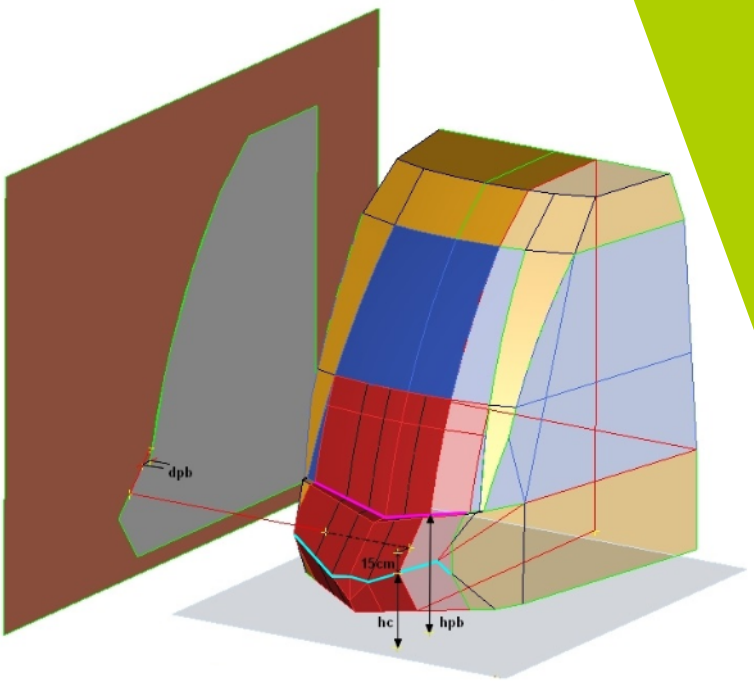
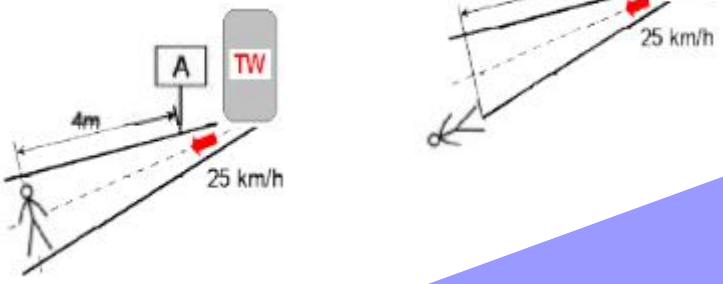
GUIDE TECHNIQUE





STRMTG
SERVICE TECHNIQUE DES REMONTÉES MÉCANIQUES ET DES TRANSPORTS GUIDÉS

TRANSPORTS GUIDÉS URBAINS

CONCEPTION DES BOUTS AVANTS DES TRAMWAYS

MINISTÈRE CHARGÉ DES TRANSPORTS
Liberté
Égalité
Fraternité

Version 2 – Février 2023

Objet – Domaine d'application – Destinataires

Le présent document traite de la conception des bouts avants de matériels roulants vis-à-vis des collisions avec tiers et entre rames.

Il est applicable aux systèmes suivants du décret relatif à la sécurité des transports publics guidés n° 2017-440 :
- *tramways* ;
- *systèmes mixtes* pour la partie exploitée selon le principe de conduite à vue ;
- *systèmes ferroviaires légers* pour la partie exploitée selon le principe de conduite à vue.

Il est destiné à l'ensemble des acteurs professionnels du secteur des transports publics guidés : Autorité organisatrice de transports (AOT), maîtres d'ouvrage, exploitants, maîtres d'œuvre, bureaux d'études, Organismes qualifiés (OQ), constructeurs, gestionnaires d'infrastructures.

Les dispositions du présent guide visent à proposer des solutions techniques qui ne présentent pas de caractère réglementaire mais dont le respect permet cependant de présumer de la conformité aux exigences réglementaires et/ou l'atteinte d'un niveau de sécurité jugé satisfaisant. À défaut, une justification devra être apportée .
Les dispositions du présent guide ne préjugent en rien du respect des réglementations autres que celles liées à la sécurité du système ou de l'installation considérée.

Historique des mises à jour :

N° de version	***Date***	***Nature des versions***
1	06/10/16	Création suite travaux du GT et relectures
2	Février 2023	Suppression du chapitre 6 suite à la parution de la loi n° 2021-646 du 25 mai 2021 pour une sécurité globale préservant les libertés (article 61) et son décret d'application n° 2022-1672 du 27/12/2022 Mise à jour référence réglementaire et charte graphique

REDACTEUR	**VERIFICATEUR**	**APPROBATEUR**
Laurent CHAPPELIN Chargé d'affaires au département tramways et matériels roulants	Valérie de LABONNEFON Responsable du département tramways et matériels roulants	Daniel PFEIFFER Directeur du STRMTG
Signature numérique de Laurent CHAPPELIN laurent.chappelin Date : 2023.02.08 08:53:32 +01'00'	Signature numérique de Valérie DE-LABONNEFON valerie.de-labonnefon Date : 2023.02.08 09:22:14 +01'00'	Le Directeur du Service Technique des Remontées Mécaniques et de Transports Guidés Daniel PFEIFFER Date : 2023.02.08 10:24:48 +01'00'

Service Technique des Remontées Mécaniques et des Transports guidés (STRMTG)
1461 rue de la piscine
38400 St Martin d'Hères
tél. : 33 (0)4 76 63 78 78
mèl. strmtg@developpement-durable.gouv.fr
www.strmtg.developpement-durable.gouv.fr

Sommaire

1. INTRODUCTION....4

2. OBJET ET LIMITES DU GUIDE....4

2.1. Objet....4
2.2. Limites....4
2.3. Champ d'application du guide....5

3. COLLISION AVEC UN PIÉTON....5

3.1. Événement redouté....5
3.2. Mesures de réduction de la gravité : critères géométriques....6
3.2.1. Définition des paramètres géométriques....6
3.2.2. Définition des points particuliers....9
3.2.3. Cinématique du piéton....10
3.2.3.1. Objectif de cinématique recherchée....10
3.2.3.2. Déviation sur le côté....10
3.2.4. Géométrie du bout avant....12
3.2.4.1. Arêtes vives et parties saillantes....12
3.3. Synthèse....14
3.3.1. Exigences....14
3.3.2. Recommandations et exigences....14
3.4. Dispositif anti-écrasement d'un piéton (DAEP)....15
3.4.1. Définition....15
3.4.2. Objectifs....16
3.4.3. Rôle du carénage....16

4. COLLISION AVEC UN VL....17

4.1. Événement redouté....17
4.2. Mesures de réduction de la gravité....17
4.2.1. Structure du tramway....17
4.2.2. Surface d'impact sur le VL....17
4.2.3. Indicateur de la sensibilité au déraillement....17

5. COLLISION AVEC UNE AUTRE RAME....20

5.1. Événement redouté....20
5.2. Mixité de circulation....20

ANNEXE 1. ÉLABORATION DU GUIDE....21

ANNEXE 2. GLOSSAIRE....22

ANNEXE 3. HYPOTHÈSES DE MODÉLISATION D'UN CHOC PIÉTON – TRAMWAY....23

ANNEXE 4. ESSAIS DE VALIDATION DAEP....24

ANNEXE 5. MODÉLISATION DE LA BARRIÈRE AE-MDB ADAPTÉE....28

Index des illustrations

Illustration 1: Surface d'impact....6
Illustration 2: Paramètres géométriques....7
Illustration 3: Modélisation de la surface d'impact....9
Illustration 4: Identification des points particuliers....10
Illustration 5: Surface centrale du tramway....11
Illustration 6: Synthèse des critères géométriques à respecter (déviation sur le côté)....12
Illustration 7: définition de la garde au sol....16
Illustration 8: Scénario de collision avec un VL....17
Illustration 9: à titre indicatif, modélisation en bandes horizontales....23
Illustration 10: essai longitudinal excentré....25
Illustration 11: essai transversal excentré....25
Illustration 12: Vue d'ensemble du modèle numérique de l'impacteur VL....28
Illustration 13: Vue d'ensemble en perspective du modèle numérique de l'impacteur VL....28
Illustration 14: Dimension de la barrière AE-MDB en vue de côté....29
Illustration 15: Dimensions de la barrière AE-MDB en vue de dessus....29
Illustration 16: Caractéristique force-écrasement de l'impacteur VL....29

