

Directives techniques pour TRAM	section n° / page n°
Chapitre : 10. Ouvrages d'art	10.1 / 1
Section :	
Article :	Version : déc. 2013

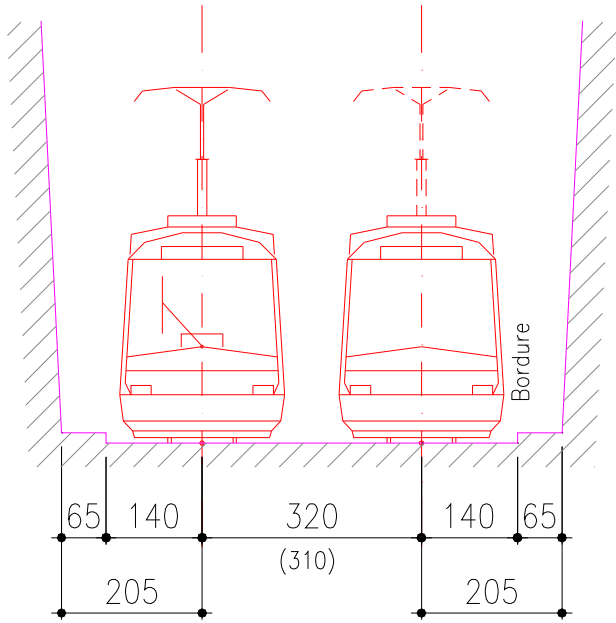
Table des matières du chapitre

		sections	/ pages
10.1	Profils types		
	10.1.1 En trémie	10.1 /	1
	10.1.2 En tunnel ou tranchée couverte	10.1 /	2
	10.1.3 Pose de voie spéciale sur ouvrages existants (ponts, parkings souterrains, etc.)	10.1 /	3
	10.1.4 Sur un ouvrage d'art à construire ou existant pose traditionnelle	10.1 /	4
	10.1.5 Sur un ouvrage d'art à construire ou existant pose sans traverses (voie noyée)	10.1 /	5 à 6
10.2	Ecoulement des eaux	10.2 /	1
10.3	Dimensionnement des ouvrages d'art		
	10.3.1 Ouvrages ferroviaires et routiers	10.3 /	1 à 3
10.4	Joints de dilatation et joints isolants		
	10.4.1 Généralités et exemples	10.4 /	1
10.5	Choc d'un tram contre un obstacle		
	10.5.1 Remarque préliminaire	10.5 /	1
	10.5.2 Principes de base	10.5 /	1
	10.5.3 Classes d'ouvrage	10.5 /	2
	10.5.4 Plan de sécurité et concept admis	10.5 /	3 à 4
	10.5.5 Type de tronçon, distance de sécurité	10.5 /	5 à 6
	10.5.6 Choc à considérer	10.5 /	7 à 11
	10.5.7 Eléments de protection contre les chocs	10.5 /	12 à 13
	10.5.8 Calcul et dimensionnement	10.5 /	14

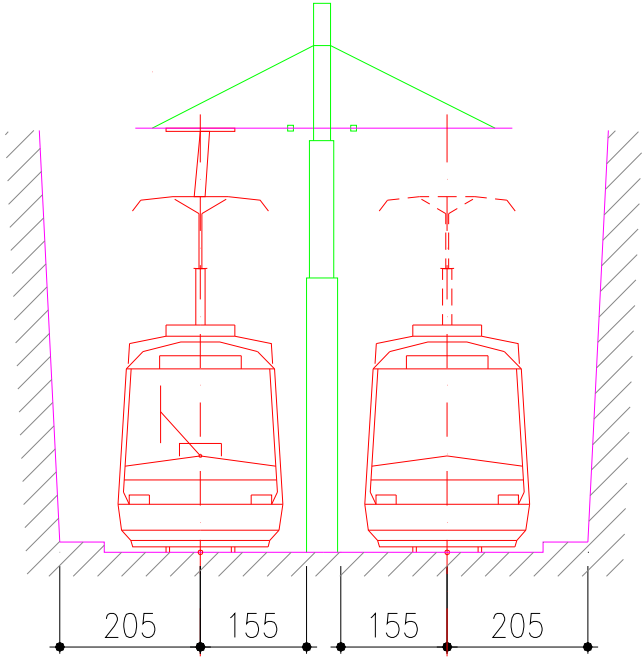
Remarque : Pour des raisons économiques, les solutions lourdes telles que dénivelés, tranchées couvertes, etc. doivent être limitées à des situations très particulières.

Directives techniques pour TRAM		section n° / page n°
Chapitre : 10. Ouvrages d'art	Section :	10.1 / 1
Article :	Version : déc. 2013	

- Remarque :
- En courbe, il faut ajouter aux valeurs ci-dessous les surlargeurs dues au **fauchage** et au **dévers**.
 - Attention : protection et signalisation vis à vis de la ligne de contact (voir ch. 11.6.3)



(valeur entre parenthèses)=minimum



Directives techniques pour TRAM		section n° / page n°
Chapitre : 10. Ouvrages d'art		10.1 / 2
Section : 10.1 PROFILS TYPES		
Article : 10.1.2 En tunnel ou tranchée couverte		Version : déc. 2013

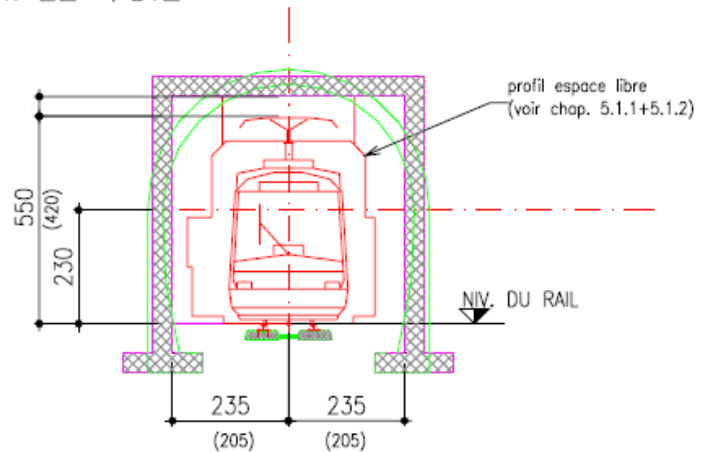
Voie de tram passant sous un ouvrage :

Il faut respecter la géométrie en élévation (voir ch. 4.2), le profil d'espace libre (voir ch. 5.1), les contraintes de la ligne aérienne (voir ch. 11.6) et les dispositions d'exécution de l'OIEC.

- Remarques :
- Pour circulation BUS : gabarit voir normes VSS 640 200, 201, 202.
 - En courbe, il faut ajouter aux valeurs ci-dessous les surlargeurs dues au **fauçage** et au **dévers**.
 - Pour la hauteur libre sous lignes de contact, les valeurs minimales indiquées entre parenthèse feront l'objet d'une demande de dérogation à l'OFT (voir ch. 11.5 et 11.6).

Hauteur de construction lignes de contact :
voir ch. 11.6

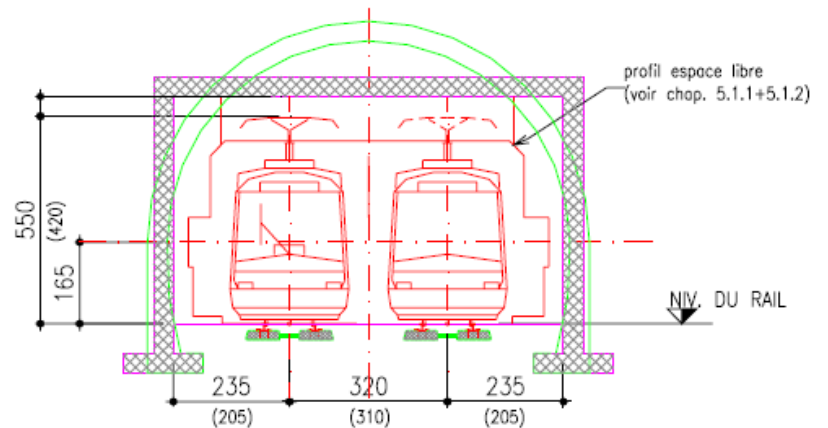
SIMPLE VOIE



DOUBLE VOIE

(valeur entre parenthèses)=minimum

Hauteur de construction lignes de contact :
voir ch. 11.6

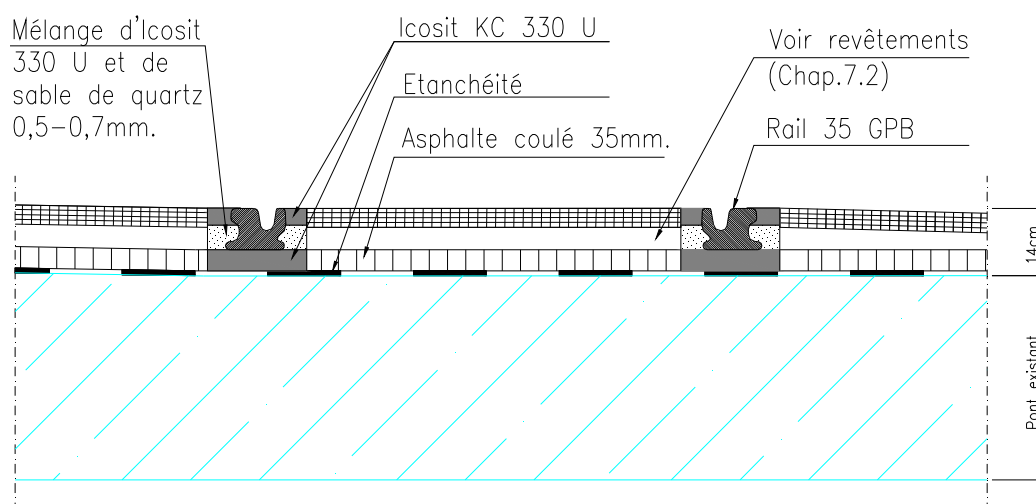


Directives techniques pour TRAM	section n° / page n°
Chapitre : 10. Ouvrages d'art	10.1 / 3
Section : 10.1 PROFILS TYPES	Version : déc. 2013
Article : 10.1.3 Pose de voie spéciale sur ouvrages existants (ponts, parkings souterrains, etc.)	

