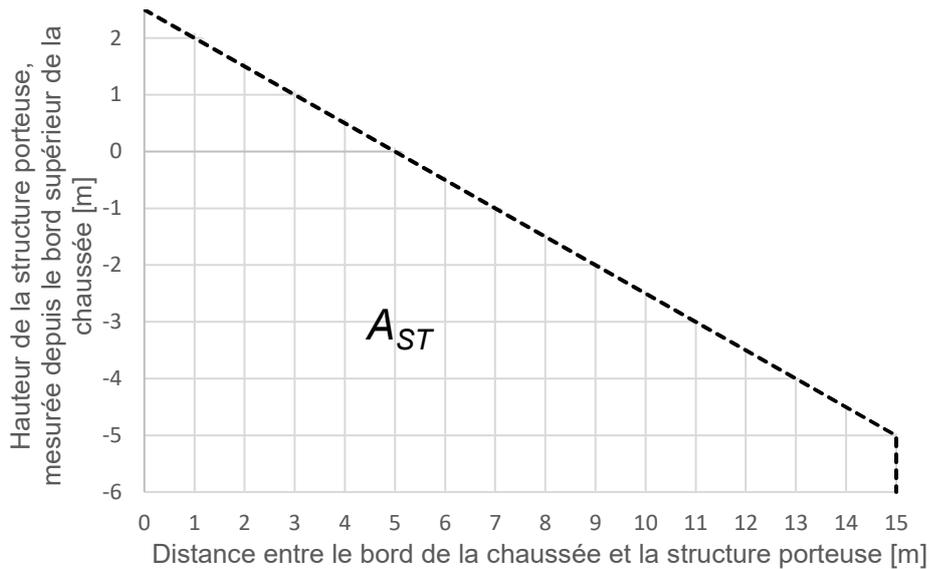


Fig. 1.2 Distances A_{ST} entre le bord de la chaussée et la structure porteuse (routes hors localité).

La distance A_{ST} est mesurée perpendiculairement à l'axe de la chaussée. Le point de référence est le bord de la chaussée ou, pour les routes comportant une bande d'arrêt d'urgence, le bord extérieur de la bande d'arrêt d'urgence.

Les chocs de véhicules routiers doivent être pris en compte pour les routes à l'intérieur des localités lorsque la structure porteuse ou ses éléments de construction se trouve à moins de 3 m du bord de la chaussée.

Dans la présente directive, les forces dues au choc concernent les chocs de véhicules lourds (poids lourds, PL). Les forces dues au choc de véhicules d'un poids total maximal inférieur à 3500 kg sont en général nettement plus petites. Elles doivent être établies selon la norme SIA 261 [10].

1.2.1 Dérogations

Lorsque des conditions particulières le justifient, des dérogations à cette directive sont autorisées. Elles doivent être justifiées par des essais étendus et documentés.

1.2.2 Ouvrages existants

La présente directive s'applique au dimensionnement des nouveaux ouvrages. Elle sera également observée lors de l'examen et de la remise en état des ouvrages existants.

La directive ainsi que la norme SIA 261 [10] décrivent entre autres également les actions provoquées par le choc d'éléments d'un PL et de son chargement. Des critères pour déterminer la sécurité structurale d'ouvrages existants, en relation avec les actions provoquées par le choc de PL, sont donnés au chapitre 4.

1.3 Destinataires

Les destinataires de cette directive sont les maîtres d'ouvrage, les concepteurs et les exploitants d'ouvrages d'art de toutes les classes situés sur les routes nationales.

1.4 Entrée en vigueur et modifications

Ce document est entré en vigueur le 01.01.2005. La liste des modifications peut être consultée à la page 49.

2 Principes

2.1 Généralités

2.1.1 Aperçu des mesures

La Fig. 2.1 offre un aperçu des mesures applicables dans le cas d'une mise en danger causée par le choc d'un véhicule. On distingue généralement les mesures pour protéger la structure porteuse et les mesures pour protéger les occupants du véhicule.

La présente directive se concentre sur les mesures **pour protéger la structure porteuse** et fournit dès lors en premier lieu les bases de dimensionnement pour les chocs. Dans ce contexte, les effets des glissières et des parapets de sécurité sont toutefois aussi abordés.

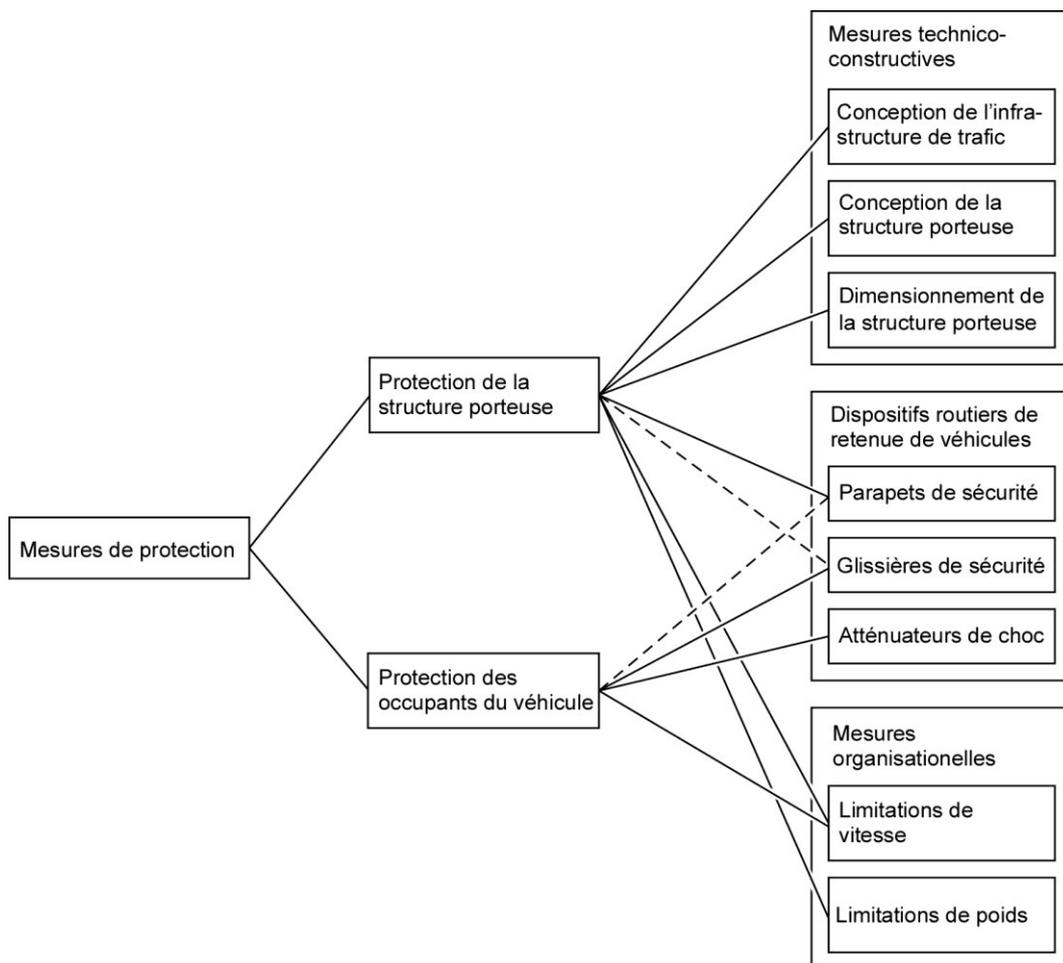


Fig. 2.1 Aperçu des mesures contre le choc d'un véhicule.

2.1.2 Stratégie et marche à suivre lors de l'étude de mesures

Selon la norme SIA 260, Bases pour l'élaboration des projets de structures porteuses [9], les stratégies et les mesures suivantes doivent être examinées pour prévenir la défaillance d'une structure porteuse :

- L'empêchement ou la réduction du risque**
 auquel on parvient par une conception appropriée de la structure porteuse, par exemple en plaçant ses éléments de construction à une grande distance de la chaussée. La mise en place de systèmes de retenue, par ex. des parapets, ou de mesures organisationnelles comme des limitations de trafic peut également empêcher ou

diminuer le risque.

- **La prévision de mesures de protection**

comprend la mise en œuvre de dispositifs de protection passifs comme des parapets ou des glissières de sécurité. Les atténuateurs de choc servent à protéger les occupants du véhicule. Ils ne protègent pas les structures porteuses.

- **Le choix de systèmes structuraux peu sensibles aux risques considérés ou pouvant supporter la défaillance d'un élément sans subir une défaillance totale**

consiste en des mesures au niveau de la conception. Il s'agit ainsi entre autres de renoncer à des éléments de construction sensibles aux chocs (par ex., des piliers élancés) et de choisir des concepts de structure porteuse où la défaillance d'un élément porteur menacé ne conduit pas à une défaillance complète de l'ouvrage.

Dans tous les cas, il faut examiner les concepts de structure porteuse ainsi que les mesures de protection qui permettent d'empêcher un choc selon la Fig. 2.2. S'il n'est pas possible d'empêcher le risque de choc, la structure porteuse doit être dimensionnée au choc ou être conçue de telle sorte à ce que la défaillance de l'élément concerné ne mette pas en péril la sécurité structurale de l'ouvrage.

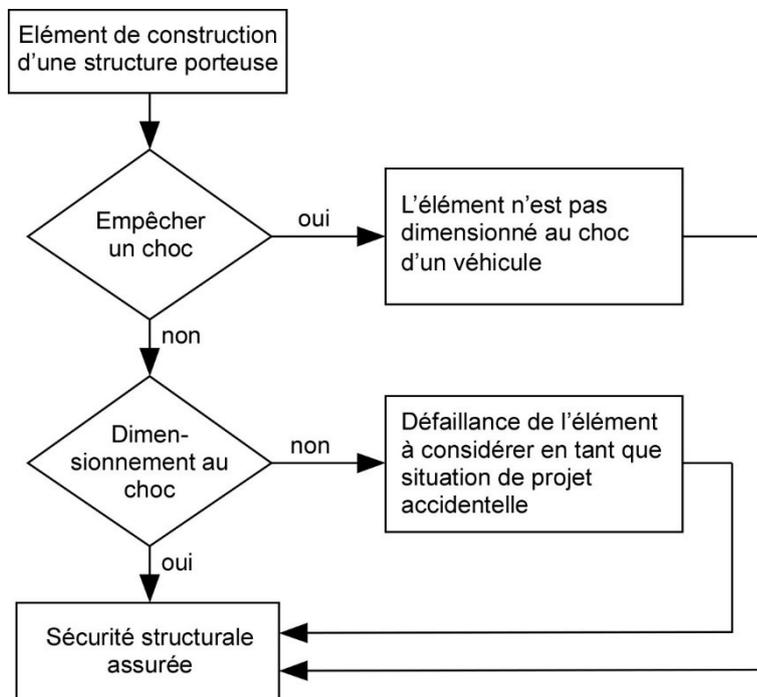


Fig. 2.2 Principes de la marche à suivre lors de l'élaboration d'un projet.

2.1.3 Proportionnalité

Les mesures propres à assurer la sécurité structurale lors d'un risque de choc doivent toujours être examinées selon le principe de proportionnalité. Outre les aspects architecturaux et l'insertion dans l'espace routier, les risques et les critères économiques sont donc aussi déterminants. Le principe de proportionnalité a une importance particulière pour les ouvrages existants (voir annexe VI).

2.2 Vérification de la sécurité structurale

2.2.1 Généralités

Selon les limites données au chapitre 3, les forces dues à un choc doivent toujours être admises par principe comme ayant la position et la direction les plus défavorables pour la structure porteuse.

Il peut être avantageux de dimensionner les éléments de construction au choc en employant la méthode cinématique de la théorie de la plasticité, afin d'utiliser la pleine capacité de l'élément de construction, resp. de la structure porteuse.

2.2.2 Actions concomitantes

Selon la norme SIA 260, chiffre 4.4.3.6 [9], il convient de décider pour la situation de projet Choc, selon le cas, si une action variable concomitante de valeur fréquente $\psi_{1i} Q_{ki}$ doit encore être considérée en plus de l'action accidentelle prépondérante A_d , resp. Q_d , et des actions concomitantes permanentes et quasi permanentes.

Fig. 2.3 Trois exemples sont représentés dans la Fig. 2.3, dans lesquels une action variable concomitante de valeur fréquente doit être considérée pour la situation de projet Choc. Dans le cas d'une console (Fig. 2.3a) ou d'une pile de pont (Fig. 2.3b), les charges résultantes du trafic routier sont représentées par le modèle de charge 1, selon la norme SIA 261 [10], en tant qu'action variable concomitante à considérer. Dans le cas de piliers de galerie (Fig. 2.3c), il faut considérer, le cas échéant, une charge de neige de valeur fréquente comme action variable concomitante.

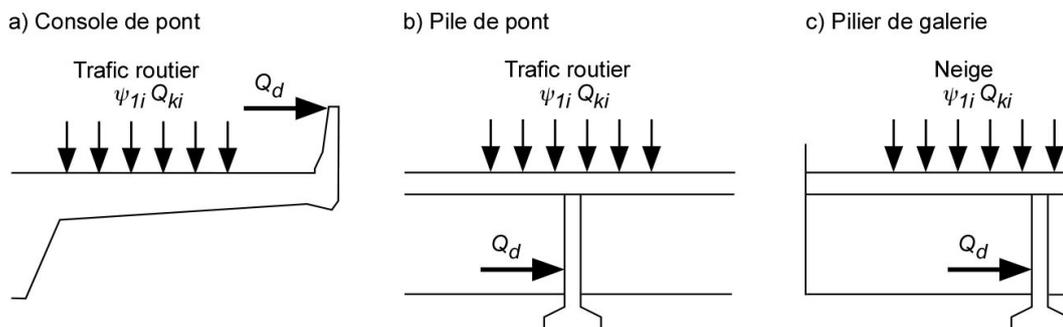


Fig. 2.3 Exemples de situations de projet Choc dans lesquelles des actions variables concomitantes de valeur fréquente doivent être considérées.

2.2.3 Éléments de construction voisins

Des vérifications de la sécurité structurale ne doivent pas seulement être effectuées pour l'élément de construction directement touché par un choc, mais aussi par principe pour les éléments voisins. Il s'agit alors de vérifier que ces éléments résistent également aux forces et moments produits par le choc.

La Fig. 2.4 montre l'exemple a) d'un parapet encastré de manière rigide au bord d'un pont. La vérification de la sécurité structurale de la console de pont voisine doit porter dans ce cas sur les forces V_d et moments M_d produits par la force due au choc $Q_{d,y}$ dans la section de contrôle.

Lors d'un choc contre un élément de construction en acier, en comparaison peu rigide comme la glissière représentée dans l'exemple b), ce sont les forces et moments maximaux transmis par le poteau qui sont déterminants lors de la vérification de la sécurité structurale de la console du pont. Les valeurs de calcul V_d et M_d de ces actions sont calculées à partir de la résistance plastique à la flexion $M_{R,pl}$ des poteaux en acier. Lors d'une déformation plastique, la résistance à la flexion s'obtient avec le moment de résistance plastique W_{pl} et la résistance à la traction f_u donnée dans la norme SIA 263 [12].