Index des tableaux

Tableau 1: Identification des points particuliers....10
Tableau 2: Tableau de combinaisons de paramètres recommandées....13
Tableau 3: Synthèse des exigences pour les piétons par zone....14
Tableau 4: Synthèse des exigences et des recommandations pour la surface d'impact hors zone centrale....15
Tableau 5: Logigramme de détermination de l'indicateur de sensibilité au déraillement....20
Tableau 6: Coordonnées des points caractérisant la courbe force-écrasement de l'impacteur VL....30

1. Introduction

Il est classiquement distingué la sécurité « active », qui consiste à concevoir un système de transport pour éviter les accidents, de la sécurité « passive » qui vise à réduire la gravité des conséquences d'un accident.

Si la sécurité « active » reste l'approche à privilégier dans la conception d'un système de transport, il n'en demeure pas moins que la sécurité « passive » est peu souvent prise en compte.

Dans le cadre de la conception des matériels roulants, il est possible, de réduire la gravité des conséquences d'une collision avec un tramway via la conception des bouts avants pour les scénarii suivants :

- Collision avec un piéton (réduction des dommages corporels)
- Collision avec un véhicule routier (réduction du risque de déraillement et réduction des dommages corporels)
- Collision avec un tramway (réduction des dommages corporels)

2. Objet et limites du guide

2.1. Objet

Ce guide technique constitue un référentiel à destination des maîtrises d'ouvrage, des maîtres d'œuvre, des constructeurs de matériels roulants guidés urbains.

L'environnement urbain dans lequel évoluent les tramways et les tram-trains présente de fortes interactions avec les usagers de la voirie. En l'absence de référentiel sur la conception des bouts avants des matériels roulants guidés urbains relativement aux dommages causés aux tiers, il est apparu important de définir quels éléments de conception des bouts avants peuvent permettre de réduire la gravité d'une collision entre un tramway et un tiers ou une autre rame.

Ce guide a été élaboré dans le cadre d'un groupe de travail auquel participent, notamment, les constructeurs de tramways et de tram-trains (cf annexe I Liste des membres du groupe de travail).

2.2. Limites

Ce guide traite de la conception des bouts avants vis-à-vis des collisions avec des tiers et entre tramways (ou tram-trains).

Seules les mesures de réduction de la gravité couvertes par la conception du matériel roulant sont étudiées dans ce présent document.

Ce guide fournit des règles de conception basées sur les accidents les plus courants et les risques associés. Les exigences ne couvrent donc pas tous les scénarios d'accidents possibles mais permettront de réduire les conséquences d'un accident, lorsque les dispositions de sécurité active se seront avérées insuffisantes. L'exigence est de fournir un niveau de protection approprié aux risques de collision probables provoquant des blessures et lésions mortelles.

Les tiers sont représentés dans ce guide par les usagers les plus vulnérables de la catégorie :

- catégorie des usagers des modes doux (cyclistes, rollers...) représentée par les piétons ;
- catégorie des usagers des véhicules routiers (poids lourds, véhicules utilitaires...) représentée par les usagers des véhicules légers.

Il est considéré que les mesures de réduction de la gravité des blessures sur ces usagers profiteront à l'ensemble de la catégorie des usagers.

Les préconisations définies dans le présent guide constituent le minimum admissible sans justification. Cependant d'autres solutions pourraient être proposées, dans la mesure où l'équivalence des exigences de sécurité serait justifiée.

2.3. Champ d'application du guide

Les préconisations définies dans le présent guide s'appliquent à tout nouveau matériel roulant de tramway sur fer ou pneus ainsi qu'aux tram-trains dès lors qu'ils sont amenés à circuler dans un environnement urbain au même titre qu'un tramway.

Les matériels roulants sur pneus ayant reçus une homologation routière sont exclus du présent guide.

Il est entendu par « nouveau matériel roulant » tout projet d'acquisition de matériel roulant n'ayant pas encore fait l'objet d'une approbation au stade du Dossier Préliminaire de Sécurité (DPS) à la date de publication du présent guide. Pour les projets n'étant pas encore mis en service et ayant déjà fait l'objet d'une approbation au stade du DPS, les préconisations de ce guide seront prises en compte dans la mesure du possible.

Les projets suivants (reconduction de conception) seront traités au cas par cas sur la base d'une analyse exhaustive et justifiée des écarts au guide :

- marchés faisant appel à un accord cadre signé antérieurement à la publication du guide,

- affermissements de tranches conditionnelles d'un marché signé antérieurement à la publication du guide,

- marché d'acquisition de rames pour renforcement du parc à l'identique des rames existantes.

Il sera employé dans la suite du document le terme « tramways » pour tout type de matériels roulants guidés évoluant en milieu urbain (incluant notamment les tram-trains), sauf mention contraire.

3. Collision avec un piéton

3.1. Événement redouté

Suite à l'analyse du retour d'expérience, l'événement redouté est la collision d'un piéton par un tramway.

Le piéton est heurté de profil (piéton en traversée de plateforme).

Deux catégories de piétons sont identifiées :

- un enfant de 6 ans d'une hauteur de 1,10 m[1]
- un adulte de taille moyenne soit 1,75 m[2]

On définit la **surface d'impact** comme étant la surface frontale du tramway d'une hauteur de 1,75 m par rapport au sol (hauteur moyenne d'un adulte) et d'une largeur correspondant à celle entre les montants principaux à 1,75 m de haut par rapport au sol (plan de roulement). Elle est représentée en rouge sur l'illustration suivante.

Dans les cas où la largeur entre montants en bas du pare-brise est inférieure à la largeur à 1,75 m de haut (montants évasés vers le haut), les limites latérales de la surface d'impact sont telles que la largeur de la surface est égale à celle entre les montants à 1,75 m moins 10 cm de chaque côté.

1 Source : DINBelg 2005, P5, projet de recherche de données anthropométriques de la population belge

2 Source : NF EN 894-4, Sécurité des machines - Spécifications ergonomiques pour la conception des dispositifs de signalisation et organes de service - Partie 4 : agencement et arrangement des dispositifs de signalisation et organes de service

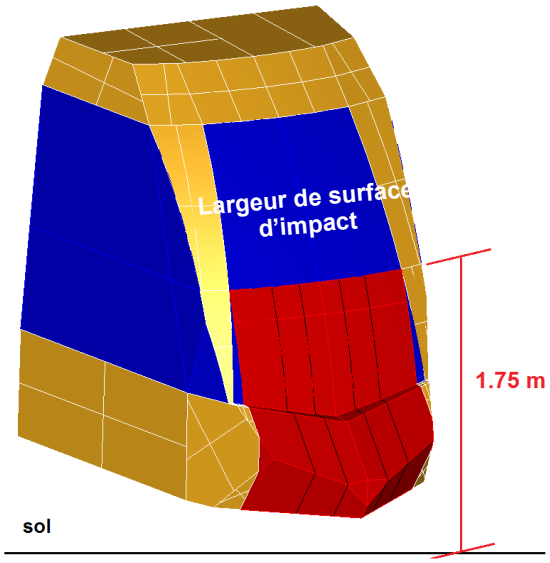


Illustration 1: Surface d'impact

Le tramway est considéré comme circulant à 20 km/h, vitesse à laquelle il n'est pas acceptable de tuer un piéton et où il est possible de limiter la gravité des blessures du piéton en travaillant sur la seule géométrie du bout avant. Le critère utilisé pour considérer des lésions comme étant mortelles est le HIC15[1]. Celui-ci ne doit pas dépasser la valeur de 1000.