Si les charges occasionnées par les trams ne posent en général pas de problème car elles sont inférieures aux charges routières de la norme SIA n° 261/2003, il n'en va pas de même de la surépaisseur de finition sur le tablier nécessaire pour enrober les rails et leur fixation.

Si cela s'avère nécessaire, on pourra pour des cas particuliers limiter au maximum ce poids mort supplémentaire, soit en adoptant des rails de hauteur réduite, soit en réalisant la surépaisseur de finition avec un matériau léger, soit en combinant les deux solutions.

Exemple : Coupe avec profil bas type 35 GPB



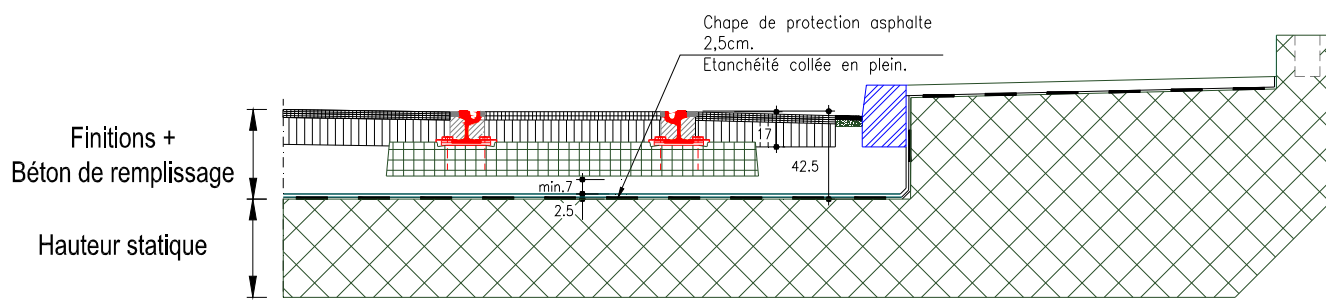
En général, on préférera adopter un système de "voie noyée"
(voir art.ch. 10.1.5)

Directives techniques pour TRAM	section n° / page n°
Chapitre : 10. Ouvrages d'art	10.1 / 4
Section : 10.1 PROFILS TYPES	Version : déc. 2013
Article : 10.1.4 Sur un ouvrage d'art à construire ou existant : pose traditionnelle	

- **Mode de pose des voies sur l'ouvrage selon pose traditionnelle** (voir ch. 6.2.3)

- Avantages :
 - Facilite les travaux d'entretien.
 - Utilisation de matériel standard.
- Inconvénients :
 - Augmentation du poids provoquant des sollicitations supplémentaires sur l'ouvrage qui peuvent conduire à une augmentation de la hauteur statique.
 - Coût plus élevé.
 - Ces surépaisseurs peuvent aussi avoir des influences négatives sur le profil en long.
 - Nécessite des mesures d'isolation vis-à-vis des courants vagabonds (remplissage chambre d'éclissage, voir ch. 6.2.5).

Exemple :



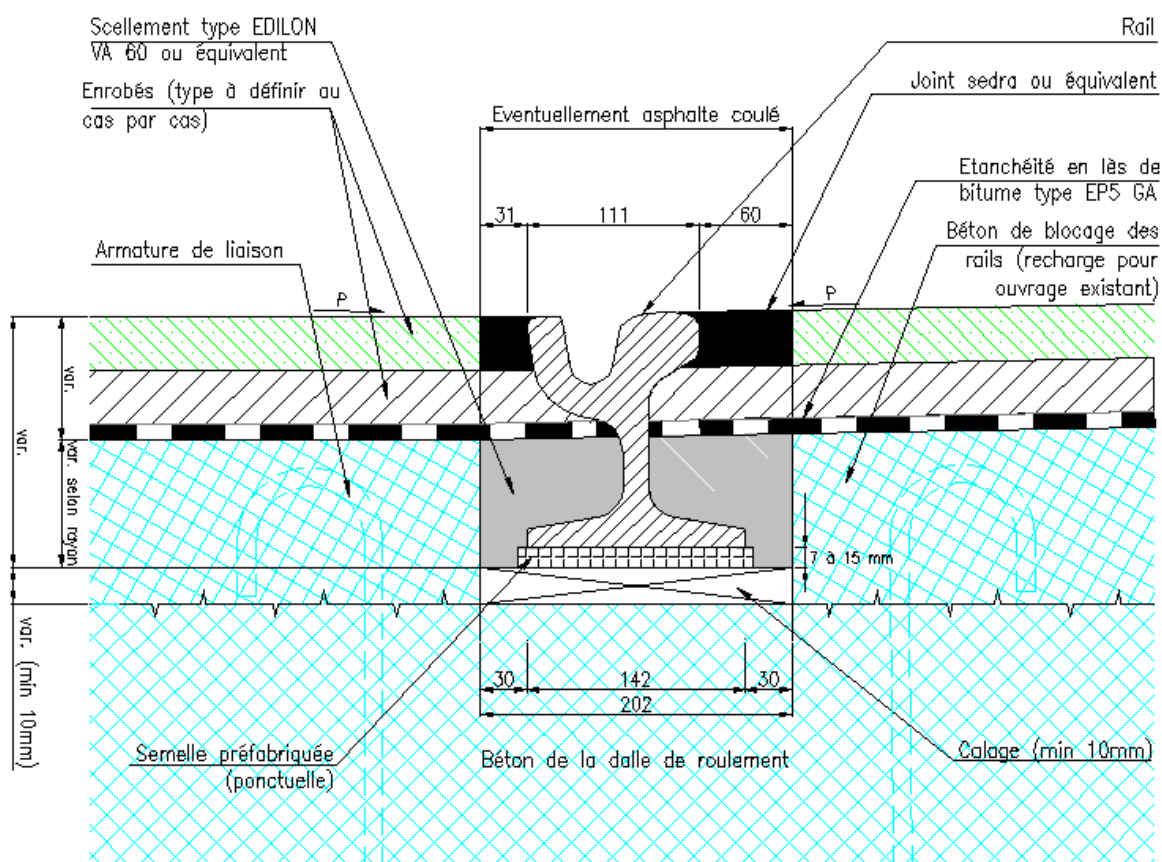
Directives techniques pour TRAM	section n° / page n°
Chapitre : 10. Ouvrages d'art	10.1 / 5
Section : 10.1 PROFILS TYPES	Version : déc. 2013
Article : 10.1.5 Sur un ouvrage d'art à construire ou existant : pose sans traverses « voie noyée »	

- Mode de pose sans traverses :

- Avantage : - Réduction de la hauteur totale (statique + finitions).
- Inconvénient : - Système de pose spécifique à l'ouvrage.

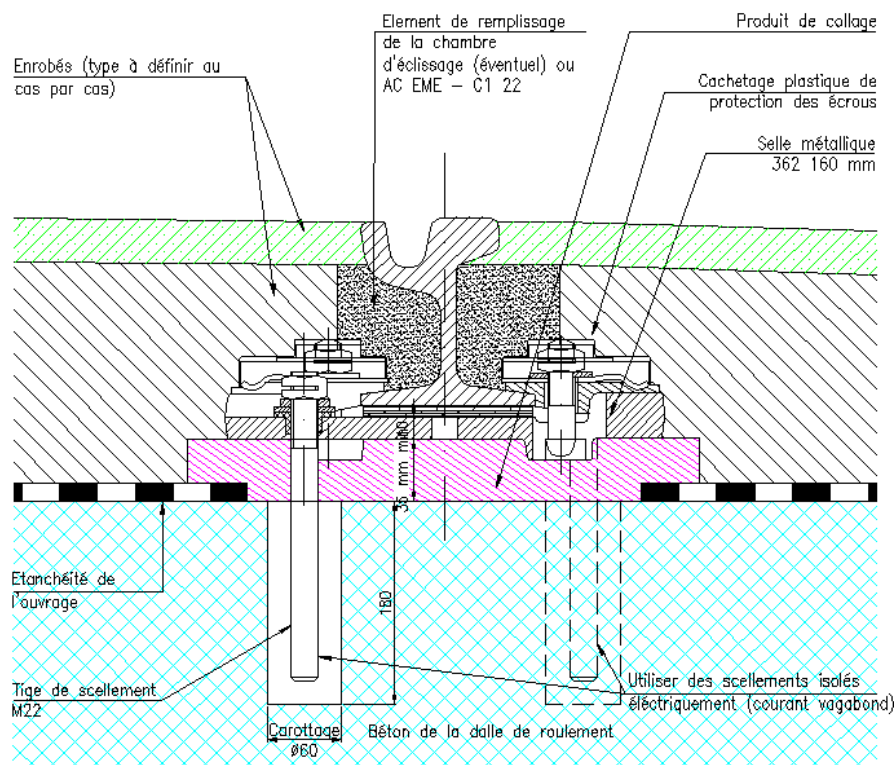
Exemple 1 : Avec rail standard 55-G2 et système "voie noyée"
En alignement

Remarque : la surépaisseur d'Edilon est à réaliser du côté opposé à la bavette du rail.