Le moment maximal M_d transmis au bord du pont par le poteau d'une glissière et qui doit être employé comme valeur de calcul est égal à 1,4 fois la résistance plastique à la flexion $M_{R,pl}$ de ce même poteau. Le facteur 1,4 tient compte de la différence entre les fractiles 5 % déterminants pour la résistance et les fractiles 95 % déterminants pour les actions.

L'effort tranchant V_d correspondant au moment agissant M_d se calcule avec la hauteur déterminante h_Q pour la déformation du poteau en acier. On peut ainsi admettre que la force due au choc agit au niveau de la hauteur du profil de la glissière, resp. au milieu dans le cas de glissières à plusieurs profils.

La fig. 2.4 illustre schématiquement la vérification requise de la sécurité structurale pour le cas d'un parapet de sécurité et d'une glissière de sécurité métallique. Les forces exactes, leur direction et surface d'impact sont à déterminer selon le chap. 3.6.

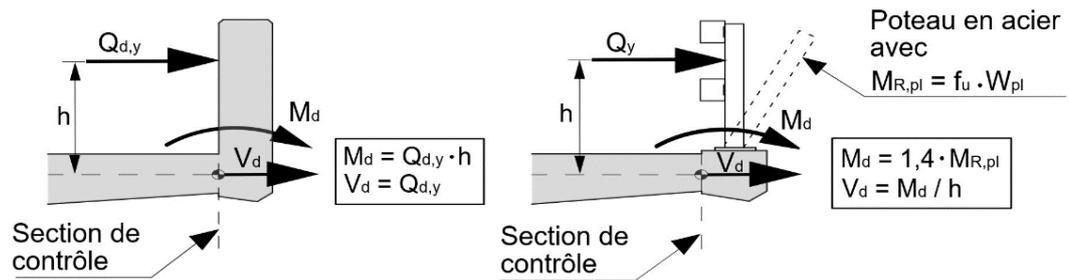


Fig. 2.4 Valeurs de calcul déterminantes des moments M_d et forces V_d agissant lors de la vérification de la sécurité structurale des éléments de construction voisins (représentation schématique).

Les tampons ou les fixations scellées des poteaux des glissières doivent être normalement dimensionnés de manière à ne pas céder lorsque le poteau plie. L'action maximale possible sur la tête de console lors d'un choc ne dépend ainsi que de la résistance plastique à la flexion du poteau et non de la résistance ultime de ses fixations. Afin de garantir la distribution de la force dans le dispositif de retenue de véhicules (DRV), la semelle en béton doit mesurer au moins 16 m selon le chap. 5.1 de la directive ASTRA 12004, partie 4 [2].

Dans le cas d'ouvrages existants, si la vérification de la sécurité structurale n'est pas possible avec l'hypothèse habituelle de propagation des forces jusqu'à la section de contrôle sous un angle de 45° , on peut aussi effectuer la vérification avec d'autres modèles, par exemple celui se basant sur la méthode cinématique de la théorie de la plasticité. Dans le cas d'un bord de pont avec parapet de sécurité tel que représenté à la Fig. 2.4a), le parapet peut être considéré comme un élément transmettant la torsion ou comme une dalle, une coque ou une membrane (voir Fig. 2.5).

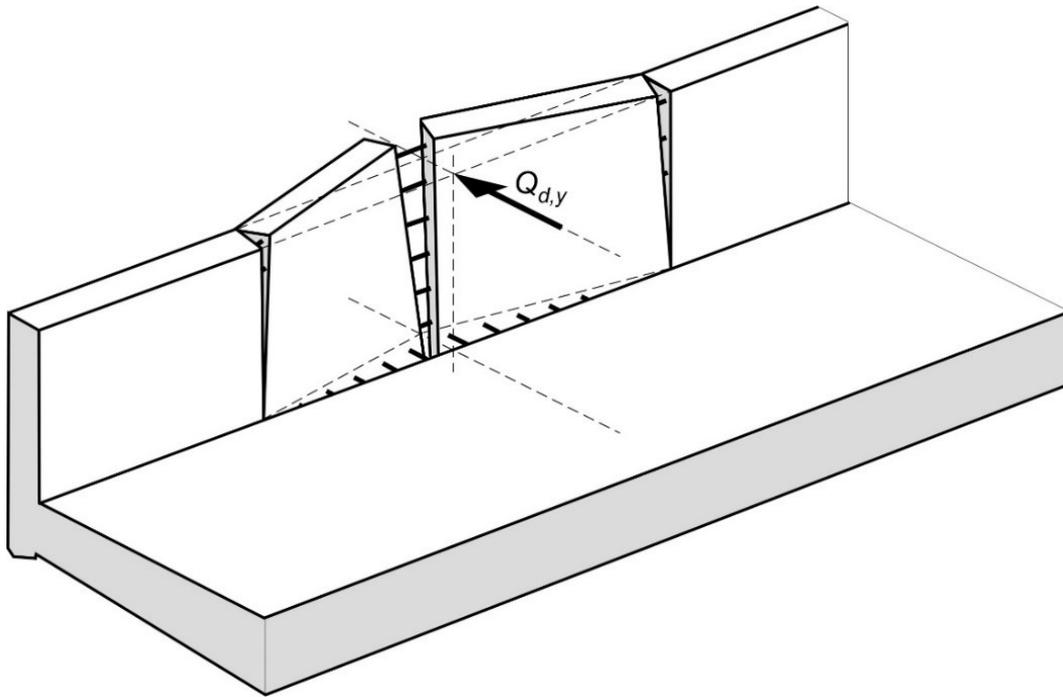


Fig. 2.5 Modèle de résistance « dalle, coque ou membrane » utilisé pour la vérification de la sécurité structurale du bord d'un pont avec parapet.

2.3 Dispositif routier de retenue de véhicules

2.3.1 Glissières de sécurité

Les glissières de sécurité sont des dispositifs prévus pour protéger les tiers et les occupants d'un véhicule. Par définition, il s'agit de dispositifs de sécurité (dispositifs routiers de retenue de véhicules, DRV) souples qui ne sont pas soumis à la norme SIA 261 [10], respectivement à la directive 12008. Il s'agit ici d'un produit de construction (système 1 selon l'ordonnance sur les produits de construction OPCo). La procédure d'admission est réglée dans la norme SN EN 1317-5 [5]. L'ancrage des systèmes lui-même (par ex. l'armature de liaison de l'ouvrage de construction) fait partie intégrante des premiers contrôles (tests selon la norme SN EN 1317-2 [4]).

Selon leur construction, elles permettent cependant aussi de retenir totalement ou partiellement, resp. de dévier des véhicules lourds sortant de la route. Les glissières de sécurité sont donc également des dispositifs qui protègent les structures porteuses. Dans ce cas, leur efficacité dépend de leur capacité de retenue ainsi que de leur distance à la structure. L'utilisation de glissières permet de réduire la force due au choc, conformément aux chiffres 3.4.2 et 3.5.2 de la présente directive.

2.3.2 Parapets de sécurité

Les parapets de sécurité en béton sont des dispositifs routiers qui offrent en général une grande capacité de retenue des véhicules. Dans la plupart des cas, il est judicieux de les utiliser pour protéger la structure porteuse.

Si les parapets en béton font partie de la structure porteuse ou y sont liés, ils doivent être dimensionnés au choc. Des exemples sont illustrés à la Fig. 2.6. Les forces déterminantes dues au choc sont traitées au chapitre 3.

Dans des cas exceptionnels, il est possible d'utiliser des DRV en béton préfabriqué, à condition que la largeur de fonctionnement du DRV testé et certifié selon la norme EN 1317-2 [4] soit égale ou inférieure à la distance entre la face avant du DRV et la face avant de la structure porteuse.

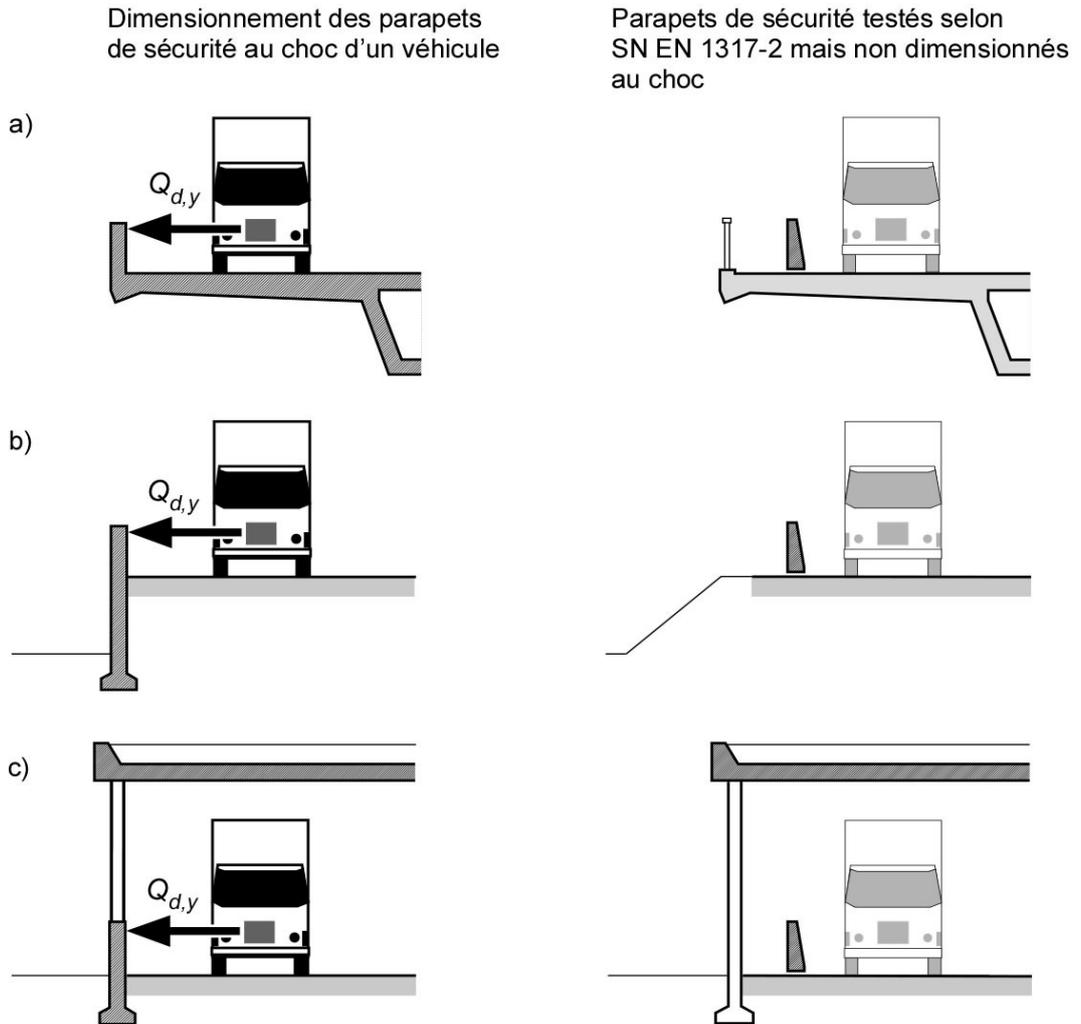


Fig. 2.6 Exemples d'utilisation de parapets de sécurité comme élément de la structure porteuse et comme dispositif routier de retenue de véhicules.

2.3.3 Atténuateurs de choc

Des systèmes de retenue particuliers peuvent être utilisés dans le cas d'éléments de construction soumis à un risque, comme des piliers isolés. Puisqu'il s'agit d'habitude de dispositifs passifs utilisés pour protéger les occupants des voitures de tourisme, les atténuateurs de choc ne conviennent pas, par principe, pour protéger une structure. Ils n'ont aucun effet dans le cas du choc d'un véhicule de transport lourd.

Si des atténuateurs de choc spécialement conçus pour le choc de poids lourds sont prévus comme protection de la structure porteuse, il faut vérifier leur efficacité et leur fonction. Ce faisant, il faut respecter le principe de proportionnalité. En outre, il faut considérer en particulier l'accroissement du risque pour les occupants des voitures de tourisme lors de l'utilisation de tels dispositifs de protection.

2.4 Mesures organisationnelles

Il faut examiner les mesures organisationnelles qui diminuent la probabilité et/ou les effets d'un choc. On peut citer, à titre d'exemple, les mesures d'organisation du trafic comme les limitations de poids ou de vitesse.

3 Actions

3.1 Situation de départ

Les forces dues au choc définies pour le dimensionnement des structures porteuses se fondent sur les valeurs de base de la norme SIA 261 [10] ; si des DRV sont placés devant la structure porteuse, elles se fondent sur leurs caractéristiques de performance telles que définies dans la norme EN 1317-2 [4].

3.2 Aperçu des types de choc

Le choc d'un véhicule lourd peut se dérouler de différentes manières. Fig. 3.1 En fonction de la structure porteuse (pilier, paroi, superstructure) et du véhicule provoquant le choc (châssis, carrosserie y.c. équipements, chargement), on distingue les types de choc suivants illustrés à la Fig. 3.1.

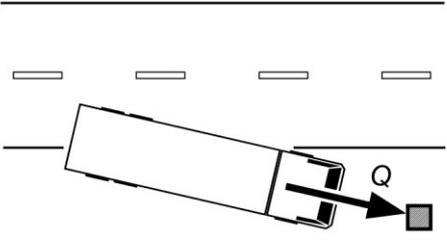
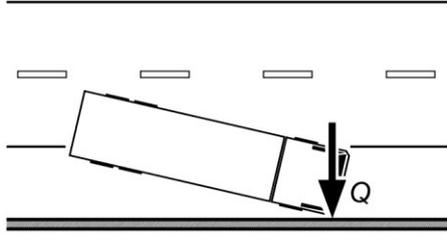
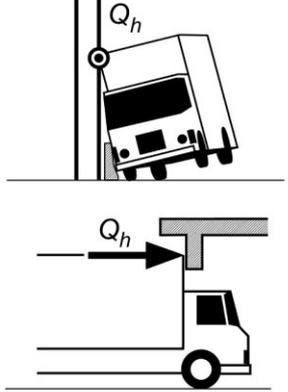
	Choc frontal contre pilier et superstructure	Choc latéral contre paroi et parapet de sécurité
Choc du véhicule (châssis du véhicule)		
Choc de la carrosserie du véhicule et du chargement		

Fig. 3.1 Aperçu des types de choc.

3.3 Valeurs de base de la force due au choc

Les valeurs de base Q_0 des forces dues au choc (correspondant aux valeurs de base Q_{0d} dans la norme SIA 261 [10], tableau 21) pour les autoroutes, les semi-autoroutes et les routes hors localité, sont les suivantes.

Tab. 3.1 Valeurs de base Q_0 servant à définir les valeurs de dimensionnement des forces dues au choc pour les autoroutes, les semi-autoroutes et les routes hors localité.

	Choc frontal contre pilier $Q_{0,\alpha}$ [kN]	Choc latéral contre paroi et parapet de sécurité $Q_{0,y}$ [kN]
Autoroutes/semi-autoroutes	1000	500
Routes hors localités	1000	500

Les valeurs de dimensionnement sont déterminées conformément aux chiffres 3.4.2 et 3.5.2.