3.2. Mesures de réduction de la gravité : critères géométriques

3.2.1. Définition des paramètres géométriques

Tous les paramètres suivants sont à mesurer en tout point de la surface d'impact.

Les paramètres géométriques pris en compte sont les suivants :

1 Head Injury Criterion, calculé à partir de la résultante de l'accélération linéaire mesurée au centre de gravité de la tête. Le contact tête sur la surface rigide durant moins de 15 ms, le HIC est calculé sur une durée de 15 ms.

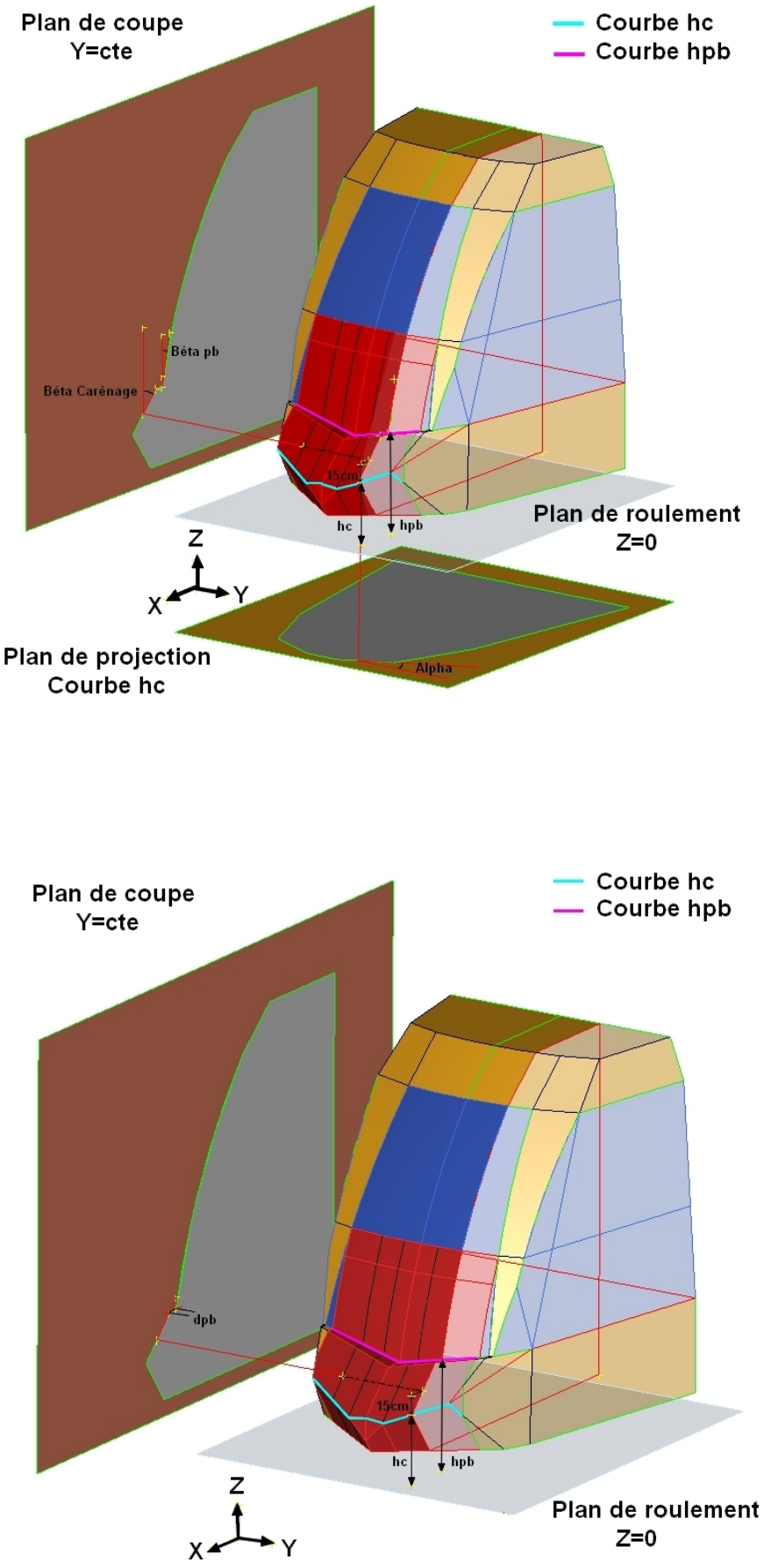


Illustration 2: Paramètres géométriques

Paramètre	Définition
h_c	Il convient de se placer sur la courbe intersection entre la surface d'impact et un plan Y= constante (cte). h_c est la coordonnée Z du point d'abscisse X maximale de la courbe précédemment définie. *Nota : Une courbe intersection présentant une pente verticale au point d'abscisse maximale conduit à avoir plusieurs valeurs de* h_c.
h_{PB}	Il convient de se placer sur la courbe intersection entre la surface d'impact et un plan Y=cte. h_{PB} est la coordonnée Z du bas du pare-brise.
α	Il convient de projeter dans un plan Z=cte l'ensemble des h_c. La courbe bi-dimensionnelle obtenue représente l'enveloppe de la surface d'impact dans le plan xOy. A Y=cte, α est l'angle entre l'axe Oy et la tangente à la courbe bi-dimensionnelle précédente. On orientera l'angle α dans le sens trigonométrique.
$\beta_{carénage}$	Il convient de se placer sur la courbe intersection entre la surface d'impact et un plan Y=cte. $\beta_{carénage}$ est l'angle, entre l'axe Oz et la tangente à la courbe bi-dimensionnelle précédente en Z = h_c + 15cm. On orientera l'angle $\beta_{carénage}$ dans le sens horaire. *Nota : la majoration de h_c par 15 cm permet de prendre en compte les contraintes de réalisation.* *Nota : Dans le cas d'une courbe intersection présentant une pente verticale au point d'abscisse maximale conduisant à avoir plusieurs valeurs de hc, $\beta_{carénage}$ est l'angle, entre l'axe Oz et la tangente à la courbe bi-dimensionnelle précédente en Z = min (*h_c*) +15cm*
d_{PB}	Il convient de se placer sur la courbe intersection entre la surface d'impact et un plan Y=cte. d_{PB} est la distance, dans le plan Z = h_{PB}, entre : - Le point d'intersection de la tangente à la courbe en Z=h_c+15cm et la droite Z=h_{PB} Et - Le point de la surface d'impact dans la zone du pare-brise à Z=h_{PB} . *Nota : la majoration de h_c par 15 cm permet de prendre en compte les contraintes de réalisation.* *Nota : Dans le cas d'une courbe intersection présentant une pente verticale au point d'abscisse maximale conduisant à avoir plusieurs valeurs de hc, le premier point est défini en prenant la tangente à la courbe en Z = max(*h_c*)+15cm*
$\beta_{Pare\text{-}Brise}$	Il convient de se placer sur la courbe intersection entre la surface d'impact et un plan Y=cte. $\beta_{Pare\text{-}Brise}$ est l'angle, entre l'axe Oz et la tangente au pare-brise. On orientera l'angle $\beta_{Pare\text{-}Brise}$ dans le sens horaire.

A chaque position du piéton est associée une surface d'impact assimilée aux deux surfaces planes suivantes :

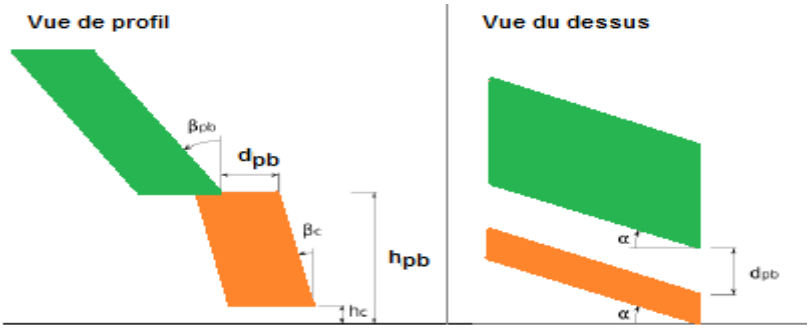


Illustration 3: Modélisation de la surface d'impact

Le carénage et le pare-brise sont représentés chacun par un plan caractérisé par les paramètres définis ci-avant. A noter que l'angle α est appliqué aux deux plans bien que celui-ci n'existe qu'à la hauteur h_c.