Directives techniques pour TRAM	section n° / page n°
Chapitre : 10. Ouvrages d'art Section : 10.1 PROFILS TYPES	10.1 / 6
Article : 10.1.5 Sur un ouvrage d'art à construire ou existant : pose sans traverses « voie noyée »	Version : déc. 2013

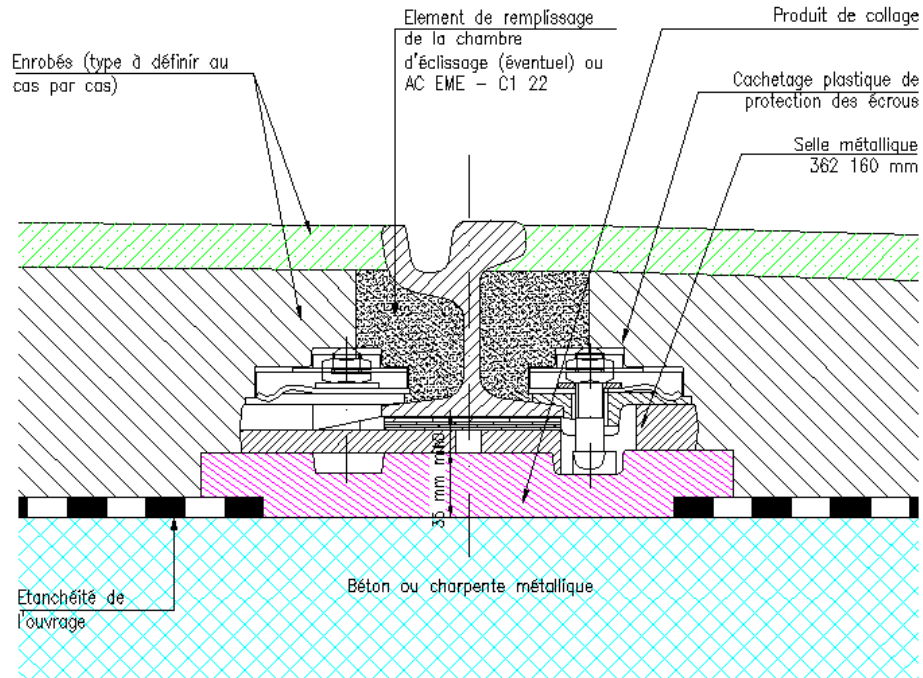
Exemple 3 : Avec rail standard 55-G2 et système "voie collée avec scellements"



Exemple 4 : Avec rail standard 55-G2 et système "voie collée sans scellement"

Type de pose à utiliser uniquement lorsque la structure ne permet pas la pose de scellements en raison d'un cisaillement possible du produit de collage dû à la dilatation du rail lors de la pose d'enrobés à chaud.

Directives techniques pour TRAM	section n° / page n°
Chapitre : 10. Ouvrages d'art Section : 10.1 PROFILS TYPES	10.1 / 6
Article : 10.1.5 Sur un ouvrage d'art à construire ou existant : pose sans traverses « voie noyée »	Version : déc. 2013



Directives techniques pour TRAM		section n° / page n°
Chapitre : 10. Ouvrages d'art		10.2 / 1
Section : 10.2 Ecoulement des eaux		
Article :		Version : déc. 2013

Sur des ouvrages courts < 30 ÷ 40 m, en principe il n'y a pas de reprise des eaux de la gorge du rail. Prévoir un écoulement à raccorder au collecteur principal de part et d'autre de l'ouvrage.

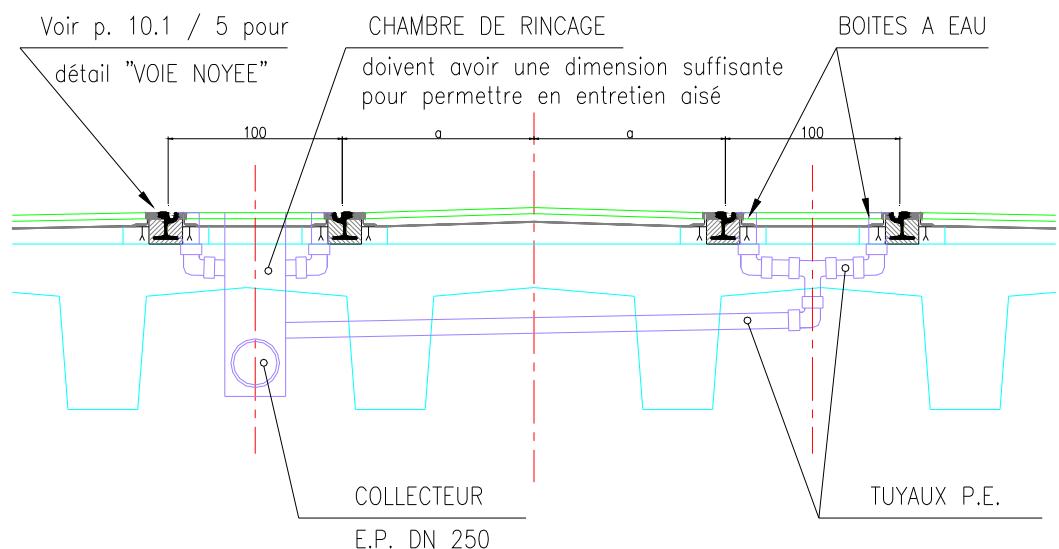
Sur des ouvrages plus longs, il est indispensable de récolter les eaux donc d'implanter des boîtes à eau standards tous les 25 m environ (voir ch. 6.2.7) qui seront raccordées à une chambre de rinçage (si possible implantée en dehors du site tram) qui elle-même sera raccordée à un collecteur longitudinal dont la position dépendra de la structure de l'ouvrage (par exemple entre poutres).

Rappel : Même pour des ponts sur des cours d'eau ou lac il est nécessaire de récolter les eaux dans un collecteur longitudinal (risque de pollution si écoulement direct).

Sur des ouvrages massifs (routes) le collecteur peut souvent être implanté dans une petite tranchée parallèle aux rails sans entrer en conflit avec la structure porteuse (ex : Pont de la Coulouvrenière).

Pour une double voie, un seul collecteur longitudinal est suffisant, les écoulements des deux voies étant raccordés au collecteur principal par des tuyaux en PE (ou PVC si autorisé) si la structure de l'ouvrage le permet.

Exemple : Dans le cas particulier, les boîtes à eau standards sont incorporées dans la masse en polyuréthane qui entoure le rail, et les chambres de rinçage ont du être placées entre rails.



Directives techniques pour TRAM		section n° / page n°
Chapitre : 10. Ouvrages d'art		10.3 / 1
Section : 10.3 DIMENSIONNEMENT DES OUVRAGES D'ART		Version : déc. 2013
Article : 10.3.1 Ouvrages ferroviaires et routiers		

Les ouvrages à construire doivent être dimensionnés selon les normes SIA n°260, 261 et 261/1 édition de 2003. Les ouvrages existants sont à vérifier selon la même procédure.

Il faut distinguer les ouvrages sollicités exclusivement par des charges dues au trafic ferroviaire, des ouvrages sollicités simultanément par des charges dues au trafic routier et ferroviaire (voir art. ch. 10.1.3 norme SIA n°261/2003).

Concernant le trafic ferroviaire, il s'agira aussi de préciser dans la convention d'utilisation si le cas de charge des trams-trains doit être étudié (outre leur modèle de charge différent, les trams et les trams-trains se différencient par l'écartement des rails de leur voie : voie métrique et voie normale).

Il sera aussi mentionné dans la convention d'utilisation si le cas de charge relatif aux transports exceptionnels selon la norme SIA n°261/1 édition 2003 doit être pris en compte.

Pour les constructions sollicitées par le trafic routier, on se reportera au chapitre 10 (trafic routier) de la norme SIA n°261/2003.

Pour les ouvrages qui supportent des trams, on se référera au modèle de charge 4 du chapitre 12 (trafic ferroviaire à voie étroite) de la norme SIA n°261/2003.

Les valeurs caractéristiques des charges des véhicules d'entretien pour les voies de trams et de trams-trains seront définies d'entente avec le MO dans la convention d'utilisation.

Directives techniques pour TRAM		section n° / page n°
Chapitre : 10. Ouvrages d'art		10.3 / 2
Section : 10.3 DIMENSIONNEMENT DES OUVRAGES D'ART		
Article : 10.3.1 Ouvrages ferroviaires et routiers		Version : déc. 2013

Pour les trams et les trams-trains, les valeurs caractéristiques des modèles de charge doivent être multipliées par le coefficient dynamique Φ défini sous le chiffre 11.3.1 de la norme SIA n°261/2003.