Pour les parapets de sécurité en béton armé, les forces indiquées dans le Tab. 3.1 doivent être appliquées.

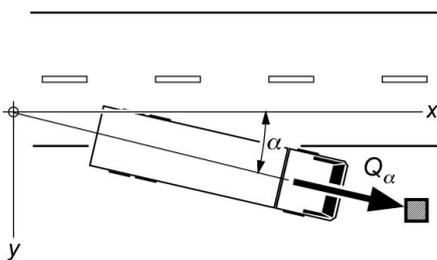
3.4 Choc de véhicule (châssis de véhicule)

3.4.1 Aperçu et notations

Le choc d'un véhicule lourd contre un élément de structure porteuse peut être frontal contre un pilier ou latéral contre une paroi.

- Le **choc frontal contre un pilier** se produit sous un angle α par rapport au sens normal de circulation, resp. par rapport à l'axe de la chaussée (axe x). La force due au choc est appelée Q_α (Fig. 3.2a).
- Lors d'un **choc latéral contre une paroi**, c'est la force due au choc agissant selon l'axe y perpendiculaire à l'axe de la route, qui est déterminante. Elle est appelée Q_y (Fig. 3.2b). Les forces agissant sur la structure porteuse selon l'axe x sont principalement dues au frottement entre le véhicule et la paroi. Elles sont faibles en comparaison et peuvent être négligées.

a) Choc frontal contre pilier



b) Choc latéral contre paroi

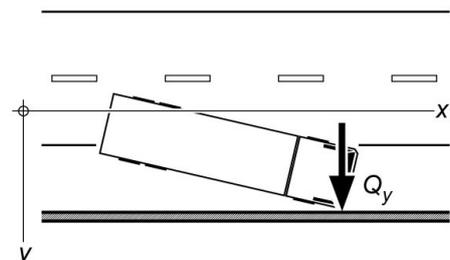


Fig. 3.2 Aperçu des chocs de véhicule (châssis du véhicule).

3.4.2 Valeur de dimensionnement de la force due au choc

Les actions dues au choc d'un véhicule doivent être traitées comme des actions accidentelles. Les forces dues au choc indiquées ci-après doivent dès lors être considérées comme des valeurs de dimensionnement.

Autoroutes, semi-autoroutes et routes hors localité

Les structures porteuses en bord de chaussée doivent généralement être protégées par un dispositif routier de retenue de véhicules, conformément à la norme VSS 40 561 [18].

D'entente avec le maître d'ouvrage ou les autorités de surveillance, les valeurs de dimensionnement Q_α du Tab. 3.2 doivent servir de base pour les calculs et les vérifications statiques, en particulier ceux des structures porteuses existantes.

Les formules suivantes s'appliquent :

Choc frontal contre pilier $Q_{d,x} = Q_d$ (1)

Choc latéral contre paroi $Q_{d,y} = \frac{Q_d}{2}$ (2)

Tab. 3.2 Valeurs de dimensionnement Q_d , [kN] en fonction de la distance¹⁾ entre la face arrière²⁾ du DRV et la face avant de la structure porteuse.

	A_{Qd} ¹⁾ [m]	DRV				
		6611 PS ⁴⁾	6611 PE ⁵⁾	6811 PE ⁵⁾	9211 ³⁾	9311 ³⁾
Valeurs de calcul Q_d [kN]	0,0 m	785	840	660	0	0
	0,1 m	710	780	555	0	0
	0,2 m	630	725	450	0	0
	0,3 m	550	665	340	0	0
	0,4 m	470	605	235	0	0
	0,5 m	390	550	130	0	0
	0,6 m	310	490	20	0	0
	0,7 m	230	430	0	0	0
	0,8 m	155	370	0	0	0
	0,9 m	75	310	0	0	0
	1,0 m	0	255	0	0	0
	1,1 m	0	195	0	0	0
	1,2 m	0	135	0	0	0
	1,3 m	0	75	0	0	0
	1,4 m	0	20	0	0	0
1,5 m	0	0	0	0	0	

1) La distance à l'objet A_{Qd} sera arrondie à une décimale.

2) Face arrière et non face avant.

3) Parapet de sécurité dimensionné au choc conformément au tableau 3.1.

4) PS = système muni d'un poteau avec semelle sur fondation continue, conformément à la directive ASTRA 11005. [3]

5) PE = système muni d'un poteau enfoncé, conformément à la directive ASTRA 11005. [3]

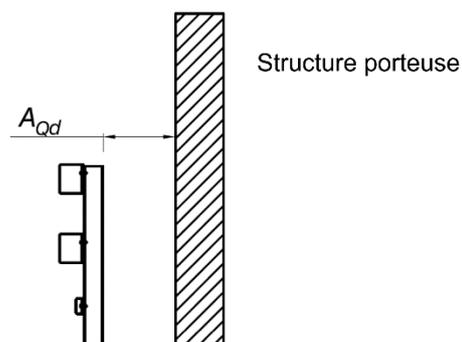


Fig. 3.3 Mesure de la distance pour déterminer la valeur de calcul Q_d .

Les valeurs indiquées au Tab. 3.2 doivent être augmentées de 30 % si la fréquence d'accident impliquant des véhicules lourds (PL) remplit le critère suivant :

Deux accidents ou plus ayant impliqué des PL ($0,4 A_{PL}/an$) sur une période de 5 ans, dans un rayon de :

- 500 m par rapport à la structure porteuse, pour chaque direction (autoroutes et semi-autoroutes)
- 200 m par rapport à la structure porteuse, par tronçon (routes hors localité).

Pour déterminer le nombre d'accidents significatifs, on prendra en considération tous les dérapages et toutes les pertes de maîtrise (groupe de types d'accident 0), ainsi que les types d'accident 1 à 9 selon le procès-verbal d'accident (PVA) pour les types de véhicules

dont le code FAZ est 20, 35, 37 ou 38. Les données des accidents peuvent être demandées par courriel à unfalldaten@astra.admin.ch.

La taille minimale des zones d'approches et la longueur minimale du DRV doivent être conformes à la directive ASTRA 11005 [3] et à la norme VSS 40 561 [18].

Routes à l'intérieur des localités

Pour les routes à l'intérieur des localités avec une vitesse de trafic de 50, resp. 60 km/h, il faut tenir compte du choc du véhicule au moyen des valeurs de dimensionnement Q_d suivantes, au cas où la structure porteuse se trouve à moins de 3 m du bord de la chaussée ($s \leq 3,0$ m):

$$\text{Choc frontal contre pilier} \quad Q_{d,\alpha} = 500 \text{ kN} \quad (3)$$

$$\text{Choc latéral contre paroi} \quad Q_{d,y} = 250 \text{ kN} \quad (4)$$

Ces valeurs sont tirées de [7].

Ces valeurs de calcul doivent être considérées comme indicatives. Les particularités locales comme l'exposition au risque de la structure porteuse, les talus, les virages et les éventuels dispositifs routiers de retenue de véhicules ainsi que la densité du trafic, la part du trafic lourd et la fréquence des accidents, peuvent être considérées de la manière suivante :

- Si la structure porteuse ne court aucun risque de choc, il n'y a pas besoin d'en tenir compte.
- En cas de léger risque pour la structure porteuse, on peut réduire la valeur de calcul de 50 % au maximum.
- Si le risque couru par la structure porteuse est jugé élevé à cause de la situation locale, il faut examiner s'il ne faudrait pas augmenter la valeur de calcul indiquée, jusqu'à 50 % au maximum.

3.5 Choc de la carrosserie y.c. équipements et du chargement

3.5.1 Aperçu et notations

Le choc de la carrosserie y.c. équipements ou du chargement contre un élément de structure porteuse peut se produire frontalement contre un pilier, latéralement contre une paroi ou frontalement contre une superstructure. L'action de la force a donc lieu à une plus grande hauteur que lors du choc d'un châssis de véhicule. C'est pourquoi la force due au choc est appelée Q_h .

- Le **choc frontal contre un pilier** se produit sous un angle α par rapport au sens normal de circulation, resp. par rapport à l'axe de la chaussée (axe x). La force due au choc est appelée $Q_{h,\alpha}$ (fig. 3.4a).
- Lors d'un **choc latéral contre une paroi**, c'est la force due au choc qui agit selon l'axe y perpendiculaire à l'axe de la route qui est déterminante. Elle est appelée $Q_{h,y}$ (fig. 3.4b). Les forces agissant sur la structure porteuse selon l'axe x sont principalement dues au frottement entre le véhicule et la paroi. Elles sont faibles en comparaison et peuvent être négligées.
- Le **choc frontal contre une superstructure** se produit dans le sens du trafic, resp. selon l'axe de la chaussée (axe x). La force due au choc est appelée $Q_{h,x}$ (fig. 3.4c).

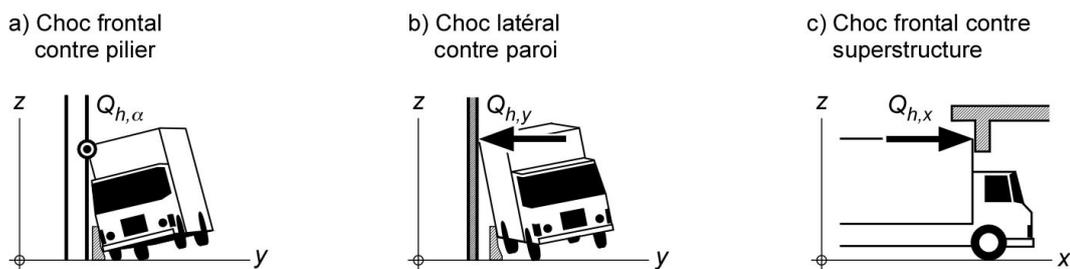


Fig. 3.4 Aperçu des chocs de la carrosserie y.c. équipements et du chargement.

3.5.2 Choc contre pilier et paroi

Le choc de la carrosserie y.c. équipements et du chargement contre les piliers et les parois doit uniquement être vérifié si la structure porteuse est protégée par un DRV. Si ce n'est pas le cas, le choc du véhicule (châssis de véhicule) est déterminant.

- **Autoroutes, semi-autoroutes et routes hors localité**

D'entente avec le maître d'ouvrage ou les autorités de surveillance, les valeurs de dimensionnement Q_{hd} du Tab. 3.3 doivent servir de base pour les calculs et vérifications statiques, en particulier ceux des structures porteuses existantes.

Les formules suivantes s'appliquent :

Choc frontal contre un pilier $Q_{hd,x} = Q_{hd}$ (5)

Choc latéral contre une paroi $Q_{hd,y} = Q_{hd}$ (6)

Tab. 3.3 Valeurs de dimensionnement Q_{hd} , [kN] en fonction de la distance 1) entre le DRV et la structure porteuse.

	$A_{Qhd}^{1)}$ [m]	DRV				
		6611 PS ³⁾	6611 PE ⁴⁾	6811 PE ⁴⁾	9211 ²⁾	9311 ²⁾
Valeurs de calcul Q_{hd} [kN]	0,0 m	280	290	235	333	333
	0,1 m	260	275	205	250	333
	0,2 m	240	260	175	170	333
	0,3 m	220	245	144	85	250
	0,4 m	200	230	115	0	170
	0,5 m	180	210	85	0	85
	0,6 m	160	195	55	0	0
	0,7 m	145	180	25	0	0
	0,8 m	125	165	0	0	0
	0,9 m	105	150	0	0	0
	1,0 m	85	130	0	0	0
	1,1 m	65	115	0	0	0
	1,2 m	45	100	0	0	0
	1,3 m	25	85	0	0	0
	1,4 m	5	70	0	0	0
	1,5 m	0	50	0	0	0
	1,6 m	0	35	0	0	0
	1,7 m	0	20	0	0	0
	1,8 m	0	5	0	0	0
1,9 m	0	0	0	0	0	

Fig. 3.6 ¹⁾ Pour les systèmes 6611 PS, 6611 PE et 6811 PE, la distance significative A_{Qhd} est mesurée depuis la face arrière du système jusqu'à la face avant de la structure porteuse (voir Fig. 3.5). Pour les systèmes 9211 et 9311, elle est mesurée depuis la face avant du système jusqu'à la face avant de la structure porteuse (voir fig. 3.6). La distance à l'objet A_{Qhd} sera arrondie à une décimale.

²⁾ Parapet de sécurité dimensionné au choc conformément au Tab. 3.1.

³⁾ PS = système muni d'un poteau avec semelle sur fondation continue, conformément à la directive ASTRA 11005 [3].

⁴⁾ PE = système muni d'un poteau enfoncé, conformément à la directive ASTRA 11005 [3].

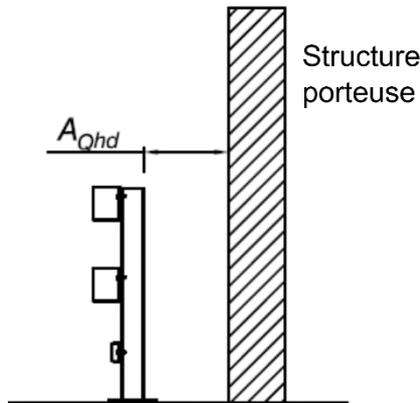


Fig. 3.5 Mesure de la distance pour déterminer la valeur de calcul Q_{nd} (systèmes 6611 PS, 6611 PE et 6811 PE).

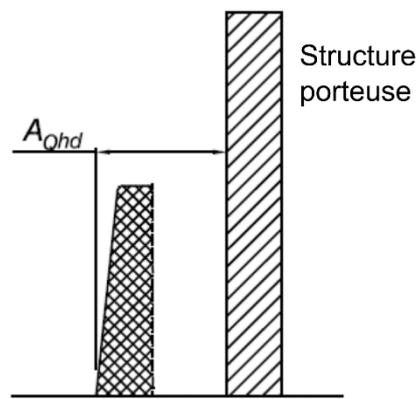


Fig. 3.6 Mesure de la distance pour déterminer la valeur de calcul Q_{nd} (systèmes 9211 et 9311).

Les valeurs indiquées au Tab. 3.3 doivent être augmentées de 30 % si la fréquence d'accident impliquant des véhicules lourds (PL) remplit le critère suivant :

Deux accidents ou plus en l'espace de cinq ans ayant impliqué des PL ($0,4 A_{PL}/an$), dans un rayon de :

- 500 m par rapport à la structure porteuse, pour chaque direction (autoroutes et semi-autoroutes)
- 200 m par rapport à la structure porteuse, par tronçon (routes hors localité).

Pour déterminer le nombre d'accidents significatifs, on prendra en considération tous les dérapages et toutes les pertes de maîtrise (groupes de types d'accident 0), ainsi que les types d'accident 1 à 9 selon le procès-verbal d'accident (PVA) pour les types de véhicules dont le code FAZ est 20, 35, 37 ou 38. Les données des accidents peuvent être demandées par e-mail à unfalldaten@astra.admin.ch.

La taille minimale des zones d'approches et la longueur minimale du DRV doivent être conformes à la directive ASTRA 11005 [3] et à la norme VSS 40 561 [18].