3.2.2. Définition des points particuliers

Bien que les critères énoncés ci-après permettent de vérifier, en tout point de la surface potentielle d'impact, que la géométrie du bout avant qui a été définie permet de limiter le risque de lésion mortelle à la tête i.e. HIC15 < 1000, le tableau ci-après identifie les points particuliers auxquels il conviendra de calculer les paramètres géométriques. Ces valeurs seront transmises au STRMTG.

Afin de vérifier le respect des critères, on mesurera les valeurs des paramètres géométriques aux points particuliers. Dans le cas d'un tramway symétrique selon le plan xOz, on pourra mesurer les valeurs du tableau suivant uniquement pour un demi-tram.

Pour mémoire la largeur de la surface d'impact est égale à la largeur correspondant à celle entre les montants principaux à 1,75 m de haut par rapport au sol. Dans les cas où la largeur entre montants en bas du pare-brise est inférieure à la largeur à 1,75 m de haut (montants évasés vers le haut), les extrémités latérales de la surface d'impact sont alors à 10 cm de moins de chaque côté que les extrémités latérales définies dans le cas général.

Paramètres géométriques à calculer en :		**Lignes**			
		h_c	h_c +15 cm	h_{pb}	Z=1,75 m
Plans de coupe Y :	à 15 cm du centre	α	$\beta_{carénage}$	h_{pb} / d_{pb} / $\beta_{Pare\text{-}Brise}$	$\beta_{Pare\text{-}Brise}$
	à 30 cm de l'extrémité de la surface d'impact	α	$\beta_{carénage}$	h_{pb} / d_{pb} / $\beta_{Pare\text{-}Brise}$	$\beta_{Pare\text{-}Brise}$
	Extrémité de la surface d'impact	α	$\beta_{carénage}$	h_{pb} / d_{pb} / $\beta_{Pare\text{-}Brise}$	$\beta_{Pare\text{-}Brise}$

Tableau 1: Identification des points particuliers

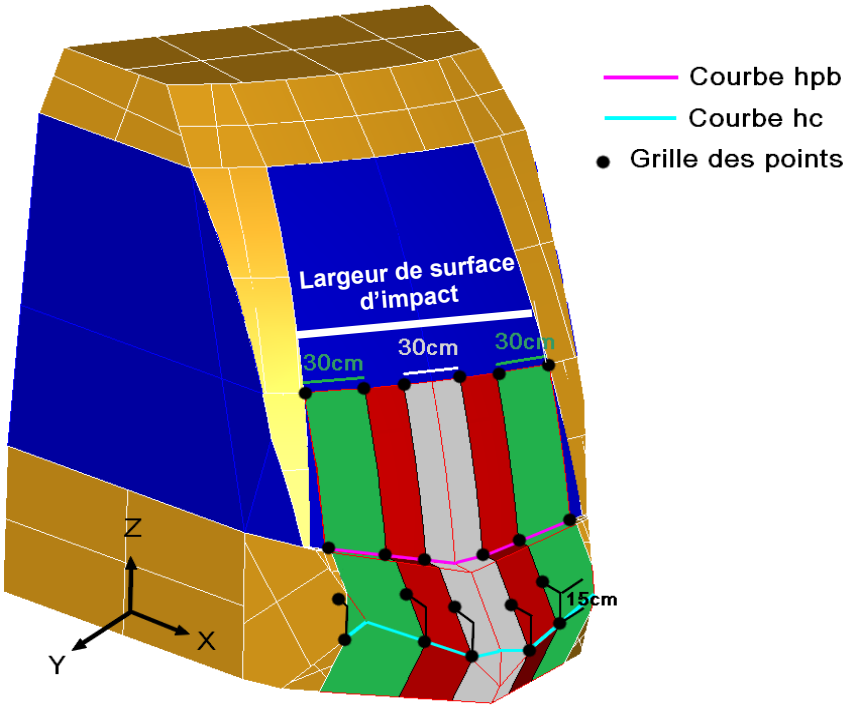


Illustration 4: Identification des points particuliers

3.2.3. Cinématique du piéton

3.2.3.1. Objectif de cinématique recherchée

Afin de limiter les lésions mortelles, notamment au niveau de la tête, la cinématique du corps à privilégier est de bloquer l'épaule ou le torse au plus tôt tout en limitant la rotation du tronc. La zone de contact tête doit alors être reculée de la zone de chargement de l'épaule.

3.2.3.2. Déviation sur le côté

Objectif

Tout matériel roulant doit avoir un design qui permet lors d'un choc de dévier un corps sur le côté plutôt qu'il ne soit projeté vers l'avant dans le gabarit du tramway. L'objectif est de limiter le risque d'intrusion d'un piéton, y compris d'un enfant, sous le tramway.

Le piéton est considéré comme dévié sur le côté dès lors qu'il est déporté au-delà des montants principaux.

Critère sur l'angle $\beta_{Pare\text{-}Brise}$ et l'angle $\beta_{carénage}$

Un pare-brise incliné vers l'avant est à proscrire ($\beta_{Pare\text{-}Brise} < 0°$) afin de ne pas projeter le piéton au sol à l'aplomb du tramway.

Une face avant trop verticale ($\beta_{Pare\text{-}Brise} < 15°$ et $\beta_{carénage} < 15°$) ne permet pas de dévier le piéton sur le côté et est, par conséquent, interdite.

Critère sur h_c

La courbe des points les plus avancés du bout avant (courbe des points h_c) devra avoir des coordonnées en Z les plus basses possibles, afin de heurter le piéton sous le genou : $h_c \leq 35$ cm.

Nota : Dans le cas où il y aurait plusieurs valeurs de h_c (voir tableau « définition des paramètres »), on considérera la valeur de h_c la plus faible.

Critère sur l'angle α

Une surface au centre de la rame, d'une largeur de 30 cm maximum centrés sur l'axe longitudinal de la rame, pourra ne pas répondre aux critères suivants afin de prendre en compte les contraintes de réalisation. Cette largeur représente l'enveloppe de profil d'un homme de taille moyenne. Cette surface au centre ne devra toutefois pas présenter d'arêtes agressives.

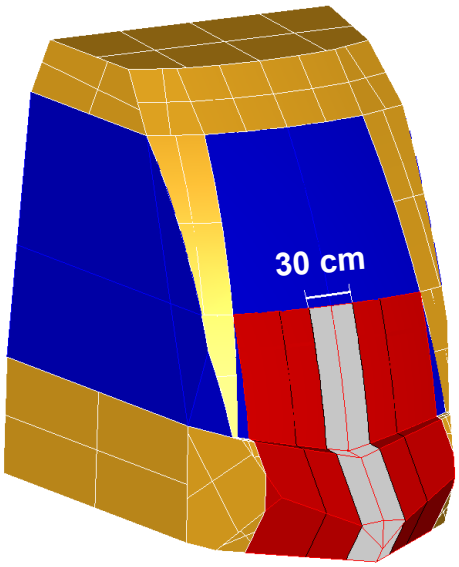


Illustration 5: Surface centrale du tramway

Les bouts avants « plats » ($\alpha < 15°$) ne permettent pas de dévier le piéton sur le côté et sont, par conséquent, interdits.