Dans le cas de voies normales (tram-trains), il sera précisé dans la convention d'utilisation si l'ouvrage est susceptible d'être emprunté par des trains CFF. Dans l'affirmative, on appliquera le chapitre 11 de la norme SIA n°261/2003. Pour des trains SNCF, il y aura lieu de prendre contact avec l'autorité compétente pour définir les normes à appliquer.

Pour le déraillement des trams, on appliquera le paragraphe 12.5 de la norme SIA n°261/2003. En ce qui concerne les trams-trains, les valeurs caractéristiques de ce cas de charge seront définies d'entente avec le MO et spécifiées dans la convention d'utilisation.

Pour les chocs relatifs aux véhicules routiers et ferroviaires, on appliquera les valeurs de du chapitre 10.5 des présentes directives.

Les prescriptions concernant les dispositions d'exécution de l'ordonnance sur les chemins de fer (DE-OCF) éditées en juillet 2006, et notamment l'article 27 / annexe n°1 pour les ouvrages situés à proximité, au-dessus ou au-dessous du chemin de fer sont aussi consultées. Les valeurs indiquées dans les tableaux de cette ordonnance se rapportent aux chemins de fer principaux à voie normale. Pour les autres types de chemin de fer, en particulier les chemins de fer à voie étroite et les tramways, il y a lieu d'appliquer ces valeurs par analogie, en accord avec l'autorité de surveillance. (<http://www.bav.admin.ch>)

Les dispositifs de retenue disposés sur les ouvrages d'art (pour piétons et cyclistes, véhicules routiers et ferroviaires) seront définis dès l'établissement de la convention d'utilisation, et étudiés ensuite conformément aux normes et règlements en vigueur.

Directives techniques pour TRAM		section n° / page n°
Chapitre : 10. Ouvrages d'art		10.3 / 3
Section : 10.3 DIMENSIONNEMENT DES OUVRAGES D'ART		Version : déc. 2013
Article : 10.3.1 Ouvrages ferroviaires et routiers		

Pour des ouvrages purement ferroviaires toutes les spécifications données dans le présent article (ch. 10.3.1) à propos du trafic ferroviaire restent valables.

Lors de la vérification de la capacité portante d'ouvrages existants, les valeurs des charges à prendre en compte sont à convenir d'entente avec le MO, en fonction des véhicules qui emprunteront l'ouvrage (y compris les véhicules d'entretien), ceci afin de limiter les conséquences financières induites par des travaux de renforcement ou d'une éventuelle démolition-reconstruction.

Dans tous les cas, la convention d'utilisation doit être avalisée par les services compétents du MO. La base de projet qui en découle sera transmise dès que possible au MO pour information (ou contrôle).

Remarques :

- 1) Il est rarement possible de construire une voie de tram sur un ouvrage existant supportant également des véhicules sur pneus sans augmenter le poids mort de l'ouvrage.

En effet, le rail et sa fixation ont habituellement une hauteur supérieure à l'épaisseur des finitions d'un ouvrage routier. Il n'est généralement pas possible d'engraver cette différence d'épaisseur dans le tablier de l'ouvrage qui fait partie de son système statique. La solution consiste donc à augmenter l'épaisseur des finitions y compris sur une surface de raccord compatible avec la géométrie routière (voir aussi ch. 10.1.3 et 10.1.4).

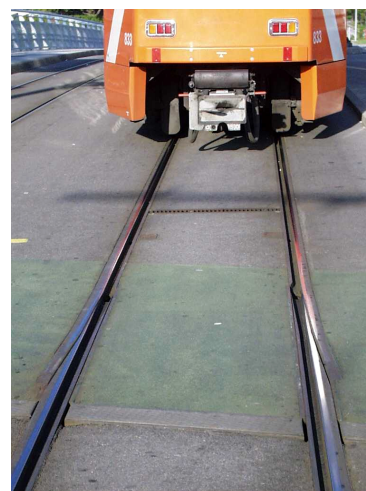
Le calcul statique de l'ouvrage devra donc être vérifié en tenant compte de tous ces éléments.

- 2) Sur toute la longueur d'une ligne empruntée par un matériel dédié il est nécessaire d'avoir la même capacité portante pour tous les ouvrages, qu'ils soient neufs, existants ou à transformer / renforcer.

Directives techniques pour TRAM		section n° / page n°
Chapitre : 10. Ouvrages d'art	JOINTS DE DILATATION ET JOINTS ISOLANTS	10.4 / 1
Section : 10.4		Version : déc. 2013
Article : 10.4.1 Généralités et exemples		

- Les voies de tram ne comportent en principe pas de joint de dilatation car elles sont complètement enrobées par les revêtements (les chocs thermiques sont atténués) et surtout, le blocage des traverses dans une dalle de fondation donne à l'ensemble une très grande rigidité qui permet d'absorber les efforts de compression ou traction résultant du réchauffement ou refroidissement, sans flambage ni rupture des rails.
Il convient cependant de poser et souder les voies à des températures moyennes.
- Lorsqu'une voie de tram franchit le joint de dilatation d'un ouvrage d'art, il est nécessaire de prévoir également un joint de dilatation pour les rails, avec pontage électrique des masses.
Leur conception doit permettre d'éviter le choc des bandages, sources d'usure et de bruit.
- Lorsque le tablier est encastré dans la culée il n'y a en principe pas de déplacements verticaux ni horizontaux; toutefois le pont comporte en général une dalle de transition qui peut subir une légère rotation. Certains système de pose (par ex. "voie noyée" p. 10.1 / 5) permettent de l'absorber du fait de leur élasticité. Ce problème est à apprécier de cas en cas.
- Pour des raisons électriques ou de signalisation de sécurité (aiguillages), il est souvent nécessaire de prévoir des joints isolants, qui sont parfois doubles, pour éviter l'effet de pontage lors du passage d'un bogie.
Voir ch. 11.9 pour la protection contre la corrosion provoquée par les courants vagabonds d'installation à courant continu.

Exemples de réalisation :



Directives techniques pour TRAM		section n° / page n°
Chapitre : 10. Ouvrages d'art		10.5 / 1
Section : 10.5 CHOC D'UN TRAM CONTRE UN OBSTACLE		Version : sept. 2014
Article : 10.5.1 Remarque préliminaire		
10.5.2 Principes de base		

- Base de l'étude :
- Chapitre 14 de la norme SIA 261 édition 2003.
 - Directive OFT / OCF art. 27 et annexe n°1 art. 27
 - Directive OFROU « Chocs provenant de véhicules routiers »

10.5.1 Remarque préliminaire :

Comme le précise la norme européenne PR EN 2-7, art. 3.2 : Aucune structure ne peut être censée résister à toutes les actions qui pourraient résulter d'une cause extrême, mais on doit limiter à une valeur raisonnable la probabilité que l'endommagement soit disproportionné par rapport à la cause d'origine.

En cas de circulation générale, la norme SIA 261 chapitre 14 est applicable (chocs routiers).

10.5.2 Principes de base :

Les actions sur la structure porteuse dues aux chocs dépendent de la masse et de la vitesse du corps percutant, ainsi que de la répartition de la masse, de la capacité de déformation et des propriétés d'amortissement du corps et de la structure porteuse (SIA 261, art. 14.1.5)

Voir aussi SIA 261 art. 14.1.3, 14.1.4, et 14.1.6

Directives techniques pour TRAM		section n° / page n°
Chapitre : 10. Ouvrages d'art	Section : 10.5 CHOC D'UN TRAM CONTRE UN OBSTACLE	10.5 / 2
Article : 10.5.3 Classes d'ouvrage		Version : sept. 2014

La classification retenue ci-dessous correspond aux directives de l'OFT concernant l'ordonnance sur les chemins de fer (OCF, annexe n°1 art.27-4)

Ne sont pas concernés par ces directives : les installations techniques et les structures dont l'effondrement ne met selon toute probabilité pas en cause des vies humaines ni l'exploitation. Ce sont par exemple les mâts des lignes de contact et d'éclairage public, les bornes, les parois antibruit, les signaux et autre mobilier urbain. Ne sont pas non plus concernées en règle générale : les marquises.