• **Routes à l'intérieur des localités**

Pour les routes à l'intérieur des localités avec une vitesse de trafic de 50, resp. 60 km/h, il faut tenir compte du choc des éléments du véhicule et de son chargement au moyen des **valeurs de calcul Q_{dh}** suivantes, au cas où la structure porteuse se trouve à moins de 3 m du bord de la chaussée ($s \leq 3,0$ m) :

Choc frontal contre pilier $Q_{hd,x} = 150 \text{ kN}$ (7)

Choc latéral contre paroi $Q_{hd,y} = 60 \text{ kN}$ (8)

Ces valeurs de calcul doivent être considérées comme indicatives. Les particularités locales comme l'exposition au risque de la structure porteuse, les talus, les virages et les éventuels dispositifs routiers de retenue de véhicules ainsi que la densité du trafic, la part du trafic lourd et la fréquence des accidents, peuvent être considérées de la manière suivante :

- Si la structure porteuse ne court aucun risque de choc, il n'y a pas besoin d'en tenir compte.
- En cas de léger risque pour la structure porteuse, on peut réduire la valeur de calcul de 50 % au maximum.
- Si le risque couru par la structure porteuse est jugé élevé à cause de la situation locale, il faut examiner s'il ne faudrait pas augmenter la valeur de calcul indiquée, jusqu'à 50 % au maximum.

3.5.3 Choc contre la superstructure

Pour tenir compte du cas où le chargement d'un véhicule lourd est trop haut ou qu'un des équipements du véhicule (par ex. benne, grue) n'est pas à sa position appropriée (voir annexe V), l'action d'une force due au choc doit être prise en compte pour les superstructures de ponts, spécialement pour leurs poutres longitudinales, et pour les portails de tunnels.

- **Autoroutes, semi-autoroutes et routes hors localité**

Pour les autoroutes, les semi-autoroutes ainsi que les routes hors localités avec une vitesse de trafic $v = 80$ km/h, la **valeur de dimensionnement** $Q_{hd,x}$ pour le choc frontal des éléments d'un véhicule et de son chargement contre une superstructure est déterminée comme suit, à partir des valeurs de base $Q_{o,\alpha}$ du Tab. 3.1 :

$$Q_{hd,x} = \psi_h \cdot \frac{Q_{o,\alpha}}{2} \quad (9)$$

$Q_{o,\alpha}$	valeur de base pour définir la valeur de calcul de la force due au choc [kN], Tab. 3.1
ψ_h	coefficient de réduction pour tenir compte du gabarit de hauteur libre au-dessus de la chaussée

- **Routes à l'intérieur des localités**

Pour les routes à l'intérieur des localités avec une vitesse de trafic de 50, resp. 60 km/h, Il faut tenir compte du choc des éléments d'un véhicule et de son chargement contre une superstructure au moyen de la **valeur de dimensionnement** $Q_{hd,x}$, au cas où le gabarit de hauteur libre au-dessus de la chaussée comprend moins de 5 m ($h_L \leq 5,0$ m) :

$$Q_{hd,x} = 250 \text{ kN} \quad (10)$$

Cette valeur de dimensionnement est issue de [4] et doit être considérée comme indicative. Elle peut être réduite sur la base d'une estimation des risques tenant compte des particularités locales, de l'exposition au risque de la structure porteuse, de la densité du trafic, de la part du trafic lourd, etc. Il n'y a pas besoin de considérer l'action d'un choc frontal des éléments d'un véhicule et de son chargement contre une superstructure si un tel choc n'est absolument pas pertinent.

Coefficient de réduction pour l'influence du gabarit de la hauteur libre

Le coefficient de réduction ψ_h pour tenir compte du gabarit de hauteur libre sous la superstructure est déterminé au moyen de la Fig. 3.7. La hauteur libre existante h_L au-dessus de la chaussée est déterminante. Dans le cas d'une structure porteuse sous laquelle le gabarit de hauteur libre h_L est supérieur ou égal à 6 m, le choc de la carrosserie y.c. équipements et du chargement n'est pas pertinent et ne doit pas être considéré ($\psi_h = 0$).

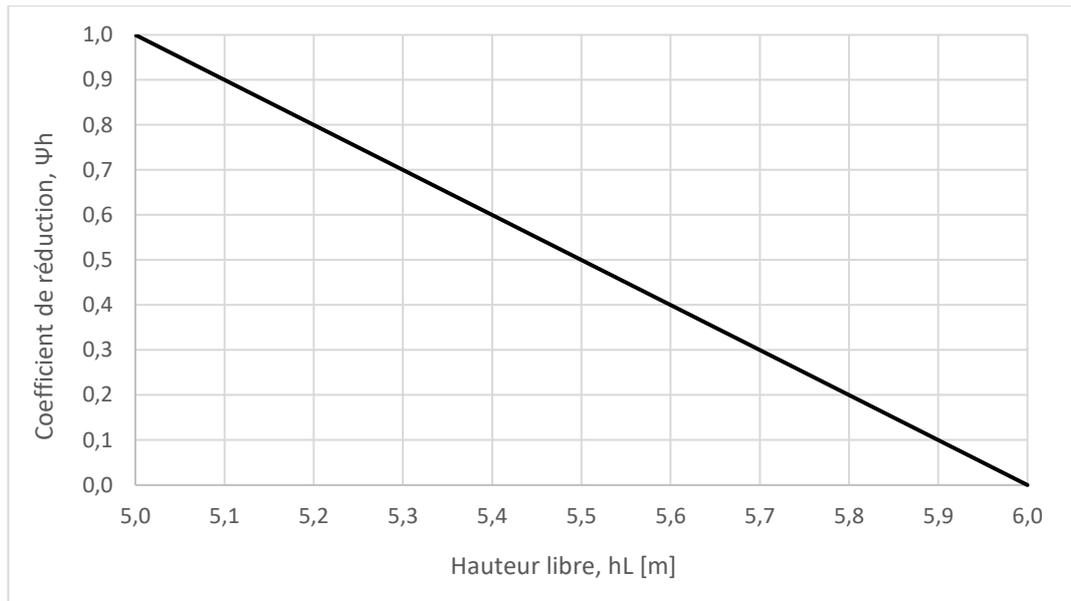


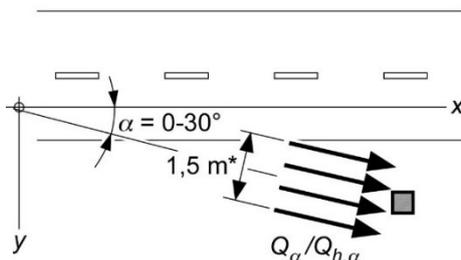
Fig. 3.7 Coefficient de réduction ψ_h tenant compte du gabarit de hauteur libre h_L sous la superstructure.

3.6 Position, direction, hauteur et surface d'application de la force

Lors d'un choc frontal contre un pilier ou latéral contre une paroi, il est admis que la force due au choc agit horizontalement sur une surface rectangulaire de 0,40 m par 1,50 m (resp. la largeur de l'élément si celle-ci est inférieure). Cette action de la force est admise aussi bien pour le choc d'un véhicule (châssis du véhicule) que pour celui des éléments du véhicule et de son chargement.

- Lors d'un **choc frontal contre un pilier**, la force due au choc doit être admise sous un angle α entre 0 et 30°, par rapport à l'axe de la chaussée (axe x) (Fig. 3.8a) L'angle de choc α le plus défavorable est déterminant pour le calcul.
- Lors d'un **choc latéral contre une paroi**, la force due au choc doit être admise comme agissant selon l'axe y (Fig. 3.8b).

a) Choc frontal contre pilier



* ou largeur de l'élément pour une structure porteuse plus étroite

b) Choc latéral contre paroi

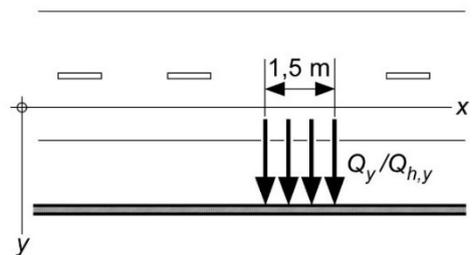


Fig. 3.8 Direction de l'action de la force.

La force horizontale due au choc agissant sur une surface de 0,40 m par 1,50 m doit être admise à une hauteur h_Q , resp. h_{Qh} . La hauteur est mesurée entre la chaussée (Fig. 3.9a) – ou, s'il y a un talus, le terrain (Fig. 3.9b et c) – et le milieu de la surface d'impact comme suit :

choc du châssis du véhicule de $h_Q = 0,8\text{ m}$

choc des éléments d'un véhicule et son chargement $h_{Qh} = 4,0\text{ m}$.

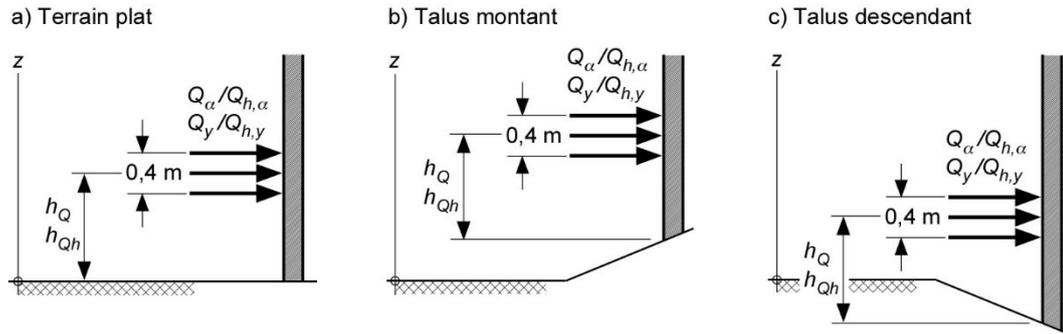


Fig. 3.9 Hauteur de la surface d'application.

Dans le cas d'un **choc frontal de la carrosserie y.c. équipements et du chargement contre la superstructure**, il est admis que la force due au choc agit horizontalement et de manière uniformément répartie dans le sens de la circulation (axe x) sur une surface rectangulaire de $0,40\text{ m}$ par $1,50\text{ m}$, resp. la hauteur de l'élément. Des exemples d'impact de la force pour diverses poutres de superstructures de ponts sont donnés dans la Fig. 3.10. En cas d'éléments de construction très minces, par ex. les ailes d'une poutre en acier, la force due au choc agit comme une charge linéaire. L'impact de la force se produit toujours contre partie inférieure de l'élément de construction exposé au risque.

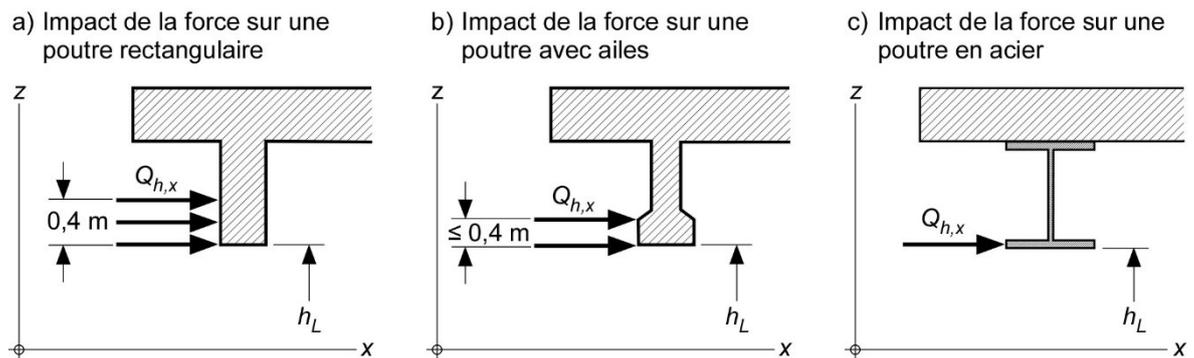


Fig. 3.10 Exemples de la surface d'application de la force pour différentes poutres.

En ce qui concerne la position de la force due au choc selon l'axe y , c'est la position d'impact de la force la plus défavorable en dessus de la chaussée et de la bande d'arrêt d'urgence qui est déterminante pour le dimensionnement de la superstructure (Fig. 3.11). Les positions temporairement décalées des voies de circulation doivent également être prises en compte.

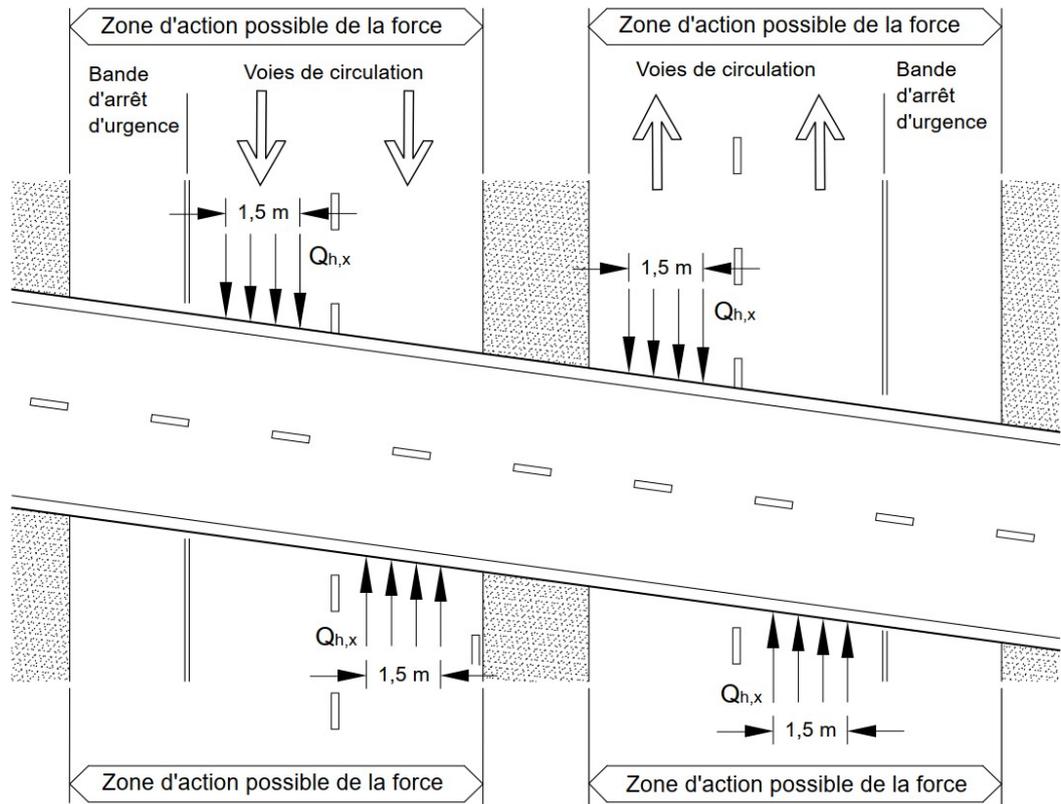


Fig. 3.11 Position de l'action de la force lors d'un choc contre une superstructure (Remarque : les cas de charge représentés n'agissent pas en même temps).