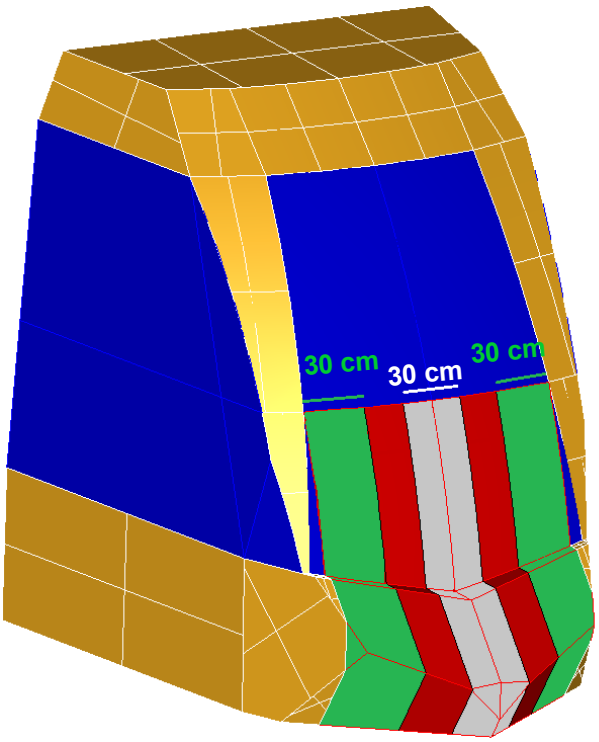
Les bouts avants ayant un angle α assez faible ($\alpha \leq 20°$) ne doivent pas avoir un pare-brise vertical ($\beta_{Pare\text{-}Brise} < 15°$ interdit).

Les surfaces frontales situées à moins de 30 cm des extrémités de la surface d'impact selon y devront présenter en tout point y un angle $\alpha \geq 30°$.

On notera qu'à α donné (donc à une position y du piéton donnée), plus $\beta_{carénage}$ est élevé, plus le piéton sera dévié sur le côté.

Synthèse

Ce paragraphe ne contient aucune nouvelle exigence ou recommandation et récapitule les exigences à respecter du chapitre Déviation sur le côté.



Zone rouge et zone verte :

α	β_{PB}	$\beta_{carénage}$
≥ 15°	≥ 15°	-
> 20°	$0° \leq \beta_{PB} < 15°$	≥ 15°

Zone verte :

$\alpha \geq 30°$

*Illustration 6: Synthèse des critères géométriques **à respecter** (déviation sur le côté)*

3.2.4. Géométrie du bout avant

3.2.4.1. Arêtes vives et parties saillantes

Toutes parties saillantes, ou toutes arêtes vives sur la surface d'impact* du véhicule comprise entre Z=90 cm et Z=175 cm (zone potentiellement en contact avec la tête d'un enfant de 6 ans ou d'un adulte moyen) et accessibles par une sphère de diamètre 100 mm sont interdites. Le rayon minimum à respecter dans la zone prédéfinie est fixé à 6 mm (10 mm recommandés).

* dans le cas de montants évasés vers le haut, l'exigence d'absence d'arêtes vives est valable sur la largeur entre les montants à Z = 175 cm sur toute la plage comprise entre Z =90 cm et Z=175 cm (pas d'exclusion des 10 cm de chaque côté).

Les éléments suivants situés dans la surface d'impact devront être couverts : projecteurs d'éclairage, arbre de sortie moteur d'essuies-glaces (les balais d'essuie-glaces sont quant à eux considérés comme flexibles).

Dans le cas d'un matériel roulant équipé d'éléments d'attelage, ceux-ci devront être capotés et la rigidité de leur structure ne devra pas constituer un risque d'aggravation de blessure vis-à-vis des autres structures à proximité.

3.2.4.2. Eviter le tram-surfing

Il ne doit pas exister de possibilité de maintien ou de stationnement à l'extérieur, sur les faces latérales et frontales (notamment au niveau des phares et de la sortie de l'arbre moteur des essuie-glaces) et entre les caisses du véhicule.

Il ne doit pas exister de possibilité de saisir des parties saillantes ou encastrées à l'extérieur, sur les faces latérales et frontales et entre les caisses du véhicule.

3.2.4.3. Limiter la gravité des lésions du piéton

Critère sur d_{PB}

En tout point du pare-brise où la ligne inférieure serait à une hauteur strictement inférieure à 1,15 m , le pare-brise devra être le plus possible dans l'alignement du carénage et en tout cas à moins de 20 cm du plan du carénage.

Si $h_{PB} < 1{,}15$ m → $d_{PB} < 20$ cm

Recommandations sur les paramètres géométriques

Il est à noter que l'étude ayant permis de définir les combinaisons à favoriser a été réalisée avec un modèle humain représentant le 50ème percentile adulte (la taille du piéton influe sur le résultat du HIC) et avec des valeurs discrètes affectées à chaque paramètre géométrique (pas de variation continue des paramètres).

Les combinaisons de paramètres suivantes permettent d'obtenir des surfaces de contact déviant le piéton sur le côté tout en limitant le risque de lésions mortelles à la tête. Il est à noter que les paramètres géométriques retenus ne permettent pas de définir entièrement les différentes surfaces d'impact, par conséquent certaines combinaisons ne figurant pas dans le tableau peuvent répondre au critère HIC 15 < 1000.

L'objectif de HIC 15 > 1000 est considéré atteint lorsque les paramètres suivants sont respectés pour toutes les positions de piéton possibles dans la surface d'impact.

<table>
<tr><th>HIC < 1000</th><th>d_{PB} < 10 cm</th><th>10 cm ≤ d_{PB} < 20 cm</th><th>d_{PB} ≥ 20 cm</th></tr>
<tr><td>h_{PB} < 1,05 m</td><td>$0° \le \beta_{pare\text{-}brise} \le 30°$</td><td>$0° \le \beta_{pare\text{-}brise} \le 15°$
ou $\beta_{carénage} \ge 15°$ et $\beta_{pare\text{-}brise} \ge 30°$</td><td>interdit</td></tr>
<tr><td>1,05 m ≤ h_{PB} < 1,15 m</td><td rowspan="2">$\beta_{carénage} \le 30°$</td><td rowspan="2">$15° \le \beta_{carénage} \le 30°$ et $\beta_{pare\text{-}brise} \ge 15°$</td><td>interdit</td></tr>
<tr><td>1,15 m ≤ h_{PB} ≤ 1,2 m</td><td>$0° \le \beta_{carénage} \le 30°$ et $\beta_{pare\text{-}brise} \ge 15°$</td></tr>
<tr><td>h_{PB} > 1,2 m</td><td>$0° \le \beta_{carénage} \le 30°$ et $\beta_{pare\text{-}brise} \ge 15°$
Ou $0° \le \beta_{carénage} \le 15°$</td><td>$0° \le \beta_{carénage} \le 30°$ et $\beta_{pare\text{-}brise} \ge 15°$</td><td>Toutes les géométries conviennent</td></tr>
</table>

Tableau 2: Tableau de combinaisons de paramètres recommandées

3.3. Synthèse

Ce chapitre ne contient aucune nouvelle exigence ou recommandation et récapitule l'ensemble des exigences et recommandations des chapitres précédents relatifs à une collision avec un piéton.