Les ouvrages situés aux abords et au-dessus des voies sont répartis dans les classes suivantes :

Classe A	Ouvrages à fort potentiel de dommage, qui font souvent état d'une densité élevée de population tels que : <ul style="list-style-type: none"> - Bâtiments à proximité ou au-dessus du chemin de fer (ou du tram) et comprenant des locaux commerciaux, de manifestation, de formation ou de fabrication - Bâtiments d'habitation, parkings ou entrepôts à plusieurs étages à proximité ou au-dessus du chemin de fer (ou du tram) - Saut-de-mouton du chemin de fer (ou du tram) sur des tronçons à fort volume de trafic (≥ 120 trains par jour et par direction) - Ponts routiers importants et à fort volume de trafic (TJM > 40'000 veh./j) - Gares souterraines
Classe B	Ouvrages à potentiel de dommage considérable, qui font souvent état d'une densité de population faible à moyenne tels que : <ul style="list-style-type: none"> - Ponts routiers, passerelles pour cyclistes et piétons - Saut-de-mouton du chemin de fer sur des tronçons à volume de trafic faible ou moyen (< 120 trains par jour et par direction) - Bâtiments à un ou deux étages situés au-dessus du chemin de fer (ou du tram), sans logements ni locaux commerciaux, de formation ou de fabrication - Galeries de protection du chemin de fer (tram)
Classe C	Ouvrages à faible potentiel de dommage, qui font, en règle générale, état d'une faible densité de population tels que : <ul style="list-style-type: none"> - Maisons individuelles (seules ou mitoyennes) à un ou plusieurs étages et autres bâtiments d'habitation à un ou deux étages situés à proximité du chemin de fer (ou du tram) - Usines et entrepôts à un étage - Dépôts et ateliers du chemin de fer (ou du tram) - Structures porteuses de lignes de transport d'électricité en béton armé
Classe D	Ouvrages à un seul étage sur les quais, structures porteuses d'installations de la technique ferroviaire, ouvrages qui ne sont pas attribuables à une autre classe tels que : <ul style="list-style-type: none"> - Pylônes de ligne de contact et mâts de signalisation, ponts de signalisation - Marquises pour une ou deux bordures de quai, mais pas les halles de quai - Installations de chargement

Tableau 1 : Classes d'ouvrage

Directives techniques pour TRAM		section n° / page n°
Chapitre : 10. Ouvrages d'art	CHOC D'UN TRAM CONTRE UN OBSTACLE	10.5 / 3
Section : 10.5		Version : sept. 2014
Article : 10.5.4 Plan de sécurité et concept admis		

Le **plan de sécurité** de l'ouvrage concerné devra décrire la stratégie de sécurité adoptée et les scénarios de danger considérés (chap. 2 de la norme SIA n° 260). Ces derniers devront tenir compte de la géométrie des voies et de la position des piliers (une courbe, un appareil de voie ou une pente accroissent les risques de déraillement). Le plan de sécurité contiendra un schéma des scénarios retenus.

Les causes d'un déraillement peuvent être une vitesse excessive, une courbe, un branchement défectueux, un objet sur la voie, un choc avec un autre véhicule ou une déféctuosité technique du tram.

La présence d'appareils de voie détermine dans une large mesure la probabilité de déraillement et de choc. Il faut donc éviter de placer des appareils de voie à proximité d'ouvrages de classe A et B.

Il n'y a pas lieu de considérer simultanément séisme et choc.

L'action accidentelle prépondérante Ad (selon norme SIA n° 260 art. 4.4.3.6) correspond ici à la force de choc d'un tram Q, définie plus loin dans ce chapitre. Il conviendra d'y ajouter des actions concomitantes, au cas par cas.

Choc sur poteaux

- On vérifiera tous les poteaux susceptibles de recevoir un choc frontal sur la base des trajectoires plausibles après déraillement en tenant compte de la position des piliers, de la géométrie des voies, des branchements, croisements, etc.

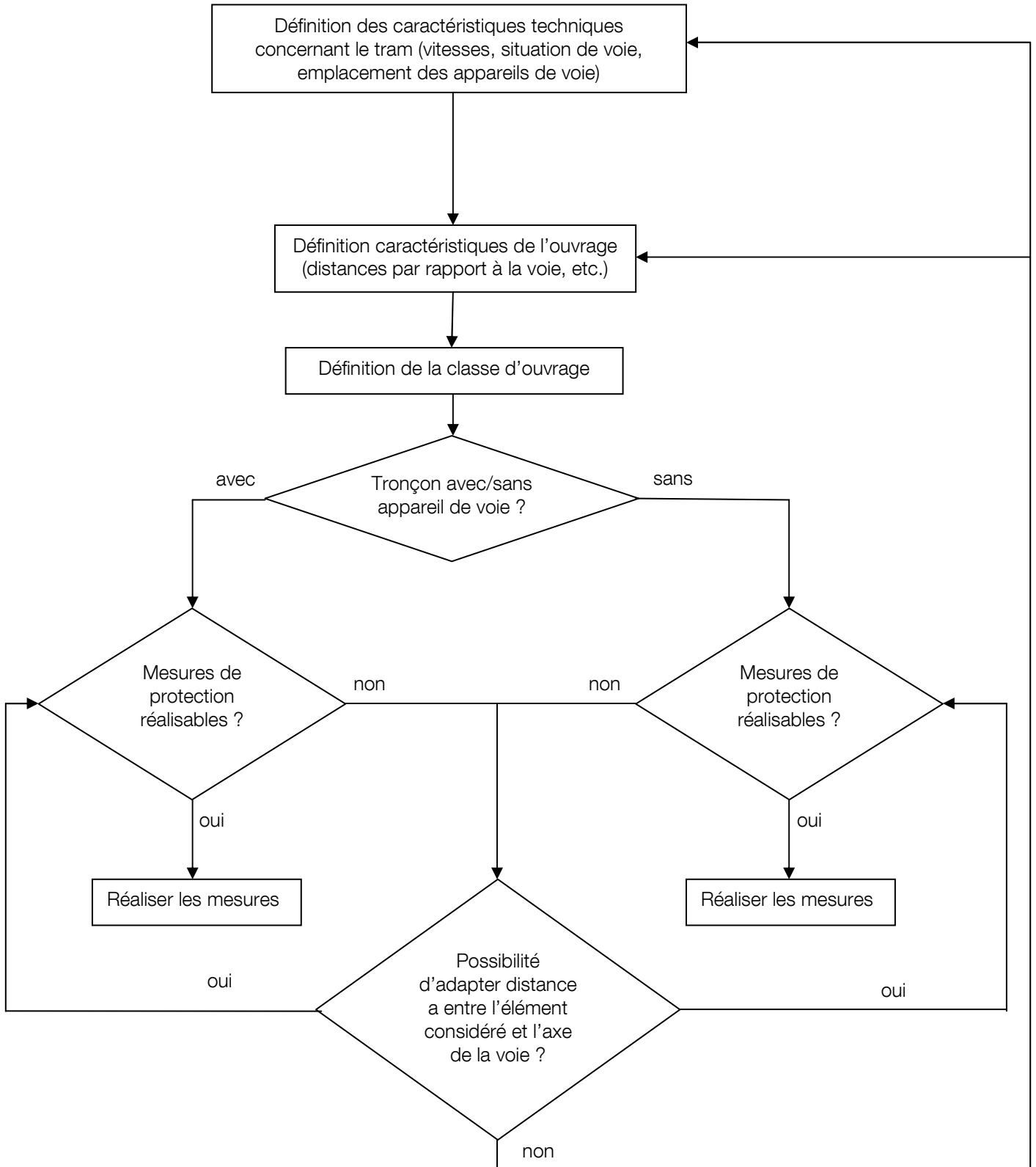
Deux concepts sont envisageables :

- La structure est **dimensionnée pour absorber** le choc.
Une déformation, même très importante, est acceptable mais la structure ne doit en aucun cas s'effondrer.
- La structure est conçue pour permettre la **destruction de l'élément ayant reçu le choc**. Une déformation, même très importante, est acceptable mais la structure ne doit en aucun cas s'effondrer.

Les **liaisons** socle / pilier / structure devront être conçues pour que la destruction du pilier n'entraîne pas la chute de la structure.

En principe ce concept implique des poutres ou dalles sur 3 appuis au minimum. Les poutres principales seront, de préférence, orientées perpendiculairement à la voie car plusieurs piliers en alignement parallèle aux voies peuvent être détruits.

Concept de dimensionnement admis



Directives techniques pour TRAM	section n° / page n°
Chapitre : 10. Ouvrages d'art	10.5 / 5
Section : 10.5 CHOC D'UN TRAM CONTRE UN OBSTACLE	Version : sept. 2014
Article : 10.5.5 Type de tronçon, distance de sécurité	

Tronçon avec /sans appareil de voie (d'après DE-OCF annexe n°1 art. 27 5.1) :

La détermination d'un type de tronçon se fait en fonction d'une distance critique d_{CR} par rapport à l'appareil de voie le plus proche. Au-delà de cette distance d_{CR} , on a lieu de considérer un tronçon sans appareil de voie (voir fig. 1).

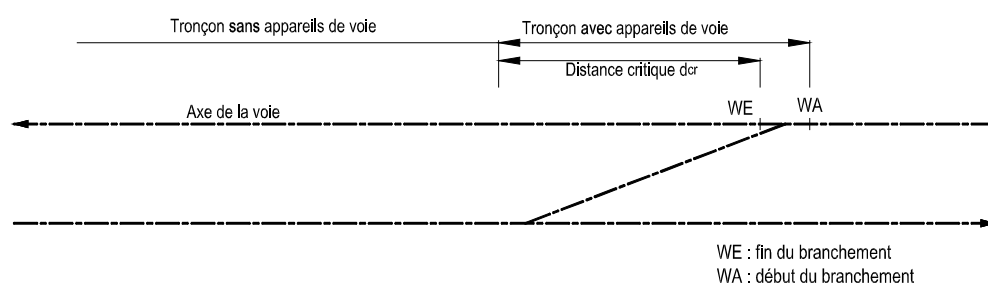


Fig. 1 Type de tronçons

$$\text{On a : } d_{CR} [m] = v^2 [km/h] / 80$$

Distances de sécurité (d'après DE-OCF annexe n°1 art. 27 6.2) :

Une distance minimale a_{min} doit être respectée entre les éléments de structure exposés à des chocs et l'axe de la voie la plus proche.