4 Ouvrages existants

4.1 Vérification par le calcul

La vérification par le calcul de la résistance ultime d'ouvrages existants par rapport au choc de véhicules est effectuée selon la norme SIA 269 [13] à l'aide du degré de conformité. Les ouvrages doivent être assignés à une classe d'ouvrages en fonction des caractéristiques listées dans les normes SIA 261 [10] (ch. 16.3) et 269/8 (ch. 10.4). Le degré de conformité n est déterminé pour évaluer numériquement dans quelle mesure un ouvrage existant répond aux exigences formulées pour le calcul de nouvelles constructions selon les normes en vigueur. Il est en général défini comme quotient de la valeur de dimensionnement de la résistance ultime R_d selon les normes et de la valeur de dimensionnement des effets d'une action E_d selon les normes.

$$n = R_d / E_d \quad (11)$$

Le degré de conformité n peut aussi être directement déterminé en comparant la force due au choc Q_R pour laquelle la vérification de la sécurité structurale calculée est exactement remplie (état-limite de la sécurité structurale) et la valeur de calcul de la force due au choc Q_d , resp. Q_{dh} , selon cette directive.

$$n = Q_R / Q_d \quad (12)$$

Pour apprécier la résistance au choc d'un véhicule, on compare le degré de conformité n obtenu au moyen de l'équation (11), resp. (12), avec le degré de conformité minimal n_{min} du Tab. 4.1. Selon la norme, les valeurs limites dépendent de la classe d'ouvrages (CO).

Si le degré de conformité est supérieur au degré de conformité minimal n_{min} , des mesures s'imposent, dans la mesure où les critères de proportionnalité sont remplis. Le principe de proportionnalité doit être évalué selon le chapitre 4.4. S'il s'avère inférieur au degré de conformité minimal n_{min} , des mesures doivent être entreprises dans tous les cas.

$n \geq n_{min}$ des mesures s'imposent, dans la mesure où les critères de proportionnalité sont remplis

$n < n_{min}$ des mesures s'imposent

Tab. 4.1 Degré de conformité minimal n_{min}

Valeurs limites	Classe d'ouvrages I et II	Classe d'ouvrages II-i, III
Valeur minimale, n_{min}	0,40	0,70

Pour la vérification au choc de véhicules routiers sur des parapets qui n'assument pas de fonction porteuse pour le tablier des ponts des classes d'ouvrages II-i et III, on peut admettre un degré de conformité minimal réduit de 0,40 au lieu de 0,70.

4.2 Mesures

Le chiffre 2.1.1 de cette directive donne un aperçu des mesures destinées à protéger une structure porteuse du choc d'un véhicule. Les stratégies possibles pour tenir compte du choc sont indiquées au chiffre 2.1.2. Dans le cas d'ouvrages existants, on peut prévoir des mesures constructives pour renforcer la structure porteuse ou des dispositifs routiers de retenue de véhicules pour la protéger. Le risque d'un choc peut aussi être diminué par des mesures d'exploitation.

4.3 Risque de choc

Le risque de choc dépend des conditions locales respectives. Les facteurs qui influencent négativement le risque sont entre autres :

- les points noirs,
- les tracés routiers qui favorisent une sortie de route (par ex., tracé irrégulier, virage à faible rayon),
- une situation défavorable de la structure porteuse par rapport au choc d'un véhicule (par ex., près de la sortie d'autoroutes et de semi-autoroutes).

4.4 Proportionnalité des mesures

La proportionnalité doit être évaluée sur la base des normes SIA 269 [13], ch. 5.4 et 269/8 [15], ch. 10. Un exemple d'application basé sur la norme SIA 269 peut être consulté dans l'annexe VI.

Annexes

I	Bases de la sollicitation due au choc	29
II	Bases du calcul probabiliste de la force due au choc	31
II.1	Modèle du calcul probabiliste	31
II.2	Calcul probabiliste selon ENV 1991	31
II.3	Calcul probabiliste avec des variables plus réalistes	32
III	Sortie de route des véhicules routiers	33
III.1	Aperçu	33
III.2	Distance de sortie de route	33
III.3	Angle de sortie de route	33
IV	Masse agissante du véhicule	35
IV.1	Généralités	35
IV.2	Composition du trafic	35
IV.3	Distribution de la masse agissante du véhicule	35
V	Choc contre les superstructures	37
V.1	Généralités	37
V.2	Images de dégâts	37
V.3	Fréquence	39
VI	Proportionnalité des mesures, exemple	40
VI.1	Chocs de véhicules routiers contre des parapets de sécurité présents sur des ponts : exemple d'application	40

I Bases de la sollicitation due au choc

(Annexe à titre d'information)

Le choc de véhicules routiers contre un élément en béton armé provoque une sollicitation brutale de celui-ci. Contrairement aux explosions, il s'agit ici d'une véritable sollicitation due au choc. On distingue en la matière entre les chocs dits « durs » et ceux dits « mous ».

Dans le cas d'un **choc dur**, un corps très rigide, de taille relativement petite en comparaison, percute l'élément en béton armé, le pénètre (pénétration) et le perce (perforation). Le corps qui provoque le choc n'est alors pratiquement pas déformé. La durée de l'impact est très brève et son processus est extrêmement complexe. Il n'est pas possible de le décrire analytiquement de manière exacte. La sollicitation de l'élément porteur concerné se caractérise en général par une compression de la matière et par un écaillage de ses faces avant et arrière (*spalling* et *scabbing*). Ce type de défaillance ne se produit pas dans le cas d'une charge statique.

Le **choc mou** se caractérise par une dissipation de la plus grande partie de l'énergie cinétique du corps percutant au travers d'une déformation plastique. Lors d'un choc mou, un corps déformable peu rigide percute un élément de construction rigide en comparaison. Les chocs mous ne se différencient pas fondamentalement d'une charge statique en ce qui concerne les mécanismes de défaillance et de rupture. La sollicitation due au choc provoque un poinçonnement (rupture au cisaillement) ou la formation de mécanismes de rupture (rupture à la flexion). Les actions dues à un choc mou peuvent être décrites par des charges de remplacement statiques.

On peut généralement considérer le choc d'un véhicule contre un élément porteur comme un choc mou car, lors de l'impact contre l'élément en béton armé, la plus grande partie de l'énergie cinétique du véhicule est absorbée par une déformation plastique de ce dernier. Dans de rares cas, des chargements rigides, par exemple des poutres en acier, ou des équipements d'un véhicule comme une grue, peuvent aussi provoquer des chocs durs.

Parmi les mesures destinées à protéger les structures porteuses contre le choc de véhicules, on compte entre autres l'utilisation de systèmes de retenue [8] [10]. L'aménagement de tels systèmes peut être approprié dans le cas de chocs durs et de chocs mous. S'il n'existe aucune possibilité de diminuer la probabilité d'un choc, l'élément porteur doit être dimensionné en tenant compte des actions du choc. L'utilisation de couches de protection en béton ou en acier pour protéger l'élément contre la pénétration est appropriée pour les chocs durs. Dans le cas de chocs mous, il s'agit de dimensionner la structure porteuse de manière adéquate par rapport aux forces dues au choc.

Les forces dues au choc, indiquées ci-après comme actions déterminantes pour le dimensionnement des structures porteuses, se rapportent aux chocs mous produits par des véhicules de transport lourds.

Action sur l'élément de construction	Sollicitation due au choc	
	Choc mou	Choc dur
Modèle physique, données du problème		
Causes du choc (corps provoquant le choc)	<ul style="list-style-type: none"> - Carrosserie de véhicule - Revêtement, capots - Chargement peu rigides 	<ul style="list-style-type: none"> - Charges très dures, très rigides - Eléments de véhicule rigides (par ex. grue, container)
Types de rupture		
Mesures	<p>Dimensionnement</p>	<p>Couche de protection</p>

Fig. I.1 Aperçu des sollicitations dues aux chocs.

II Bases du calcul probabiliste de la force due au choc

(Annexe à titre d'information)

II.1 Modèle du calcul probabiliste

La valeur de la force due au choc d'un véhicule routier contre un élément de structure porteuse en bordure de route se détermine à l'aide des paramètres suivants :

- masse du véhicule, m
- vitesse de sortie de route, v
- angle de sortie de route, α
- décélération du véhicule, a
- rigidité du véhicule, k

Dans le cas d'un calcul probabiliste de la force due au choc, les variables ne sont pas introduites comme des grandeurs fixes (déterminées) mais comme des variables de calcul définies par leur fonction de distribution. Les résultats obtenus sont des forces dues au choc se produisant avec une certaine probabilité. Le modèle à la base de tels calculs probabilistes est représenté à la Fig. II.1.

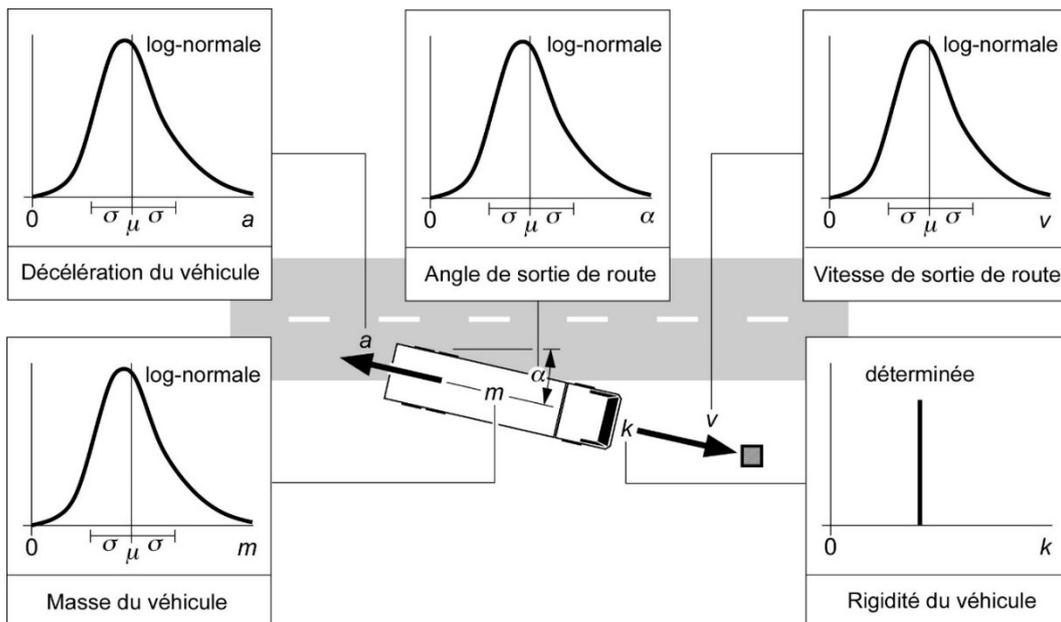


Fig. II.1 Modèle du calcul probabiliste de la force due au choc.

II.2 Calcul probabiliste selon ENV 1991

Les variables nécessaires pour un calcul probabiliste de la force due au choc sont définies dans l'annexe A de la norme SN EN 1991-2-7 (Eurocode 1 [6]). Des fonctions de distribution avec le type de distribution, la valeur moyenne et la déviation standard sont données pour la vitesse de sortie de route, la décélération et la masse du véhicule. Aussi bien l'angle de sortie de route que la rigidité du véhicule sont donnés comme des valeurs déterminées. Les variables se trouvent dans la Fig. II.2.

Fig. II.2 Variables pour un calcul probabiliste de la force due au choc selon SN EN 1991-2-7 [6], annexe A, tableau A.1

Variable	Grandeur physique	Type de distribution	Valeur moyenne	Déviat ion standard
			μ	σ
v	Vitesse de sortie de route			
	- autoroute	log-normale	80 km/h	10 km/h
	- zone urbaine	log-normale	40 km/h	8 km/h
a	Décélération du véhicule	log-normale	4 m/s ²	1,3 m/s ²
m	Masse du véhicule			
	- véhicule routier lourd	normale	20 000 kg	12 000 kg
	- automobile	déterminée	1500 kg	
α	Angle de sortie de route	déterminée	30°	
k	Rigidité du véhicule	déterminée	300 kN/m	

II.3 Calcul probabiliste avec des variables plus réalistes

Le calcul probabiliste de la force due au choc avec les variables de la Fig. II.2 fournit aussi des valeurs importantes dans le cas de grandes distances depuis le bord de la chaussée, un cas qui se produit comparativement avec une haute probabilité. Une force de 1000 kN est par exemple encore atteinte à 20 m du bord de la chaussée avec une probabilité de 65 %. Ce résultat doit être considéré comme peu réaliste. Il provient de la valeur de l'angle de sortie de route α qui est déterminée à 30° ainsi que de la distribution normale définie pour la masse du véhicule m .

Pour un calcul plus réaliste des forces dues au choc, l'angle de sortie de route est défini selon la distribution indiquée dans l'annexe III. Les angles de 30° sont rares selon cette distribution et ne se produisent que dans 10 % des accidents. L'angle moyen de sortie de route, resp. d'impact, est nettement plus petit et atteint environ 15°. Selon la Fig. III.2 de l'annexe III, l'angle de sortie de route α est défini comme une variable à la distribution log-normale, avec une valeur moyenne de $\mu = 15^\circ$ et une déviation standard de $\sigma = 12,5^\circ$.

La masse du véhicule m est également définie avec une distribution log-normale, un type de distribution dans lequel aucune valeur négative n'est possible et qui est donc mieux approprié par définition qu'une distribution normale. La masse du véhicule est décrite selon une distribution log-normale avec $\mu = 12\,000\text{ kg}$ et $\sigma = 6000\text{ kg}$ sur la base de l'étude [8]. Cette distribution correspond largement à celle donnée dans la Fig. IV.1 de l'annexe IV.

Le tableau ci-après résume les variables de calcul utilisées pour le calcul probabiliste de la force due au choc.

Fig. II.3 Variables à utiliser pour le calcul probabiliste de la force due au choc pour les poids lourds et les autoroutes

Variable	Grandeur physique	Type de distribution	Valeur moyenne	Déviat ion standard
			μ	σ
v	Vitesse de sortie de route ¹⁾	log-normale	80 km/h	10 km/h
a	Décélération du véhicule ¹⁾	log-normale	4 m/s ²	1,3 m/s ²
m	Masse du véhicule	log-normale	12 000 kg	6000 kg
α	Angle de sortie de route ³⁾	log-normale	15°	12,5°
k	Rigidité du véhicule ¹⁾	déterminée	300 kN/m	

¹⁾ cf. ENV 1991-2-7 [6]

²⁾ d'après Bürkel Baumann et Schuler [24]

³⁾ d'après Vulin, Quincy [36]

III Sortie de route des véhicules routiers

(Annexe à titre d'information)

III.1 Aperçu

La zone en bordure de chaussée dans laquelle un dimensionnement au choc est pertinent dépend de la manière dont un véhicule sort de la route. La distance de déplacement latéral du véhicule et l'angle sous lequel il sort de la route ne sont pas des valeurs fixes. Des distributions quant à la distance et l'angle de sortie de route sont données ci-après.

III.2 Distance de sortie de route

L'*American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO) [19] donne une distribution aléatoire pour la distance latérale atteinte par les véhicules sortant de route. La distribution donnée se base sur l'observation de sorties de route accidentelles sur la berme centrale relativement plane d'autoroutes. Elle n'est cependant pas assurée statistiquement [19]. La distribution aléatoire de la Fig. III.1 montre qu'une distance de sortie de route de 10 m est atteinte, resp. dépassée, dans moins de 20 % des accidents.