3.3.1. Exigences

Zone concernée	**Exigence**			**Objectif**
Surface extérieure de la rame totale y compris entre caisses	pas de possibilité de saisir des parties saillantes ou encastrées à l'extérieur			Anti tram surfing
Surface totale d'impact telle que définie au 3.1	$\beta_{PB} \geq 0°$			Déviation sur le côté
	$h_c \leq 35$ cm			Déviation sur le côté
	Si $h_{PB} < 1{,}15$ m alors $d_{PB} < 20$ cm			Limitation des lésions
	Capotage des projecteurs d'éclairage, arbre de sortie moteur essuie-glaces, attelage automatique			Arêtes vives
Points accessibles par une sphère de diamètre de 100 mm entre 90 et 175 cm de haut sur une largeur centrée sur l'axe de la rame égale à la largeur entre les montants à la hauteur de 175 cm	Rayon de courbure ≥ 6 mm (10 mm recommandés)			Arêtes vives
Surface d'impact située à moins de 30 cm des extrémités	$\alpha \geq 30°$			Déviation sur le côté
Surface d'impact hors zone centrale de 30 cm de large	α	β_{PB}	$\beta_{carénage}$	Déviation sur le côté
	≥ 15°	≥ 15°	-	
	> 20°	$0° \leq \beta_{Pare\text{-}Brise} < 15°$	≥ 15°	

Tableau 3: Synthèse des exigences pour les piétons par zone

Les critères relatifs à la surface d'impact hors zone centrale se lisent de la façon suivante : selon la valeur de α, déterminer quelle ligne s'applique, puis s'assurer que les angles β_{PB} et $\beta_{carénage}$ sont conformes aux exigences.

Par exemple pour $\alpha = 22°$, si β_{PB} est supérieur à 15°, les exigences sont remplies (1ère ligne). Si β_{PB} est entre 0° et 15° alors la seconde ligne s'applique et $\beta_{carénage}$ doit être d'au moins 15°.

3.3.2. Recommandations et exigences

Le tableau ci-après retranscrit les exigences s'appliquant à la surface d'impact hors zone centrale de 30 cm de large fusionnées avec les recommandations.

On notera que, conformément au § 2.2, une étude alternative peut être présentée dans la mesure où l'équivalence des exigences de sécurité serait justifiée. Il convient toutefois de prendre en compte les hypothèses précisées en **ANNEXE 3.**

<table>
<tr><th rowspan="2">h_{PB} (m)</th><th colspan="3">d_{PB} < 10 cm</th><th colspan="3">10 cm ≤ d_{PB} < 20 cm</th><th colspan="3">d_{PB} ≥ 20 cm</th></tr>
<tr><th>α</th><th>β_{PB}</th><th>$\beta_{carénage}$</th><th>α</th><th>β_{PB}</th><th>$\beta_{carénage}$</th><th>α</th><th>β_{PB}</th><th>$\beta_{carénage}$</th></tr>
<tr><td rowspan="3">h_{PB} < 1,05</td><td>≥ 15°</td><td>15° ≤ β_{PB} ≤ 30°</td><td>-</td><td>≥ 15°</td><td>15° ≤ β_{PB} ≤ 30°</td><td>-</td><td colspan="3" rowspan="4">interdit</td></tr>
<tr><td rowspan="2">> 20°</td><td rowspan="2">0° ≤ β_{PB} < 15°</td><td rowspan="2">≥ 15°</td><td>≥ 15°</td><td>≥ 30°</td><td>≥ 15°</td></tr>
<tr><td>> 20°</td><td>0° ≤ β_{PB} <15°</td><td>≥15°</td></tr>
<tr><td rowspan="2">1,05 ≤ h_{PB} < 1,15</td><td>≥ 15°</td><td>≥ 15°</td><td>≤ 30°</td><td rowspan="2">≥ 15°</td><td rowspan="2">≥ 15°</td><td rowspan="2">15°≤β_c≤30°</td></tr>
<tr><td>> 20°</td><td>0° ≤ β_{PB} < 15°</td><td>15° ≤ β_C ≤ 30°</td></tr>
<tr><td rowspan="2">1,15 ≤ h_{PB} ≤ 1,2</td><td>≥ 15°</td><td>≥ 15°</td><td>≤ 30°</td><td rowspan="2">≥ 15°</td><td rowspan="2">≥ 15°</td><td rowspan="2">15°≤β_c≤30°</td><td rowspan="2">≥ 15°</td><td rowspan="2">≥ 15°</td><td rowspan="2">0°≤β_c≤30°</td></tr>
<tr><td>> 20°</td><td>0° ≤ β_{PB} < 15°</td><td>15°≤ β_C ≤30°</td></tr>
<tr><td rowspan="2">h_{PB} > 1,2</td><td>≥ 15°</td><td>≥15°</td><td>0°≤β_c ≤30°</td><td rowspan="2">≥ 15°</td><td rowspan="2">≥15°</td><td rowspan="2">0°≤β_c ≤30°</td><td>≥ 15°</td><td>≥ 15°</td><td>-</td></tr>
<tr><td>≥ 15°</td><td>≥15°</td><td>0°≤ β_c ≤15°</td><td>> 20°</td><td>0°≤β_{PB}<15°</td><td>≥ 15°</td></tr>
</table>

Tableau 4: Synthèse des exigences et des recommandations pour la surface d'impact hors zone centrale

Afin d'utiliser ce tableau, il convient de déterminer dans un 1er temps h_{PB} et d_{PB} puis de s'assurer que les triplets {α ; $\beta_{Pare\text{-}Brise}$; $\beta_{carénage}$} sont conformes aux critères inscrits dans la case identifiée.

Exemple : h_{PB} = 1 m, d_{PB} = 12 cm, α = 22°, $\beta_{Pare\text{-}Brise}$ = 10°, $\beta_{carénage}$ = 20°

{h_{PB} ; d_{PB}} → 1ère ligne, 2ème colonne.

Comme α > 20°, le triplet {α ; $\beta_{Pare\text{-}Brise}$; $\beta_{carénage}$} doit être autorisé parmi les triplets existants pour α ≥ 15° ou pour α > 20°.

Ici le triplet est {22°;10°;20°} est autorisé par le triplet {>20° ; 0° ≤ β_{PB} < 15° ; ≥ 15°}.

3.4. Dispositif anti-écrasement d'un piéton (DAEP)

3.4.1. Définition

Le matériel roulant doit être doté d'un ou plusieurs dispositifs permettant de se prémunir des risques d'écrasement (tramway sur pneus) et de sectionnement d'un membre (tramway fer) d'un piéton tombé sur la voie. Le piéton ne doit en aucun cas venir en contact avec les roues du bogie.

Pour que ce ou ces dispositifs jouent pleinement leur rôle, aucun élément protubérant sous châssis ne devra blesser le piéton ou le coincer avant d'atteindre le dispositif. De même, le piéton ne devra pas être coincé sous le châssis avant d'atteindre le dispositif.

Ce type de dispositif est dénommé « Dispositif anti-écrasement d'un piéton » (DAEP).

Un chasse-corps (dispositif statique, permanent) et un ramasse-corps (dispositif dynamique nécessitant d'être déclenché) sont des DAEP.

3.4.2. Objectifs

Le DAEP doit :

- présenter une forme non agressive et conçue pour ne pas dévier vers le haut ou le bas.
- avoir une ligne d'épure inférieure aussi proche du plan du rail que les mouvements du véhicule le permettent.
- couvrir toute la largeur du bogie / de l'essieu.

L'atteinte de ces objectifs sera validée par la réussite des essais décrits dans le protocole en **ANNEXE 4.** du présent guide.

La problématique du profil de voie a été jugée peu influente pour la validation du DAEP.

Dans le cas d'un DAEP dynamique, nécessitant donc d'être déclenché, le moyen de déclenchement doit atteindre un haut niveau de fiabilité.

3.4.3. Rôle du carénage

Le carénage de la caisse peut être considéré comme un DAEP dès lors que sa garde au sol est suffisamment basse pour éviter toute intrusion d'un piéton sous châssis (à vérifier via le protocole d'essais annexé).

Il est possible que le carénage assure le rôle de DAEP pour un adulte (statut de DAEP validé après essais selon le protocole en **ANNEXE 4.** avec le mannequin adulte) mais pas pour un enfant. Dans ce cas, un second dispositif devra équiper le matériel roulant afin de couvrir les risques d'écrasement et de sectionnement d'un membre d'un enfant.