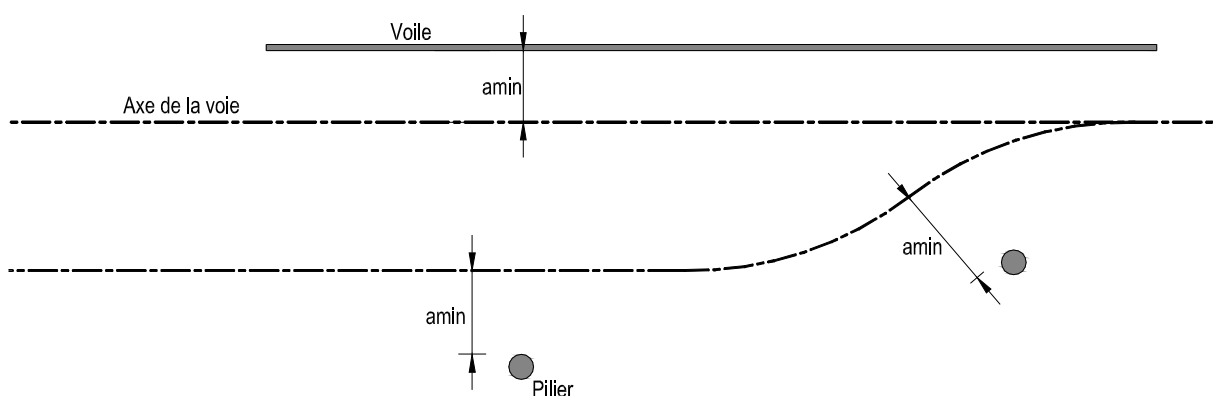


Fig. 2 Distances de sécurité

Directives techniques pour TRAM	section n° / page n°
Chapitre : 10. Ouvrages d'art	10.5 / 6
Section : 10.5 CHOC D'UN TRAM CONTRE UN OBSTACLE	Version : sept. 2014
Article : 10.5.5 Type de tronçon, distance de sécurité	

Pour des tronçons de vitesse $v > 20$ km/h, $a_{\min} = 2,80$ m

Pour des tronçons de vitesse $v < 20$ km/h, a_{\min} peut être réduite à la moitié de la largeur du profil d'espace libre si une des conditions suivantes est respectée :

- Aucun train de voyageurs ne circule et les éléments exposés aux chocs sont dimensionnés en prenant en compte les forces de chocs correspondant à la classe d'ouvrage et aux conditions d'exploitation correspondants.
- L'ouvrage est de classe D

Distances limites (d'après DE-OCF annexe n°1 art. 27 6.2) :

Les éléments situés à une distance inférieure à la distance limite a_G sont considérés comme exposés aux chocs et doivent donc être dimensionnés de manière à y résister.

Les éléments porteurs doivent être placés autant que possible à une distance de la voie $a > a_G$.

Valeurs de la distance limite a_G :

	Tronçon avec appareil de voie	Tronçon sans appareil de voie
Ouvrages de classe A	$a_G = 9,00$ m	$a_G = 8,00$ m
Ouvrages de classe B et C	$a_G = 5,00$ m	$a_G = 4,00$ m
Ouvrages de classe D	Seule la distance minimale a_{\min} doit être respectée	

Tableau 1 : Distances limites a_G

Directives techniques pour TRAM		section n° / page n°
Chapitre : 10. Ouvrages d'art	CHOC D'UN TRAM CONTRE UN OBSTACLE	10.5 / 7
Section : 10.5		Version : sept. 2014
Article : 10.5.6 Choc à considérer		

Le choc est un phénomène d'interaction entre le corps percutant et la structure. On peut utiliser le modèle du bilan énergétique simplifié qui considère l'énergie cinétique initiale du corps percutant, sa capacité de déformation ainsi que la capacité de déformation de la partie d'ouvrage concernée.

La force due au choc est déterminée de la manière suivante :

$$Q_{acc} = \frac{M \cdot V^2}{2} \cdot \frac{1}{(w_K + w_B)}$$

Q_{acc} : valeur de dimensionnement de la force due au choc [kN]

M : masse du corps percutant [kg]

V : vitesse du corps percutant [m/s]

w_K : déformation élastique et plastique du corps percutant [mm]

w_B : déformation élastique et plastique de la partie d'ouvrage [mm]

L'influence favorable d'éléments de protection sur la transformation de l'énergie et sur la déviation de la trajectoire du corps percutant pourra être prise en compte.

Cette formule théorique, valable pour le choc frontal, est difficilement utilisable car l'estimation de w_K est mal connue, faute de résultats d'essais (crash-test), et celle de w_B complexe.

Types de chocs (d'après DE-OFROU v.2005) :

Le choc d'un tram peut se dérouler de 2 manières :

- Le choc frontal contre un pilier ou une superstructure : sous un angle α par rapport au sens de circulation, axe x. La force de choc est appelée Q_α .

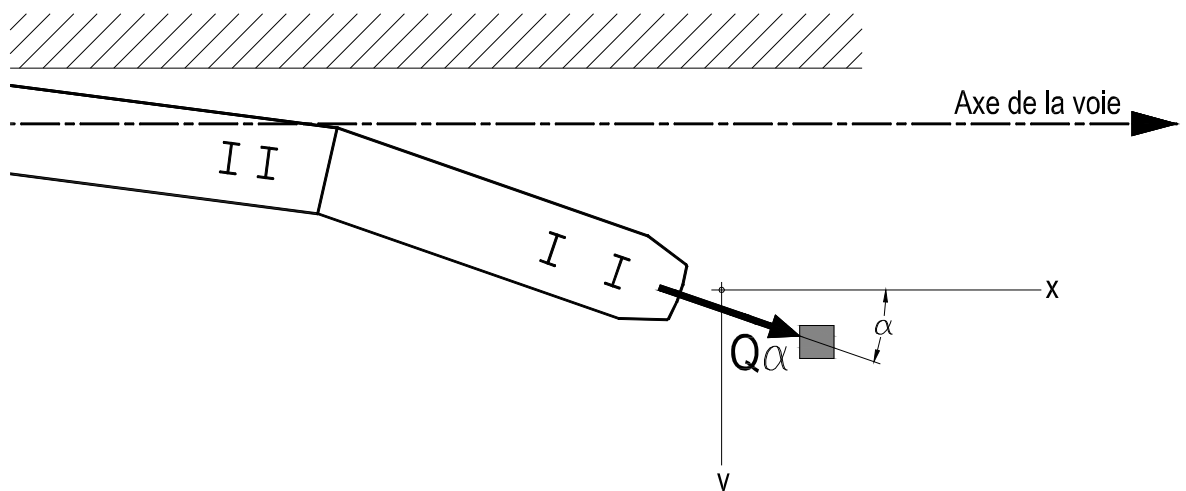


Fig. 3 Choc frontal d'un tram

Directives techniques pour TRAM	section n° / page n°
Chapitre : 10. Ouvrages d'art	10.5 / 8
Section : 10.5 CHOC D'UN TRAM CONTRE UN OBSTACLE	Version : sept. 2014
Article : 10.5.6 Choc à considérer	

- Le choc latéral contre une paroi, selon l'axe y perpendiculaire à l'axe de la voie. Il est noté Q_y . Les forces agissant selon l'axe x, dues principalement au frottement entre le véhicule et la paroi sont faibles en comparaison et peuvent être négligées.

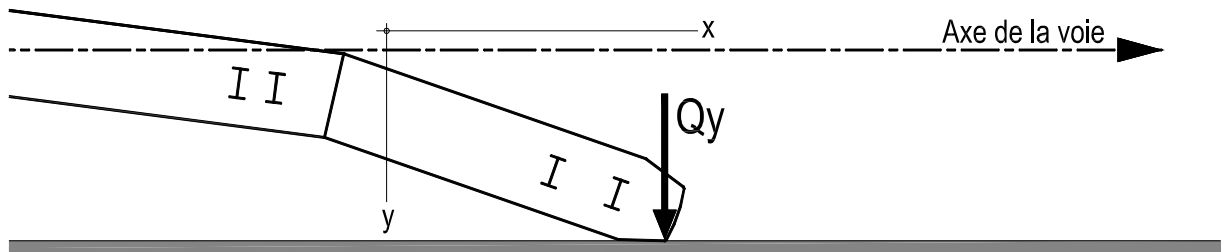


Fig. 4 Choc latéral d'un tram

Forces dues aux chocs (d'après DE-OCF annexe n°1 art. 27 6.3) :

Le point et la surface d'application de la force de choc seront définis comme suit :

- Hauteur d'application : entre 50 et 100 cm au-dessus du plan de roulement (considérer le cas le plus défavorable)
- Surface :