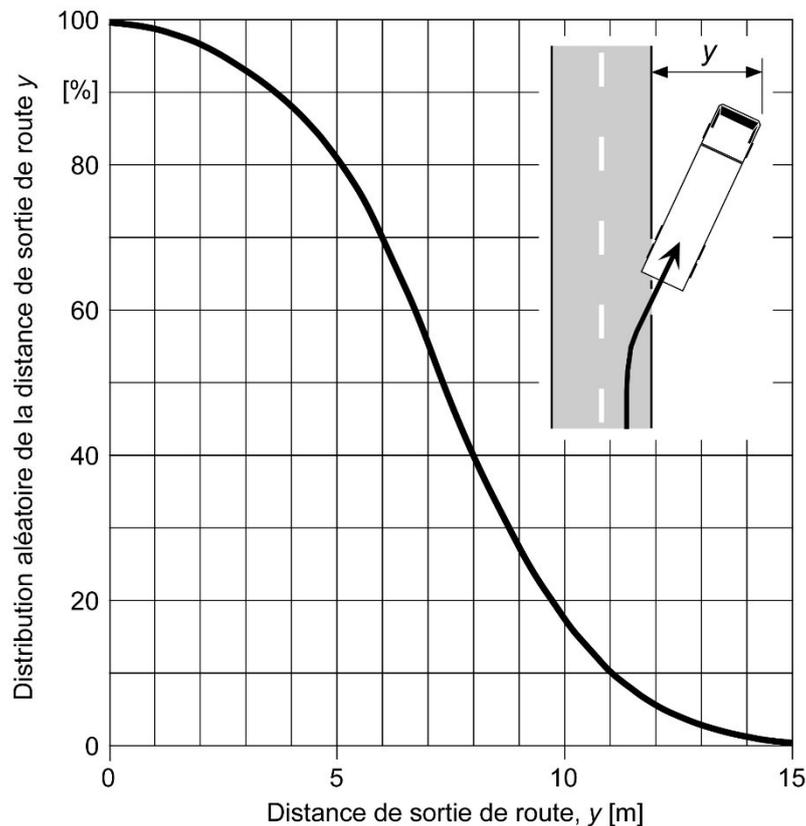


Fig. III.1 Distribution aléatoire de la distance latérale de sortie de route sur la berme centrale plane d'autoroutes selon [19] (représentation modifiée).

III.3 Angle de sortie de route

Vulin et Quincy ont examiné l'angle de sortie de route sur la berme centrale d'autoroutes [36]. La Fig. III.2 montre la distribution ainsi constatée de l'angle d'impact contre les systèmes de retenue de la berme centrale. À partir de cette distribution, on constate que l'angle de sortie de route des véhicules ne dépasse 30° que dans 10 % des accidents.

Selon une autre étude mentionnée (Duverge), on ne doit même s'attendre à un angle de sortie de route de plus de 30° que dans 5 % des cas.

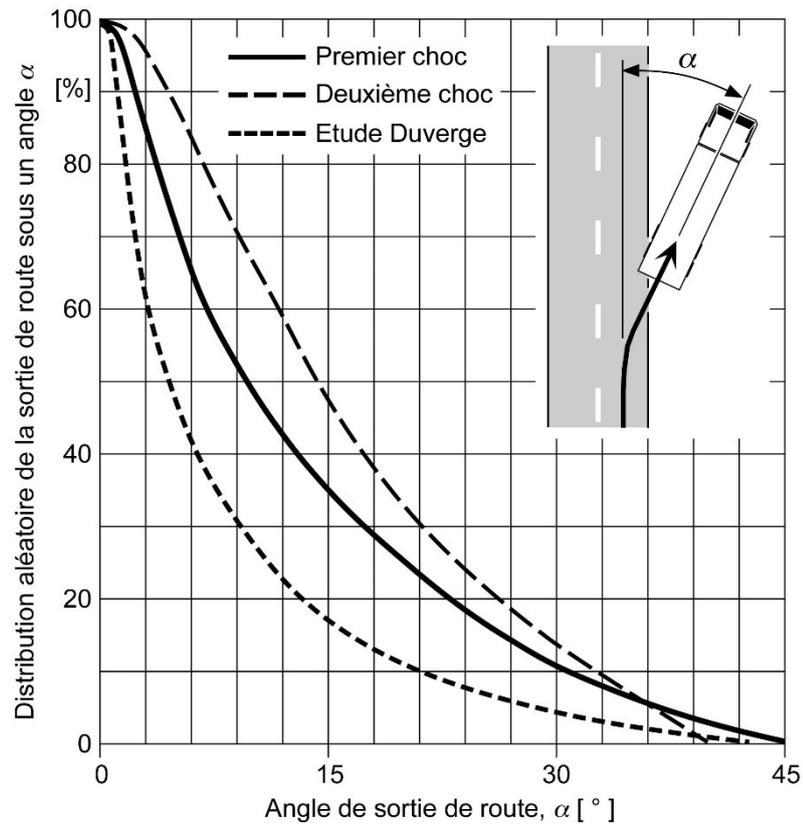


Fig. III.2 Distribution aléatoire de l'angle d'impact contre les systèmes de retenue sur la berme centrale d'autoroutes selon [16] (représentation modifiée).

IV Masse agissante du véhicule

(Annexe à titre d'information)

IV.1 Généralités

Une analyse du trafic lourd est nécessaire pour apprécier le choc contre des structures porteuses ou des systèmes de retenue. La composition du trafic lourd selon le type de véhicule, le poids total et le chargement a été examinée dans le cadre d'un travail de recherche effectué pour les cantons de Berne et de Soleure [24]. Il en est ressorti que la masse agissante du véhicule lors d'un choc est d'habitude nettement plus faible que le poids total admissible du véhicule.

IV.2 Composition du trafic

En ce qui concerne la composition du trafic lourd selon le type de véhicule et le poids total, les analyses effectuées sur la base de comptages et le dépouillement de diverses sources statistiques ont fourni pour l'essentiel des résultats identiques. Les comptages du trafic lourd sur l'autoroute N1 indiquent que les camions, les trains routiers et les poids lourds articulés représentent chacun environ un tiers du trafic lourd, alors que les autocars ne représentent qu'un faible pourcentage :

- Camions : 30 %
- Bus : 3 %
- Trains routiers : 34 %
- PL articulés : 33 %

Rapportée au poids total des PL, la composition du trafic lourd se présente comme suit :

- un tiers des PL ont un poids total < 10 000 kg
- la moitié des PL ont un poids total < 15 000 kg
- 10 % des PL sont plus lourds que 28 000 kg

IV.3 Distribution de la masse agissante du véhicule

La masse agissante d'un véhicule lors d'un choc ne correspond pas dans la plupart des cas au poids total maximal du véhicule. La masse du véhicule qui agit de manière dynamique lors du choc et que l'on appelle masse agissante peut être nettement plus faible pour les raisons suivantes :

- Les véhicules de transport sont vides ou chargés partiellement.
- Le chargement n'est pas fixé de manière solide au véhicule.
- Il s'agit d'un véhicule composé de plusieurs éléments (train routier, poids lourd articulé).

La Fig. IV.1 présente la distribution de la masse agissante du véhicule obtenue dans le cadre du travail de recherche [24]. Comparées au poids maximal total admis des véhicules de transport lourds, les masses agissantes des véhicules sont faibles. 95 % de tous les véhicules présentent une masse agissante de 15 000 kg ou moins.

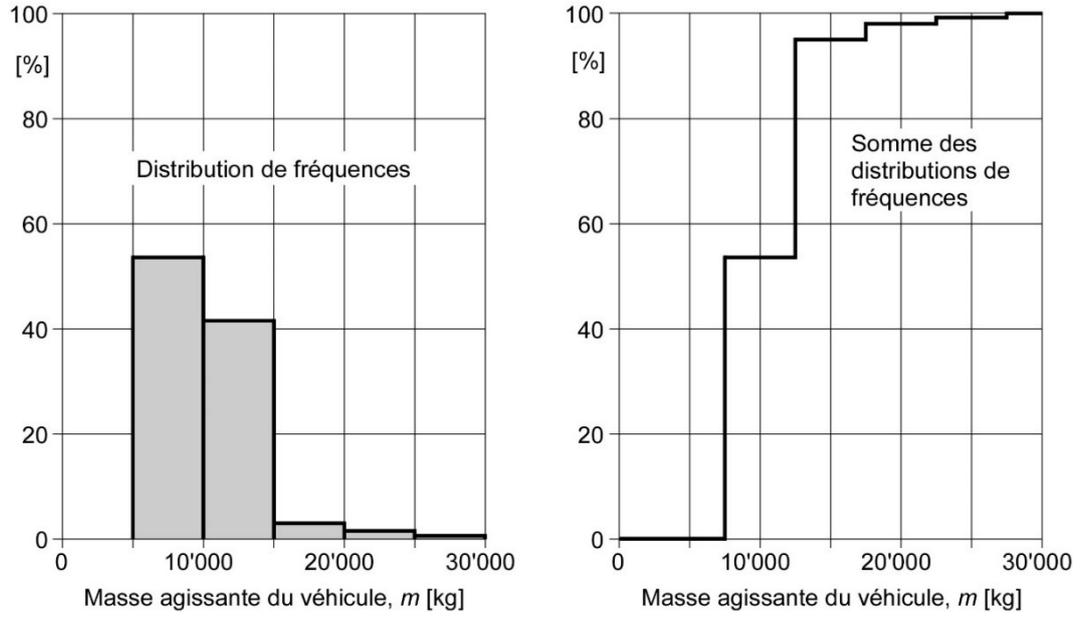


Fig. IV.1 Distribution de fréquence et somme des distributions de fréquence de la masse agissante des PL selon [24].

V Choc contre les superstructures

(Annexe à titre d'information)

V.1 Généralités

Les dégâts provoqués par un choc contre les superstructures surplombant les routes sont relativement fréquents [23]. Environ 250 cas sont rapportés par année et par pays, en France, en Allemagne et en Grande-Bretagne. Il faut donc compter avec 30 cas annuels en Suisse, en proportion avec la taille de ces pays.

V.2 Images de dégâts

Étant donné que la carrosserie y.c. ses équipements et le chargement sont dans de nombreux cas relativement légers et peu rigides, les dégâts qu'ils provoquent lors d'un choc restent en général aussi marginaux [31].

L'accident de la Fig. V.1 a été causé par une pelle mécanique mal chargée sur un camion. Le gabarit de hauteur libre en-dessous du pont mesurait 4,5 m, mais la hauteur du camion additionnée à celle de la machine de chantier de taille relativement petite s'élevait à plus de 4,8 m ; le passage supérieur était le premier objet sur la route après la rampe de Baden-Dättwil à mesurer moins de 4,8 m de haut.



Fig. V.1 Accident sur l'autoroute A1, Birmenstorf, 2014

La Fig. V.2 montre un tel choc « inoffensif » d'une benne contre un pont. Les figures Fig. V.2b et V.2c illustrent des dégâts graves aux armatures provoqués par des chocs. De tels accidents peuvent mettre en péril la sécurité structurale de ponts.

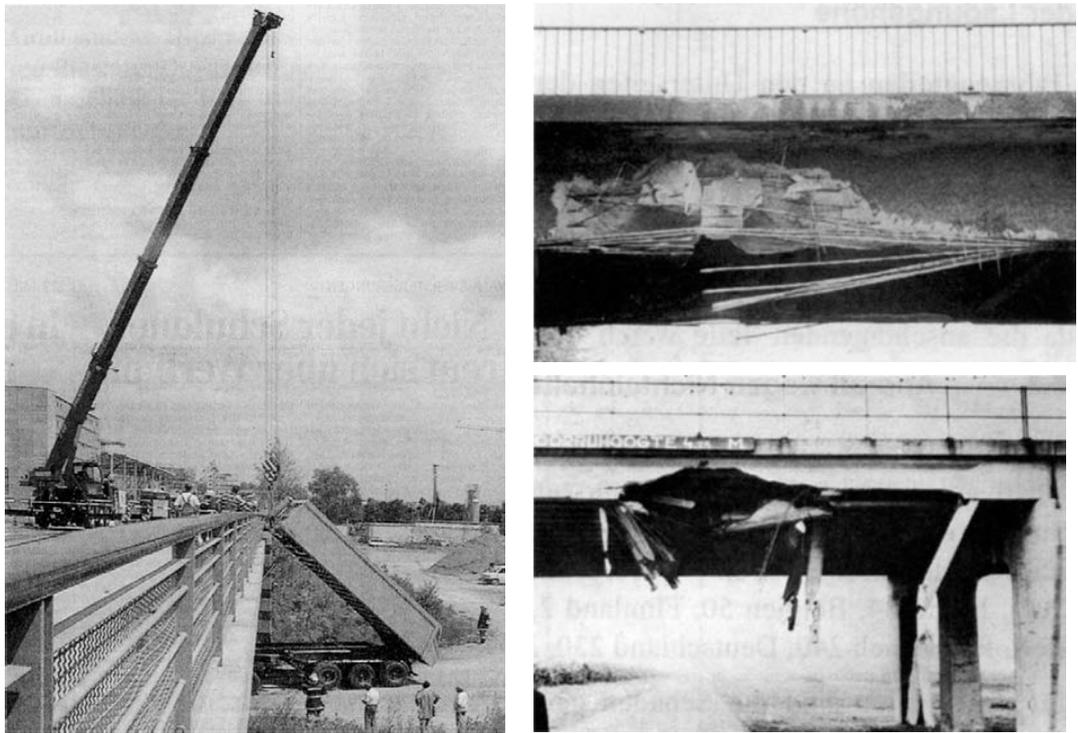


Fig. V.2 Exemples d'accidents tirés de [31]. a. À gauche : choc d'une benne contre un pont (Allemagne, 1999), b. en haut à droite : dégâts aux armatures passives (Allemagne, 1993), c. en bas à droite : dégâts à l'armature précontrainte (Pays-Bas).

V.3 Fréquence

La Fig. V.3 représente en tant qu'histogramme le nombre moyen annuel de chocs contre les superstructures de pont de chemin de fer en Grande-Bretagne. Comparés au gabarit de hauteur libre minimal suisse de $h_L = 4,5$ m [30], un quart des cas représentés dans cette distribution de fréquences se produisent avec une hauteur libre plus grande. Le choc des éléments d'un véhicule et de son chargement est en revanche peu vraisemblable contre des superstructures situées 6 m plus haut que la chaussée.