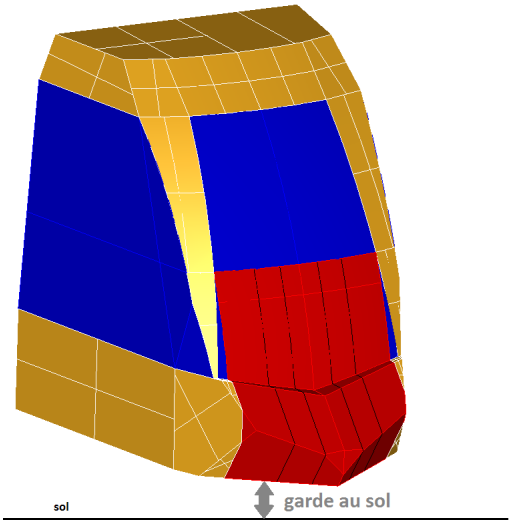


Illustration 7: définition de la garde au sol

La garde au sol devra être la plus faible possible (espace entre le niveau du rail et le bas de caisse de la cabine de conduite) en vue de limiter l'intrusion d'un piéton sous la rame et de constituer une première barrière de sécurité. Cet espace sera dimensionné afin de ne pas coincer un piéton en cas d'intrusion de celui-ci sous châssis.

4. Collision avec un VL

4.1. Événement redouté

D'après l'analyse du retour d'expérience, l'événement redouté est la collision avec un véhicule léger (VL) de type berline.

Le VL est en traversée simple (choc perpendiculaire au tramway, point d'impact tel que l'axe longitudinal du VL tangente le point le plus avancé du carénage du bout avant du tramway).

Le tramway circule à une vitesse de 30 km/h.

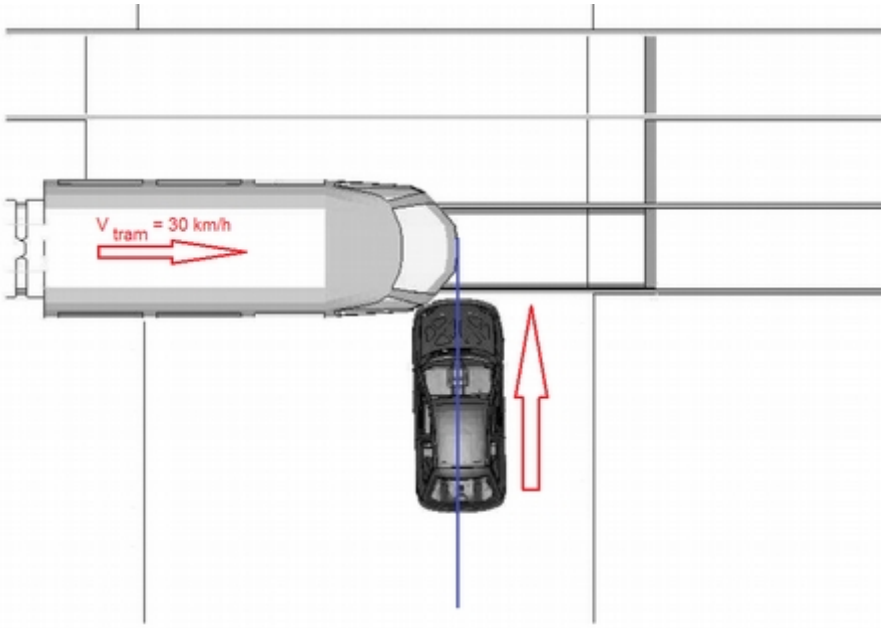


Illustration 8: Scénario de collision avec un VL

4.2. Mesures de réduction de la gravité

4.2.1. Structure du tramway

La structure du matériel roulant devra être dimensionnée conformément au scénario 3 de collision défini dans la norme NF EN 15 227 dans sa version de 2011 pour la catégorie C-IV en ce qui concerne les tramways et C-III en ce qui concerne les tram-trains.

4.2.2. Surface d'impact sur le VL

La surface d'impact devra être définie en adéquation avec les caractéristiques des véhicules routiers, notamment pour des chocs latéraux (choc en dessous des vitrages).

Nota : les vitres commencent à une hauteur d'environ 895 mm par rapport au sol pour une citadine et 1090 mm pour un monospace.

4.2.3. Indicateur de la sensibilité au déraillement

Définition du matériel de référence

Afin de garantir une non aggravation de la sensibilité au déraillement suite à une collision avec un véhicule léger (VL) lors de la conception d'un nouveau matériel roulant, chaque constructeur définira un matériel de référence.

Ce matériel de référence devra être unique et devra être un matériel existant et exploité sur le principe de la conduite à vue en France. Ce choix devra être justifié et faire l'objet d'une acceptation du STRMTG.

Cas où le calcul de l'indicateur est nécessaire

Pour ce matériel de référence, le constructeur déterminera la vitesse théorique du VL à partir de laquelle le tramway déraille, appelée indice de vitesse (cf méthodologie décrite ci-après).

L'indicateur de sensibilité de déraillement est déterminé en comparant l'indice de vitesse du VL déterminé pour le tramway de nouvelle conception déraille à celui du tramway de référence. Sa détermination est à réaliser de façon itérative.

L'indicateur de la sensibilité au déraillement étant utilisé en relatif par rapport au matériel de référence, **il n'a pas vocation à refléter la réalité** mais à démontrer l'absence de régression.

Cet indicateur sera à déterminer dès lors qu'une évolution dans la conception du matériel roulant par rapport au matériel de référence pourra impacter la sensibilité au déraillement. Tout nouveau projet d'acquisition de matériel roulant identifiera donc les écarts au matériel de référence retenu pour cet indicateur. Chacun de ces écarts sera analysé au regard de son impact sur la déraillabilité.

Exemples d'évolutions de conception nécessitant le calcul de l'indicateur pour un nouveau MR :

- allongement d'au moins 10 % de la longueur du porte-à-faux pris à l'axe du 1er bogie (tramway fer) / essieu (tramway sur pneus)
- ou allègement de la charge à l'essieu en extrémité d'au moins 10 %
- ou modification de la liaison cinématique entre la caisse et le bogie / essieu
- ou l'utilisation d'un nouveau profil de roue / système de guidage

Modélisation

Pour déterminer l'indicateur, une modélisation en deux temps doit être réalisée.

Phase 1 : Choc VL – tramway

Logiciel à utiliser :

- code de calcul habituellement utilisé pour simuler des structures en crash

Données d'entrée :

- modélisation du VL par un impacteur défini ci-après
- modélisation du tramway considéré à vide en ordre de marche avec roues neuves / système de guidage neuf

Impacteur (cf **ANNEXE 5.**) :

La barrière AE-MDB ayant vocation à être utilisée dans les logiciels de crash test pour des chocs latéraux sur les VL est adaptée de la façon suivante :

- la géométrie de la barrière est conservée
- la barrière est guidée pour n'appliquer qu'un effort purement transversal
- la barrière est modélisée d'un unique bloc
- la barrière est associée à une masse de 1,3 t

Tramway :

- modélisation de la structure du tramway dans le détail en incluant au moins la structure de la cabine de conduite.
- modélisation des dispositifs spécifiquement conçus pour reprendre des efforts en cas de collision, le cas échéant (par exemple, le carénage n'est pas à modéliser si celui-ci n'est pas conçu spécifiquement pour participer à la sécurité passive).

La modélisation d'une seule moitié de rame par rapport à l'axe longitudinal si la structure y est symétrique est admissible.

Chaque constructeur précisera clairement les hypothèses de la modélisation afin de garantir que la modélisation du MR nouvelle conception est réalisée sous les mêmes hypothèses que le MR de référence.

Méthodologie :

Le scénario considéré est celui décrit dans le § Evénement redouté à l'exception de la vitesse tramway qui est considérée nulle pour des besoins de modélisation.