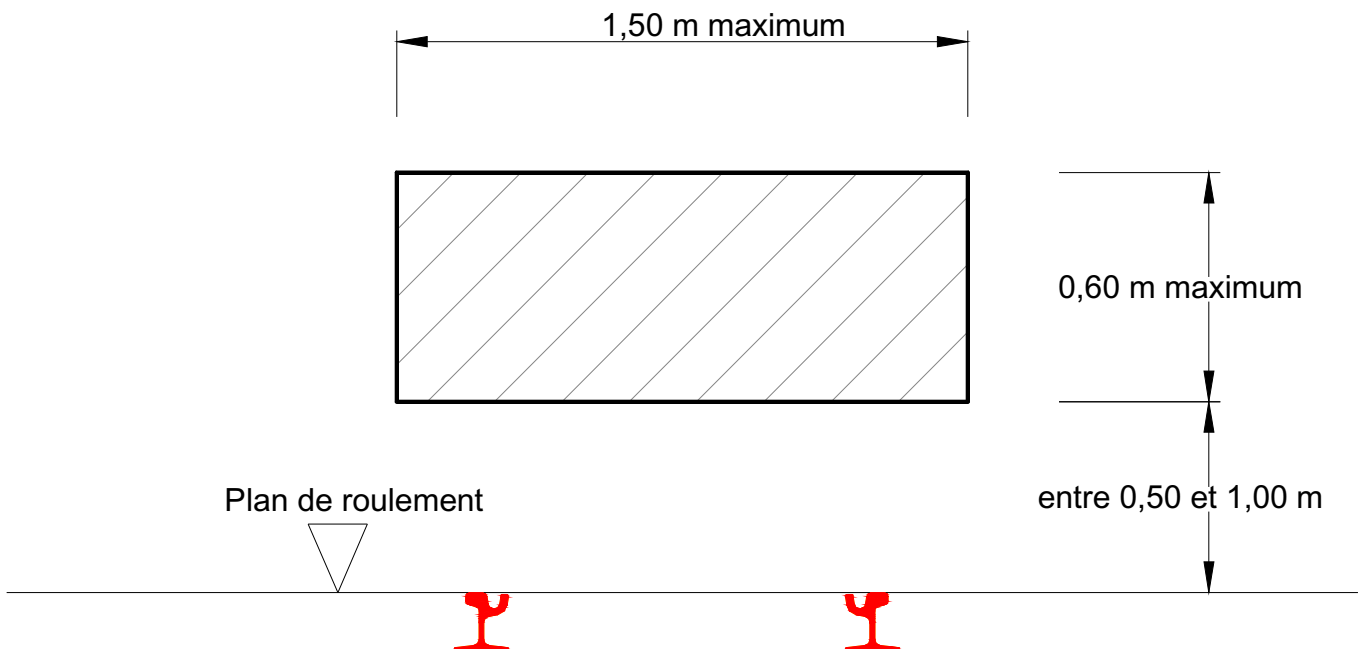


Fig. 5 Surface d'application de la force de choc

Directives techniques pour TRAM		section n° / page n°
Chapitre : 10. Ouvrages d'art	Section : 10.5 CHOC D'UN TRAM CONTRE UN OBSTACLE	10.5 / 9
Article : 10.5.6 Choc à considérer		Version : sept. 2014

Valeurs de la force de choc :

Dans le cas de la circulation générale, c'est la norme SIA 261 chapitre 14 (chocs routiers) qui est applicable.

En cas de circulation en site propre, les valeurs issues de DE-OCF (annexe n°1 – article 27) sont applicables, pour des voies métriques ou spéciales, selon le modèle de charge LM4 de la norme SIA 261. Ces valeurs déterminent la force de choc en fonction de la classe d'ouvrage de l'élément de structure porteuse et de sa distance à l'axe de la voie.

Les valeurs de ces forces sont détaillées dans les tableaux ci-dessous :

	Distance a entre l'élément considéré et l'axe de la voie	Vitesse [km/h]		
		0-20	21-40	41-60
Ouvrage de catégorie A	2,80m < a ≤ 4,50m	$Q_{\alpha}=1000\text{kN}$ $Q_y=400\text{kN}$	$Q_{\alpha}=1400\text{kN}$ $Q_y=560\text{kN}$	$Q_{\alpha}=1400\text{kN}$ $Q_y=560\text{kN}$
	4,50m < a ≤ 6m	-	$Q_{\alpha}=910\text{kN}$ $Q_y=350\text{kN}$	$Q_{\alpha}=910\text{kN}$ $Q_y=350\text{kN}$
	6m < a ≤ a _G =8m	-	-	-
Ouvrage de catégorie B	a ≤ a _R	a _R =a _G =3,00m $Q_{\alpha}=500\text{kN}$ $Q_y=200\text{kN}$	a _R =a _G =3,50m $Q_{\alpha}=750\text{kN}$ $Q_y=300\text{kN}$	a _R =a _G =4,00m $Q_{\alpha}=1000\text{kN}$ $Q_y=400\text{kN}$
	a _R < a ≤ a _G	-	-	-
Ouvrage de catégorie C	Il faut seulement respecter la distance minimale a _{min} . Il n'y a en principe pas de force de choc à considérer. Néanmoins, lorsque la situation l'exige, les valeurs de force de choc des ouvrages de catégorie B peuvent être utilisées.			
Ouvrage de catégorie D	Il faut seulement respecter la distance minimale a _{min} . Il n'y a en principe pas de force de choc à considérer.			

Tableau 2 : Tronçon **sans** appareil de voie

Directives techniques pour TRAM		section n° / page n°
Chapitre : 10. Ouvrages d'art	Section : 10.5 CHOC D'UN TRAM CONTRE UN OBSTACLE	10.5 / 10
Article : 10.5.6 Choc à considérer		Version : sept. 2014

	Distance a entre l'élément considéré et l'axe de la voie	Vitesse [km/h]		
		0-20	21-40	41-60
Ouvrage de catégorie A	2,80m < a ≤ 4,50m	Q _α =1200kN Q _y =480kN	Q _α =1400kN Q _y =560kN	Q _α =1400kN Q _y =560kN
	4,50m < a ≤ 7m	Q _α =780kN Q _y =300kN	Q _α =910kN Q _y =350kN	Q _α =910kN Q _y =350kN
	7m < a ≤ a _G =9m	-	-	-
Ouvrage de catégorie B	a ≤ a _R	a _R =a _G =3,50m Q _α =500kN Q _y =200kN	a _R =a _G =4,00m Q _α =750kN Q _y =300kN	a _R =4,00m Q _α =1000kN Q _y =400kN
	a _R < a ≤ a _G	-	-	a _R =4,00m a _G =5,00m Q _α =800kN Q _y =320kN
Ouvrage de catégorie C	Il faut seulement respecter la distance minimale a _{min} . Il n'y a en principe pas de force de choc à considérer. Néanmoins, lorsque la situation l'exige, les valeurs de force de choc des ouvrages de catégorie B peuvent être utilisées.			
Ouvrage de catégorie D	Il faut seulement respecter la distance minimale a _{min} .. Il n'y a en principe pas de force de choc à considérer.			

Tableau 3 : Tronçon **avec** appareil de voie

Remarques :

- L'analyse des déformations du tram à grande vitesse amène à des forces de choc bien plus importantes que les valeurs obtenues dans ce tableau. Cependant, l'analyse des accidents survenus montre qu'à cette vitesse, lors d'un choc les éléments articulés du tram ont tendance à se mettre « en accordéon » (cf. fig. 4) d'où une masse à considérer moins importante.

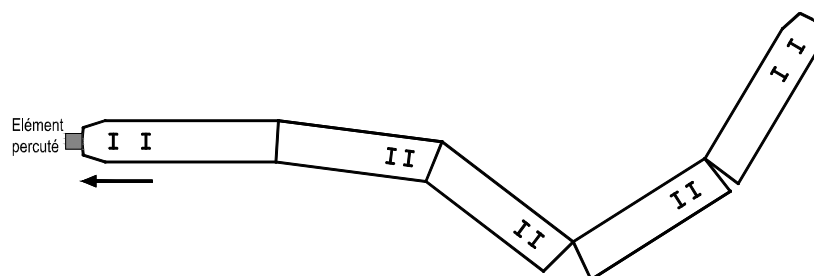


Fig. 6 Positionnement schématique d'un tram lors d'un choc à grande vitesse

Directives techniques pour TRAM		section n° / page n°
Chapitre : 10. Ouvrages d'art	Section : 10.5 CHOC D'UN TRAM CONTRE UN OBSTACLE	10.5 / 11
Article : 10.5.6 Choc à considérer		Version : sept. 2014

- Les valeurs de forces pour tronçons avec et sans appareil de voie sont souvent identiques. Cependant, les distances limites entre les éléments et l'axe des voies, permettant une réduction des forces à considérer, sont plus importantes dans le cas des tronçons avec appareil de voie (cf. DE-OCF, annexe n° 1 art. 27, chap. 7 et 8).

- **Ouvrages de catégorie A** : Il est possible d'appliquer un coefficient de réduction η_L aux valeurs de forces de choc si les éléments à dimensionner sont protégés par des dispositifs de guidage ou éléments de protection.

Distance (m)	η_L
$2,80m < a \leq 4,50m$	0,7
$4,50m < a \leq 6m$	0,5

Tableau 4 : Coefficients de réduction η_L (tronçon **sans** appareil de voie)

Distance (m)	η_L
$2,80m < a \leq 4,50m$	0,7
$4,50m < a \leq 7m$	0,5

Tableau 5 : Coefficients de réduction η_L (tronçon **avec** appareil de voie)

Il n'est pas nécessaire de tenir compte des forces de chocs pour les éléments situés au-delà d'une distance de 6m (resp. 7m) à l'axe de la voie pour les tronçons **sans** appareil de voie (resp. **avec** appareil de voie).