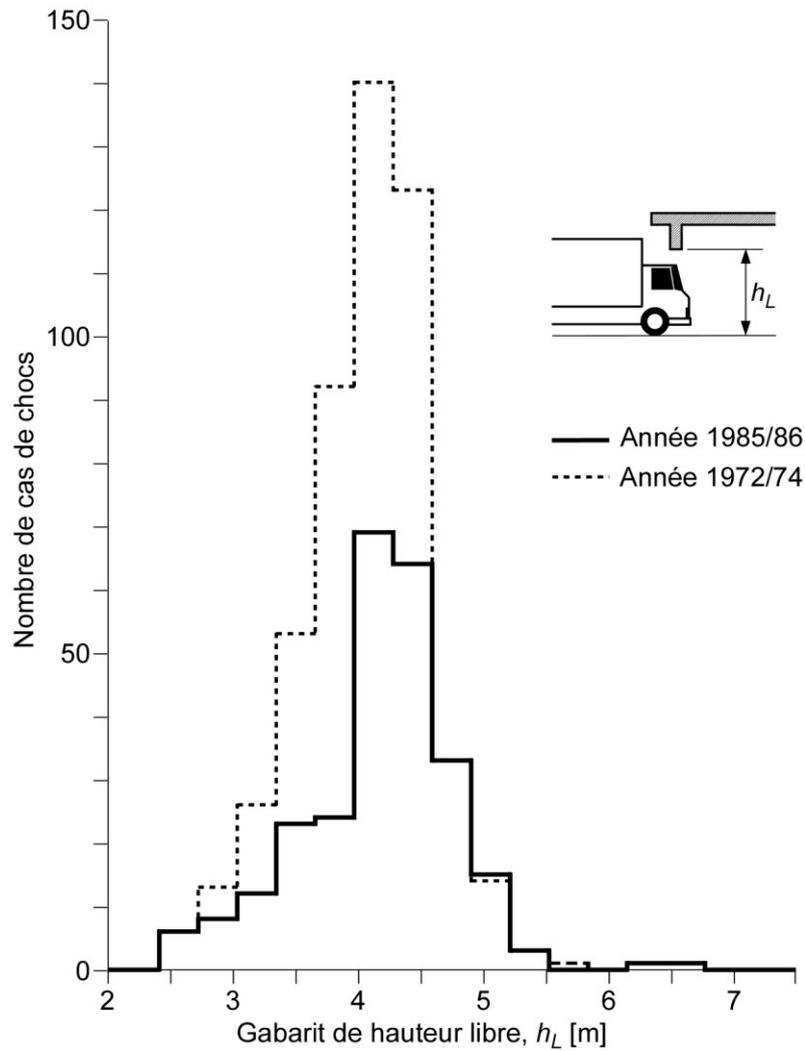


Fig. V.3 Distribution (histogramme) des cas de chocs contre les superstructures de ponts de chemin de fer en Grande-Bretagne selon [35] (représentation modifiée).

VI Proportionnalité des mesures, exemple

VI.1 Chocs de véhicules routiers contre des parapets de sécurité présents sur des ponts : exemple d'application

Dans le cadre de l'examen d'un pont autoroutier mis en service en 1968, les parapets de sécurité en béton armé sont vérifiés pour examiner si des mesures de sécurité s'avèrent nécessaires. La proportionnalité des interventions de maintenance relatives à la sécurité et à la construction est analysée sur la base des prescriptions listées au chapitre 4 en passant par les huit étapes suivantes.

Étape 1 : utilisation actuelle et exigences d'utilisation

Le trafic routier a été autorisé par la loi à emprunter le pont autoroutier, qui appartient à la classe d'ouvrages III, durant 55 ans. Jusqu'à présent, aucun choc d'envergure n'a été à déplorer.

L'état d'utilisation du pont restera inchangé au cours de la prochaine durée d'utilisation convenue, qui s'élève à 50 ans. Par conséquent, les coûts de construction des interventions de maintenance relatives à la sécurité seront amortis sur 50 ans. La situation fera l'objet d'une réévaluation dans 50 ans.

Étape 2 : description de la situation d'examen accidentelle « Choc contre un parapet de sécurité »

La situation d'examen accidentelle (situation de danger) concerne le choc latéral d'un camion (d'une masse n'excédant pas la limite maximale autorisée) contre le système de retenue constitué d'un parapet de sécurité sur un pont selon la Fig. 2.6a.

On part du principe que le camion perce le parapet de sécurité et tombe de 30 mètres sur le terrain en-dessous du pont, engendrant un dommage à la propriété de 3,5 millions de francs.

L'accident fait en outre deux victimes. Selon la norme SIA 269, on peut admettre un montant de 3 à 10 millions de francs comme coût de sauvetage d'une vie humaine et de 6,9 millions de francs selon les indications de l'Office fédéral du développement territorial (ARE) [37] sur la propension à payer.

Il en résulte un coût total du dégât estimé à $D = 3,5 + 2 \times 6,9 = 17,3$ millions de francs.

Étape 3 : détermination des valeurs d'examen de l'effet de l'action

En application du chapitre 3.4, on peut admettre un choc latéral avec une force due au choc de $Q_{d,y} = 500$ kN. Cette force due au choc concentrée agit à une hauteur de 1,37 m au-dessus de la section d'encastrement du parapet de sécurité sur une largeur de 1,5 m. La valeur d'examen du moment de flexion dans la section d'encastrement est calculée au moyen d'une modélisation du mécanisme de rupture déterminant ; elle s'élève à $M_{d,y,act} = 229$ kNm/m.

Étape 4 : détermination de la valeur d'examen de la résistance ultime

L'actualisation de la résistance ultime du parapet de sécurité selon les instructions de la norme SIA 269 revêt les aspects suivants :

- Comparaison des dimensions du parapet de sécurité avec les directives selon le plan d'exécution.
- L'actualisation de la résistance déterminante du béton armé de 1968 tient compte du comportement de solidification de l'acier et de la résistance accrue (d'environ 15 %) en cas de sollicitations brutales. Dans le cas présent, on obtient une valeur d'examen de la résistance de l'acier de $f_{sd} = 460$ MPa.

- L'actualisation de la résistance du béton au moyen de contrôles non-destructifs (scléromètre) donne, en tenant compte de l'augmentation de la résistance (d'environ 40 %) en cas de sollicitations brutales, une valeur d'examen de la résistance du béton de $f_{cd} = 42$ MPa, qui n'est toutefois pas déterminante pour l'effort de flexion ni pour l'absorption de la force transversale.
- Modèle de résistance avec plastification de la section en flexion (section d'encastrement) en tenant compte d'un mécanisme de rupture, qui active une longueur concomitante du parapet. Le mécanisme de rupture selon la fig. 2.5 est examiné.

Ces investigations menées dans le cadre des actualisations (réalisées selon la norme SIA 269) donnent au final la valeur d'examen déterminante (déterministe) $M_{Rd,act} = 203$ kNm/m.

Remarque : une première détermination de la résistance ultime en utilisant uniquement les indications présentes dans le dossier de l'ouvrage ainsi qu'une analyse simple et élastique de la structure porteuse donne une valeur d'examen de $M_{Rd,act} = 125$ kNm/m seulement. Cette valeur est très probablement irréaliste car trop basse et n'est donc pas pertinente pour les considérations ultérieures. Cela prouve que la situation d'examen liée aux chocs requiert toujours un examen détaillé selon le ch. 6.1.4 de la norme SIA 269.

Étape 5 : degré de conformité et évaluation, estimation de la probabilité de défaillance

Selon la vérification déterministe de la sécurité structurale, le degré de conformité s'élève à :

$$n = \frac{M_{Rd,act}}{M_{dy,act}} = \frac{203 \text{ kNm/m}}{229 \text{ kNm/m}} = 0,89$$

- Comme ce degré de conformité est plus petit que 1, la sécurité structurale n'est pas garantie. Selon le chapitre 4.1, la proportionnalité de l'intervention de maintenance relative à la sécurité doit être étudiée, comme $n = 0,89 \geq n_{min} = 0,40$.
- Une actualisation ultérieure des étapes 3 et 4 n'est pas indiquée pour le moment. Il convient tout d'abord d'étudier la proportionnalité de l'intervention de maintenance relative à la sécurité.
- Pour l'évaluation subséquente de la proportionnalité de l'intervention de maintenance relative à la sécurité consistant à renforcer ou à remplacer le parapet, il est nécessaire de déterminer la probabilité de défaillance qui comprend le degré de conformité $n = 0,89$. Des investigations et des instructions sont disponibles à ce sujet dans la littérature.
- La plus petite valeur cible du taux de défaillance selon la norme SIA 269, annexe B, (tableau 2), est de 10^{-6} par année, ce qui peut être implicitement supposé correspondre à un degré de conformité de $n = 1,0$. Pour le cas présent avec un degré de conformité de $n = 0,89$ et selon le rapport de la VSS n 623, chapitre 3.6.3 (rapport entre le degré de conformité et la probabilité de défaillance) [38], on pourra admettre un indice de fiabilité de $\beta_0 \approx 3,1$, ce qui correspond à un taux de défaillance annuel d'environ 10^{-3} .

Étape 6 : élaboration du projet d'intervention de maintenance relatif à la sécurité et détermination des coûts de construction liés à la sécurité

Il existe deux options pour concevoir le projet d'intervention de maintenance relatif à la sécurité, si possible à l'étape de l'avant-projet : 1) le renforcement et 2) le remplacement du parapet de sécurité. L'ensemble des coûts de construction sont estimés afin de déterminer lesquels concernent uniquement l'intervention de maintenance relative à la sécurité¹.

Dans le cas présent, il est apparu lors de la conception du projet qu'il est plus économique (et durable) de renforcer le parapet avec du CFUP plutôt que de le reconstruire à neuf. Le calcul des coûts d'investissement imputables à la sécurité donne CI = 2,6 millions de francs.

¹ Pour les parapets de sécurité en béton armé, il est courant que l'armature soit considérablement endommagée par la corrosion en raison de la présence de chlorure. Il est bien connu que la réparation de ces dégâts est fastidieuse.

Étape 7 : détermination de l'efficacité des mesures

La proportionnalité de l'intervention de maintenance relative à la sécurité est évaluée selon la norme SIA 269, ch. 5.4, en déterminant l'efficacité des interventions au moyen du coefficient EF_M :

$$EF_M = \frac{\Delta R_M}{\Delta SC_M}$$

La *réduction du risque* (à titre de « bénéfice escompté » des coûts liés à la sécurité) est le produit résultant de la réduction de la probabilité d'occurrence d'un dommage Δp_f multiplié par le coût du dégât D :

$$\Delta R_M = \Delta p_f \cdot D$$

L'intervention de maintenance relative à la sécurité réduit la probabilité d'occurrence à une valeur inférieure à 10^{-6} par année, car le calcul de la mesure satisfait les exigences en lien avec la sécurité structurale selon les normes SIA 269 et 260.

La différence entre la probabilité d'occurrence avant et après la mise en œuvre de l'intervention de maintenance relative à la sécurité s'élève donc à :

$$\Delta p_f = p_{f,0} - p_{f,nouveau} = 10^{-3} - 10^{-6} \cong 10^{-3}/\text{année}.$$

Le coût du dégât selon la situation d'examen accidentelle définie à l'étape 2 s'élève à $D = 17,3$ millions de francs.

La valeur de la réduction du risque s'élève au final à :

$$\Delta R_M = 10^{-3}/\text{année} \cdot 17,3 \cdot 10^6 \text{ CHF} = 17\,300 \text{ francs}/\text{année}$$

Les *coûts de sécurité* exprimés sous forme de valeur monétaire annuelle avec escompte et appliqués à la période de 50 ans et qui sont imputés à la sécurisation proprement dite de la structure porteuse (parapet de sécurité) s'élèvent à :

$$SC_M = DF \cdot C_I$$

Dans le domaine de l'infrastructure routière, le taux d'escompte est généralement fixé à $i = 2\%$. Il en résulte le facteur d'escompte DF suivant :

$$DF = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} = 0,032[1/\text{année}]$$

Les coûts de sécurité s'élèvent donc à :

$$SC_M = 2\,600\,000 \cdot 0,032 = 83\,200 \text{ francs}/\text{année}$$

et, finalement, l'efficacité de l'intervention :

$$EF_M = \frac{\Delta R_M}{SC_M} = \frac{17\,300}{83\,200} = 0,21 \ll 1,0$$

Le coefficient EF_M est bien plus petit que 1.

Étape 8 : évaluation de la proportionnalité de l'intervention de maintenance relative à la sécurité

En application des ch. 5.4.3 et B.3 de la norme SIA 269, les résultats des étapes 1 à 7 doivent être évalués dans tous les cas. En règle générale :

- Si la valeur mathématique de l'efficacité des interventions EF_M est inférieure à 0,5, l'intervention de maintenance relative à la sécurité est disproportionnée et ne doit pas être entreprise.
- En revanche, l'intervention relative à la sécurité doit être réalisée si $EF_M > 2,0$.
- Dans tous les cas, si les valeurs mathématiques de l'efficacité des interventions sont de $0,5 < EF_M < 2,0$, une analyse de sensibilité doit être réalisée puisque le résultat n'est pas équivoque au vu des valeurs en partie estimées approximativement.

Dans l'exemple ici, la valeur de l'efficacité des interventions EF_M est significativement plus basse que 0,5. Il en résulte que l'intervention de maintenance relative à la sécurité est disproportionnée et ne doit pas être réalisée.

Si des ressources financières ont déjà été mises à disposition pour l'intervention, celles-ci doivent alors être investies dans des mesures de sécurité proportionnées et qui apportent une vraie plus-value aux utilisateurs de l'infrastructure routière, dans l'optique d'une utilisation parcimonieuse des fonds publics.

C'est pourquoi la proportionnalité de l'intervention de maintenance relative à la sécurité devrait toujours être évaluée au sein de l'équipe de projet en collaboration avec les représentants du maître d'ouvrage.

Étape 9 : analyse de sensibilité

Les paramètres principaux des actions et de la résistance ultime, tout comme de la situation de risque selon l'étape 2, doivent être actualisés dans le cadre de l'analyse de sensibilité.

En règle générale, les trois aspects suivants revêtent la plus haute importance :

- Le nombre de victimes est déterminant pour évaluer le coût du dégât D relatif à l'accident envisagé à l'étape 2. En Suisse, la valeur monétaire pour la propension à payer afin de réduire le risque d'accident et le risque pour la santé est relativement significative, et généralement bien plus élevée que les dommages matériels causés par une collision.
- La qualité du projet pour la mise en œuvre de l'intervention relative à la sécurité et ses coûts de construction sont déterminants. Le renforcement des structures porteuses et des parties des structures porteuses existantes est une équation difficile, dans le sens où le concept envisagé et les (nouvelles) technologies utilisées influencent les coûts de construction, qui peuvent soit être maintenus à un niveau relativement bas (ce qui est évidemment le but recherché par la conservation d'ouvrages), soit s'avérer élevés, ce qui peut ouvrir la porte à une nouvelle construction de remplacement.
- Une actualisation subséquente de la force due au choc mènerait souvent à une valeur d'examen de la force due au choc plus faible, et donc à un degré de conformité plus élevé. De manière analogue, une actualisation subséquente de la résistance structurale du parapet de sécurité existant aboutirait généralement à une valeur d'examen de la résistance ultime plus haute, impliquant de fait un degré de conformité également plus élevé.

Glossaire

Les termes utilisés dans le présent document correspondent à ceux des normes SIA 260 et suivantes. La liste ci-dessous comprend tous les termes qui ne figurent pas dans les normes SIA.