Pour des vitesses inférieures à 20 km/h, il n'est pas nécessaire de tenir compte des forces de chocs pour les éléments situés au-delà d'une distance de 4,50m à l'axe de la voie.

- **Ouvrages de catégorie B** : Pour les porteurs verticaux situés à une distance $a_G \geq a \geq a_R$, les forces dues aux chocs peuvent être diminuées de 20%.

Les valeurs de a_G et a_R dépendent de la vitesse d'exploitation dans le tronçon considéré.

Exemple :

Dans un bâtiment comportant des voies de tram, surmonté de locaux (catégorie B), et dans lequel la vitesse d'exploitation est impérativement limitée à 10 km/h, les valeurs à appliquer sont $Q_x=500kN$ et $Q_y=200kN$, selon tableaux 2 et 3, pour les éléments porteurs situés à une distance $a < a_G=3,50m$.

Directives techniques pour TRAM		section n° / page n°
Chapitre : 10. Ouvrages d'art		10.5 / 12
Section : 10.5 CHOC D'UN TRAM CONTRE UN OBSTACLE		Version : sept. 2014
Article : 10.5.7	Éléments de protection contre les chocs	

Bordures guide, éléments de déviation, absorbeur de choc (d'après DE-OCF annexe n°1 art. 27 6.4) :

Ces éléments empêchent que les véhicules déraillés s'éloignent trop du domaine de la voie. Ils réduisent les risques de choc en déviant les véhicules déraillés de manière à éviter les endroits dangereux.

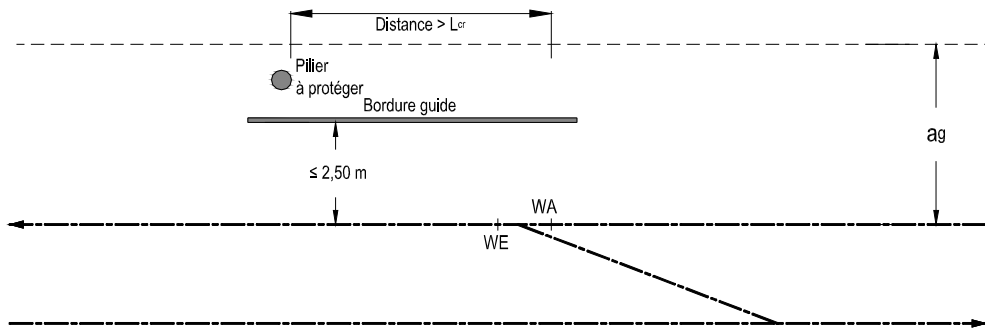


Fig. 7 Bordures guides

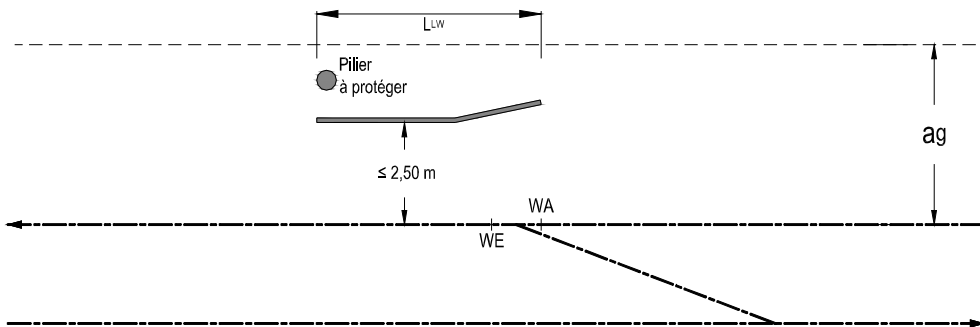


Fig. 8 Éléments de déviation

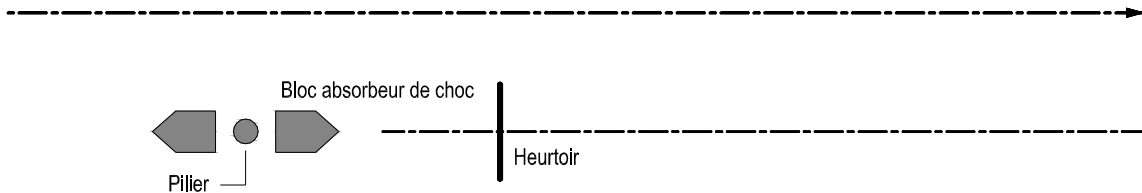


Fig. 9 Bloc absorbeur de choc

Ces éléments peuvent permettre de placer des porteurs verticaux à des distances $a \leq a_G$ sous certaines conditions (DE-OCF annexe n°1 art. 27 7.4.1 et 8.1.4), permettant de diminuer la force de choc à considérer.

Directives techniques pour TRAM		section n° / page n°
Chapitre : 10. Ouvrages d'art		10.5 / 13
Section : 10.5 CHOC D'UN TRAM CONTRE UN OBSTACLE		Version : sept. 2014
Article : 10.5.7 Éléments de protection contre les chocs		

Protection de fin de quai (d'après DE-OCF annexe n°1 art. 27 7.4) :

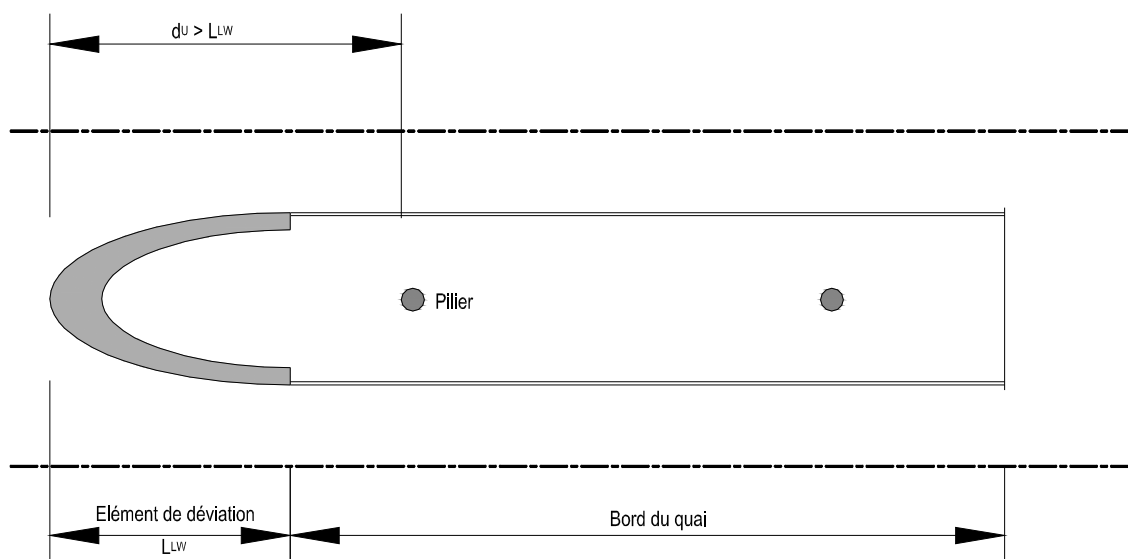


Fig. 10 Protection de fin de quai

d_u : distance entre le début de la protection et l'élément de structure à protéger

Remarque : pour les valeurs de L_{LW} , voir DE-OCF annexe n°1 art. 27, chap. 10.

Directives techniques pour TRAM		section n° / page n°
Chapitre : 10. Ouvrages d'art	CHOC D'UN TRAM CONTRE UN OBSTACLE	10.5 / 14
Section : 10.5		Version : sept. 2014
Article : 10.5.8 Calcul et dimensionnement		

Calcul et dimensionnement

Actions :

- Les forces dues au choc Q sont des forces de remplacement statiques. On suppose que les forces Q_x et Q_y n'agissent pas simultanément. Le facteur de charge correspondant est de 1,0.
- Les actions agissant simultanément aux forces dues au choc (danger prépondérant) : selon norme SIA n° 260 et 261.

Résistance des sections :

- Le calcul de la résistance des sections est basé sur les valeurs nominales des résistances des divers matériaux et sur les facteurs de résistance fixés dans les normes correspondantes. Des résistances des matériaux supérieures résultant d'essais au choc ne doivent pas être prises en considération.

Sécurité structurale :

- La sécurité structurale de tous les éléments mentionnés dans le chapitre "conception des éléments" ci-dessous peut être vérifiée selon la méthode statique de la théorie de la plasticité. On portera une attention particulière aux éléments comprimés (théorie du 2^{ème} ordre).

Déraillement

Les structures porteuses de lignes ferroviaires seront dimensionnées de telle sorte que le déraillement d'un véhicule ferroviaire n'entraîne pas une défaillance de la structure porteuse, en particulier la perte de la stabilité d'ensemble (voir norme SIA 261).

Les modèles de charge due au déraillement sont indiqués dans la norme n° 261 au paragraphe 12.5. Les charges agissant sur la structure sont **verticales** contrairement aux charges dues aux chocs qui, elles, sont horizontales.