Terme	Signification
Calcul probabiliste	Calcul dans lequel les variables n'ont pas des valeurs fixes (déterminées) mais sont définies par une fonction de distribution. Les résultats de tels calculs sont associés à un taux de probabilité.
Choc d'un véhicule	Collision d'un véhicule contre un ouvrage.
Dispositif routier de retenue de véhicules	Mesure constructive en-dehors de la chaussée qui dévie, resp. retient des véhicules sortant de la route. Il peut s'agir de glissières, de parapets de sécurité ou d'atténuateurs de choc.
Force due au choc (charge)	Force agissante sur l'ouvrage lors d'un choc.
Glissière de sécurité	Système de retenue déformable, généralement formé de glissières et de poteaux en acier, qui dévie, resp. retient des véhicules sortant de la route
Mesure de sécurité	Mesure pour garantir ou maintenir la sécurité.
Niveau de retenue	Capacité de retenue d'un dispositif routier de retenue de véhicules définie par un essai de choc.
Parapet de sécurité	Système de retenue rigide ou peu déformable, généralement en béton, qui dévie, resp. retient des véhicules sortant de la route.
Poids lourds (PL)	Les poids lourds sont des véhicules routiers dont le poids total maximal est supérieur à 3,5 tonnes. Il s'agit de camions, de trains routiers, de poids lourds articulés et d'autocars.
Probabilité de défaillance	Fréquence relative (par ex. par année) à laquelle la défaillance (d'une structure porteuse) survient lors de nombreux événements indépendants sous les mêmes conditions (taux de fréquence).
Risque	Caractérisation qualitative ou quantitative d'un dégât en fonction de la probabilité de son occurrence et de son ampleur.
Sécurité	État qui, grâce à des mesures appropriées, permet de garder une mise en danger sous contrôle ou de la réduire à un niveau acceptable.
Structure porteuse	Ensemble formé des éléments de construction et du sol de fondation nécessaire pour garantir l'équilibre et la conservation de la forme d'une construction.
Trafic journalier moyen (TJM)	Nombre de véhicules moyen se déplaçant dans les deux sens de circulation sur une route durant 24 heures.

Majuscules latines	Signification
AASHTO	<i>American Association of State Highway and Transportation Officials</i>
PTL	Part du trafic lourd
CO	Classe d'ouvrages
DF	Facteur d'escompte
TJM	Trafic journalier moyen
DRV	Dispositif routier de retenue de véhicules

Majuscules latines	Signification
A_d	Valeur de dimensionnement d'une action accidentelle
A_{Qd}	Distance entre le DRV et la structure porteuse en cas de choc d'un véhicule (châssis du véhicule)
A_{Qhd}	Distance entre le DRV et la structure porteuse en cas de choc de la carrosserie y c. équipement et du chargement
A_{ST}	Distance entre la chaussée et la structure porteuse
E_d	Valeur de dimensionnement d'un effet d'action
IK	Coût d'investissement
M_d	Valeur de dimensionnement du moment de flexion
$M_{R,pl}$	Résistance plastique à la flexion
M_{Rd}	Valeur de dimensionnement de la résistance maximale à la flexion
N_d	Valeur de dimensionnement de l'effort normal
N_{Rd}	Valeur de dimensionnement de la résistance maximale à l'effort normal
Q	Force due au choc de véhicules (châssis du véhicule)
Q_d	Valeur de dimensionnement d'une force due au choc de véhicules (châssis du véhicule)
Q_α	Force due au choc de véhicules (châssis du véhicule) lors d'un choc frontal contre un pilier
$Q_{d,\alpha}$	Valeur de dimensionnement d'une force due au choc de véhicules lors d'un choc frontal contre un pilier
Q_y	Force due au choc de véhicules (châssis du véhicule) lors d'un choc latéral contre une paroi
$Q_{d,y}$	Valeur de dimensionnement d'une force due au choc de véhicules lors d'un choc latéral contre une paroi
Q_h	Force due au choc d'éléments d'un véhicule de transport lourd et de son chargement
$Q_{h,\alpha}$	Force due au choc d'éléments d'un véhicule de transport lourd et de son chargement lors d'un choc frontal contre un pilier
$Q_{h,x}$	Force due au choc d'éléments d'un véhicule de transport lourd et de son chargement lors d'un choc frontal contre une superstructure
$Q_{h,y}$	Force due au choc d'éléments d'un véhicule de transport lourd et de son chargement lors d'un choc latéral contre une paroi
Q_{hd}	Valeur de dimensionnement d'une force due au choc d'éléments d'un véhicule de transport lourd et de son chargement
$Q_{hd,\alpha}$	Valeur de dimensionnement d'une force due au choc d'éléments d'un véhicule de transport lourd et de son chargement lors d'un choc frontal contre un pilier
$Q_{hd,x}$	Valeur de dimensionnement d'une force due au choc d'éléments d'un véhicule de transport lourd et de son chargement lors d'un choc frontal contre une superstructure
$Q_{hd,y}$	Valeur de dimensionnement d'une force due au choc d'éléments d'un véhicule de transport lourd et de son chargement lors d'un choc latéral contre une paroi
Q_o	Valeur de base de la force due au choc
$Q_{o,\alpha}$	Valeur de base de la force due au choc pour un choc frontal contre un pilier
$Q_{o,y}$	Valeur de base de la force due au choc pour un choc latéral contre une paroi
Q_R	Force due au choc pour laquelle la vérification de la sécurité structurale calculée est exactement remplie (état-limite de la sécurité structurale)
$\psi_{1i} Q_{ki}$	Valeur fréquente d'une action variable concomitante
R_d	Valeur de dimensionnement de la résistance ultime
D	Le coût du dégât
C_i	Coûts d'investissement imputables à la sécurité
SC_M	Coûts de sécurité (valeur monétaire annuelle)
PL	Poids lourd
V_d	Valeur de dimensionnement de l'effort tranchant
V_{Rd}	Valeur de dimensionnement de la résistance à l'effort tranchant

Majuscules latines	Signification
W_{pl}	Moment de résistance plastique

Majuscules grecques	Signification
ΔR	Diminution de risque
Δp_f	Diminution de la probabilité de défaillance

Minuscules latines	Signification
a	Décélération du véhicule
b	Largeur
f_U	Résistance à la traction
h_Q	Hauteur d'action de la force due au choc de véhicule (châssis du véhicule)
h_{Qh}	Hauteur d'action de la force due au choc d'éléments d'un véhicule de transport lourd et de son chargement
k	Rigidité du véhicule
m	Masse du véhicule
n	Degré de conformité
n_{min}	Degré de conformité minimal
s	Distance de la structure porteuse au bord de la chaussée
s_O	Distance de la structure porteuse au bord de la chaussée sur un terrain plat
s_r	Distance entre la structure porteuse et le dispositif routier de retenue de véhicules
v	Vitesse du trafic, vitesse de sortie de route
t	Temps, épaisseur de la couche
x	Coordonnée
y	Coordonnée, distance latérale de sortie de route
z	Coordonnée

Minuscules grecques	Signification
α	Angle de sortie de route, angle de choc, angle d'action de la force due à un choc
μ	Valeur statistique moyenne
σ	Déviations standard statistique
ψ_h	Coefficient de réduction tenant compte du gabarit de hauteur libre sous la superstructure

Bibliographie

Instructions et directives de l'OFROU

- [1] ASTRA 22001 « **Manuel technique Ouvrages d'art (2022)** », www.astra.admin.ch.
- [2] ASTRA 12004 « **Détails de construction de ponts (2022)** », www.astra.admin.ch.
- [3] ASTRA 11005 « **Dispositifs de retenue de véhicules (2022)** », www.astra.admin.ch.

Normes

- [4] SN EN 1317-2:2010, « **Dispositifs de retenue routiers – Partie 2 : Classes de performance, critères d'acceptation des essais de choc et méthodes d'essai pour les barrières de sécurité incluant les barrières de bord d'ouvrage d'art** », CEN (2010)
- [5] SN EN 1317-5:2012, « **Dispositifs de retenue routiers – Partie 5 : Exigences relatives aux produits et évaluation de la conformité pour les dispositifs de retenue des véhicules** », CEN (2012)
- [6] prENV 1991-2-7:1995, « **Eurocode 1 : Bases du calcul et actions sur les structures – Parties 2-7 : Actions accidentelles** », CEN (2005).
- [7] SN EN 1991-1-7, « **Eurocode 1 : Actions sur les structures – Partie 1-7 : Actions générales – Actions accidentelles** », CEN (2006)
- [8] SN 505 160 (SIA 160), « **Actions sur les structures porteuses** », Société suisse des ingénieurs et des architectes (1989)
- [9] SN 505 260 (SIA 260), « **Bases pour l'élaboration des projets de structures porteuses** », Société suisse des ingénieurs et des architectes (2013)
- [10] SN 505 261 (SIA 261), « **Actions sur les structures porteuses** », Société suisse des ingénieurs et des architectes (2020)
- [11] SN 505 262 (SIA 262), « **Construction en béton** », Société suisse des ingénieurs et des architectes (2013)
- [12] SN 505 263 (SIA 263), « **Constructions en acier** », Société suisse des ingénieurs et des architectes (2013)
- [13] SN 505 269 (SIA 269), « **Bases pour la maintenance des structures porteuses** », Société suisse des ingénieurs et des architectes (2011)
- [14] SN 505 269/1 (SIA 269/1), « **Maintenance des structures porteuses – Actions** », Société suisse des ingénieurs et des architectes (2011)
- [15] SN 505 269/8 (SIA 269/8), « **Maintenance des structures porteuses – Séismes** », Société suisse des ingénieurs et des architectes (2017)
- [16] SN 640 200 – 202, « **Profil géométrique type** », Association suisse des professionnels de la route et des transports (VSS) (1992)
- [17] SN 640 566, « **Protection passive dans l'espace routier – Installation, choix et implantation de dispositifs routiers de retenue de véhicules** », Association suisse des professionnels de la route et des transports (VSS) (1995)
- [18] Norme VSS 40 561, « **Sécurité passive dans l'espace routier ; dispositifs de retenue de véhicules** », Association suisse des professionnels de la route et des transports (VSS) (2021)

Documentation / Rapports

- [19] American Association of State Highway and Transportation Officials AASHTO. (1977), « **Guide for Selecting, Locating and Designing Traffic Barriers** », Washington D.C.
- [20] Ammann, W. (1983) „**Stahlbeton- und Spannbetongtragwerke unter stossartiger Belastung**“, Birkhäuser Verlag, Bâle.
- [21] Office fédéral de la statistique (OFS). (2000) « **Statistique suisse des transports de 1996/2000** », Neuchâtel.
- [22] Office fédéral de l'environnement, des forêts du paysage OFEFP. (1992) « **Manuel de l'ordonnance sur les accidents majeurs OPAM. Directives pour voies de communication.** », OCFIM, Berne.
- [23] Bundesminister für Verkehr, Abteilung Strassenbau. (1982) „**Schäden an Brücken und anderen Ingenieurbauwerken – Ursachen und Erkenntnisse**“, Verkehrsblatt-Verlag Borgmann GmbH & Co. KG, Dortmund.

-
- [24] Bürkel Baumann Schuler. (1995) „**Wirksames Fahrzeuggewicht Schwerer Lastfahrzeuge zur Beurteilung des Anpralls an Schutzeinrichtungen**“, Office des ponts et chaussées des cantons de Berne et de Soleure, Büro für Nationalstrassen.
-
- [25] Hellmich, K. et al. (2000) „**Krafteinwirkung auf die Kappe und den Überbau einer Brückenkonstruktion infolge eines Anprallvorgangs an eine Stahlleitschiene**“, Stahlbau 69, Heft 9, Ernst & Sohn Verlag Berlin.
-
- [26] Union internationale des chemins de fer UIC. (2002) « **UIC-Code 777-1, Mesures pour prévenir les chocs de véhicules routiers contre les ponts-rails et visant à empêcher la pénétration de véhicules sur la voie ferrée** ».
-
- [27] Institut für Verkehrsplanung, Transporttechnik, Strassen- und Eisenbahnbau (IVT) der ETH Zürich. (1994-1997) „**Diverse Prüfberichte zu Anprallversuche an passive Schutzeinrichtungen**“, Zurich.
-
- [28] Klingmüller, O., Bourgund, U. (1992) „**Sicherheit und Risiko im Konstruktiven Ingenieurbau**“, Vieweg, Braunschweig, Wiesbaden.
-
- [29] Miyamoto, A., King, M.W. (1996) „**Design concept for reinforced concrete slab structures under soft impact loads**“, in Jones, N. et al. (Eds.): Structures under shock and impact IV, Computational Mechanics Publications, Southampton UK.
-
- [30] Popp, C. (1965) „**Untersuchungen über den Stossverlauf beim Anprall von Kraftfahrzeugen auf Stützen und Rahmenstiele aus Stahlbeton**“, Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Heft 172, Verlag Wilhelm Ernst und Sohn, Berlin.
-
- [31] Scheer, J. (2000) „**Versagen von Bauwerken – Ursachen**“, Lehren Band 1: Brücken, Ernst & Sohn Verlag, Berlin.
-
- [32] Bureau de prévention des accidents (BPA). (2000) « **Les accidents en Suisse – Statistique 2000** », Berne.
-
- [33] Shimada, T. et al. (1997) „**An Experiment on the Shock Absorbing Characteristics of the Road Terminal Pole with Absorbing System**“, Proceedings of the 2nd Asia-Pacific Conference on Shock & Impact Loads on Structures, Melbourne, Australie.
-
- [34] Siemes, T., Rostam, S. (1996) „**Durable safety and serviceability – a performance based design format**“, IABSE Colloquium Delft 1996, Basis of Design and Actions on Structures, Background and application of Eurocode 1, IABSE Report Volume 74, Zurich.
-
- [35] UK Railways Inspectorate (1997).
-
- [36] Vulin, D., Quincy, R. (1987) « **Accidents avec Sortie de Chaussée en Terre-Plein Central sur Autoroutes de Liaison** », Rapport INRETS n° 42, Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité (INRETS).
-
- [37] Office fédéral du développement territorial (ARE) (2022) « **Section Bases scientifiques : Value of Statistical Life (VOSL) : Valeur recommandée de la disposition à payer pour réduire les risques d'accidents et de santé en Suisse** ».
-
- [38] Vogel, T., Zwicky, D., Joray, D., Diggelmann, M., Hoj, N.P. (2009) « **Sécurité structurale des ouvrages existants** », mandat de recherche du groupe de travail sur la recherche en matière de ponts 2005/107, rapport de l'Association suisse des professionnels de la route et des transports (VSS) n° 623.
-

Liste des modifications

Édition	Version	Date	Modifications
2025	1.51	16.01.2025	<ul style="list-style-type: none"> Publication de la version française, corrections formelles de la version allemande.
2023	1.50	16.11.2023	<ul style="list-style-type: none"> Reprise des valeurs de base Q_d pour les routes à l'intérieur des localités de [3], [4]. Élimination de contradictions avec la norme VSS 40 561 relatives à la distance entre la structure porteuse et le bord de la chaussée. Indication sous forme de tableau des valeurs de calcul des forces dues au choc Q_d pour les dispositifs routiers de retenue de véhicules à mettre en place. Remplacement du coefficient de majoration ψ, tenant compte du volume du trafic par un coefficient de majoration tenant compte de l'accidentalité. Mise à jour et adaptation à la norme SIA 269 des prescriptions relatives à la vérification par le calcul d'ouvrages existants ainsi que de l'évaluation de la proportionnalité de mesures ; ajout d'un exemple concret. Intégration du rectificatif du 2020.
2020	1.11	01.05.2020	Adaptations formelles.
2020	1.10	20.02.2020	Rectificatif de l'édition 2005.
2005	1.00	01.01.2005	Entrée en vigueur de la directive 12008.