Les efforts transmis par le VL seront issus de la simulation de chocs avec la barrière AE-MDB adaptée de 1,3 t définie en ANNEXE 5. , simulation réalisée en utilisant un code de calcul explicite habituellement utilisé pour simuler des structures en crash. Le point d'application de l'effort de choc est le premier point d'impact sur la structure résistante en alignant l'axe central de l'impacteur sur le point le plus avancé du carénage.

La méthodologie doit avant tout être appliquée au matériel de référence puis sur le MR concerné par l'évolution de conception.

Donnée de sortie :

Courbe d'effort appliqué sur le MR de référence et sur le MR concerné par l'évolution de conception.

Nota : Cette première phase peut être simplifiée par la définition d'un unique ensemble de courbes d'effort pour les 2 MR, notamment lorsque l'évolution de conception ne concerne pas la structure résistante.

Phase 2 : Déraillement

Logiciel à utiliser :

- logiciel de simulation des mécanismes multi-corps gérant le contact entre le rail et la roue / le système de guidage

Données d'entrée :

- courbe d'effort appliqué sur le MR déterminée en phase 1
- modélisation de l'ensemble du tramway notamment le contact entre le rail et la roue / le système de guidage, les bogies et leurs liaisons cinématiques, les amortisseurs caisse-bogie et caisse-caisse.

Méthodologie :

Le scénario considéré est celui décrit dans le § Evénement redouté (le tramway circule à 30 km/h).

La courbe d'effort obtenue dans la 1ère phase est intégrée dans un logiciel de modélisation intégrant notamment le contact entre le rail et la roue / le système de guidage.

MR de référence :

Pour la détermination de l'indicateur de sensibilité de déraillement du MR de référence il est proposé les pas de vitesse suivants :

- si le déraillement n'est pas constaté, reprendre depuis la phase 1 avec une vitesse d'impacteur augmentée de 5 km/h
- si le déraillement est constaté, reprendre depuis la phase 1 avec une vitesse d'impacteur réduite d'1 km/h

Données de sortie :

Indice de vitesse du VL à partir de laquelle le tramway déraille pour le MR de référence et pour le MR concerné par l'évolution de conception.

Synthèse

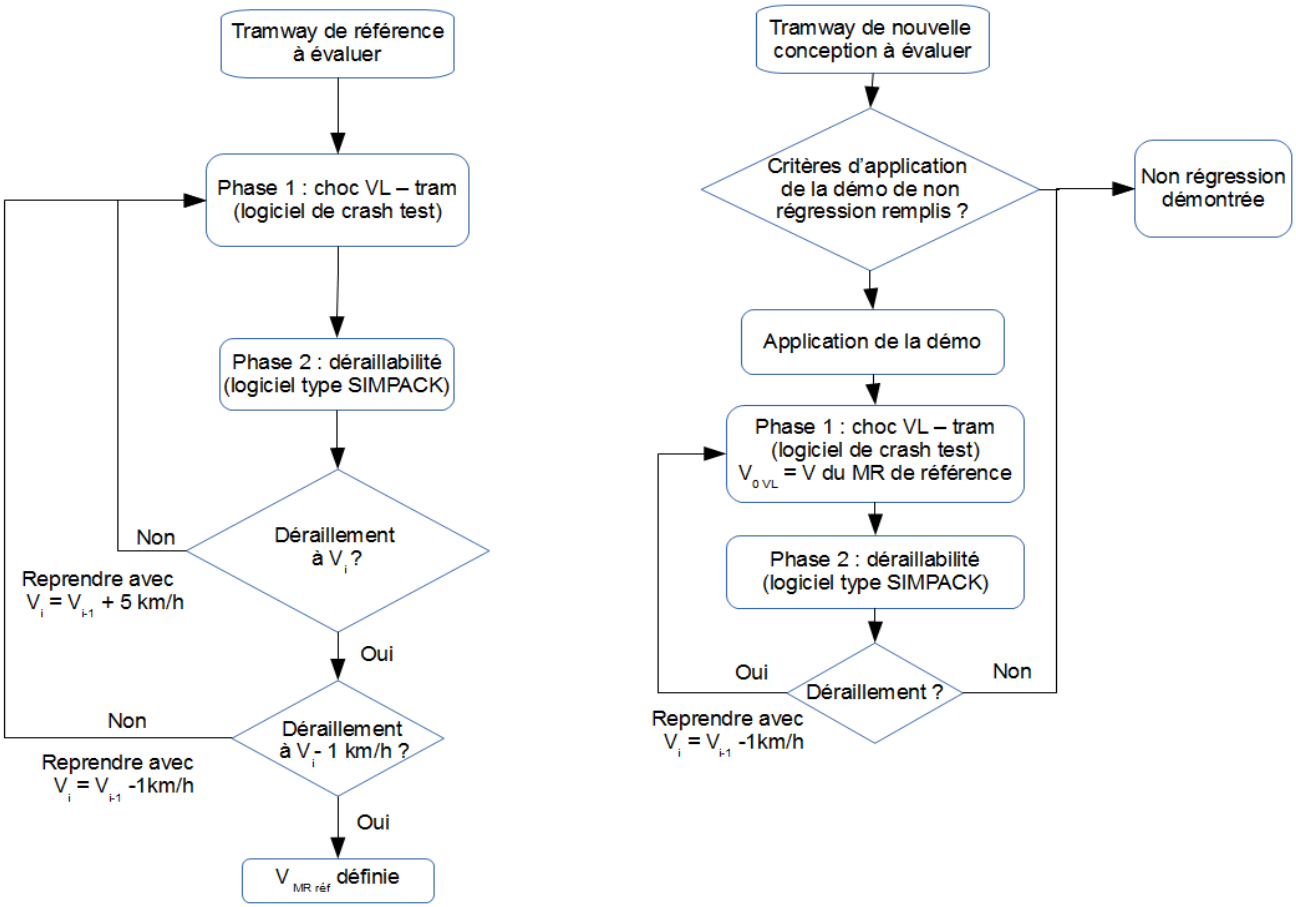


Tableau 5: Logigramme de détermination de l'indicateur de sensibilité au déraillement

5. Collision avec une autre rame

5.1. Événement redouté

Le scénario de collision à appliquer pour des rames de tramways est le scénario 1 défini dans la norme NF EN 15 227 dans sa version de 2011 pour la catégorie C-IV.

Le scénario de collision à appliquer pour des rames de tram-trains est le scénario 1 défini dans la norme NF EN 15 227 dans sa version de 2011 pour la catégorie C-III.

5.2. Mixité de circulation

En cas de mixité de circulation entre deux types de matériel roulant, une analyse des conséquences pour les personnes transportées est attendue selon le scénario 1 de la catégorie idoine de la norme NF EN 15 227 (vitesse, direction du choc) dans sa version de 2011.

ANNEXE 1. Élaboration du guide

Conformément au décret n° 2010-1580 du 17 décembre 2010, portant création du service technique des remontées mécaniques et des transports guidés, le STRMTG est chargé de produire des guides et référentiels.

Le présent document a été élaboré par le groupe de travail national « Agressivité des bouts avants » mis en place par le STRMTG.

Liste des participants :

Nom	**Société**
FOURNEAU David	ALSTOM
LE CORRE Dominique	ALSTOM
POLA José Ignacio	CAF
ROUQUETTE Frédéric	CAF
HAAB Matthieu	NTL
NARDIN Pascal	NTL
FOREST Yannick	RATP
GADEAU Cristina	RATP
MOUGEL Yannick	RATP
JUMIN Patrick	SNCF
LEPAGE Pascal	SNCF
CHAPPELIN Laurent	STRMTG
DE LABONNEFON Valérie	STRMTG
GUESSET Alexandra	STRMTG

ANNEXE 2. Glossaire

AE-MDB	Advance European Mobile Deformable Barrier
AOT	Autorité organisatrice des transports
BEA-TT	Bureau d'Enquête sur les Accidents de Transport Terrestre
DAEP	Dispositif Anti-Ecrasement d'un Piéton
DPS	Dossier Préliminaire de Sécurité
EN 15 227	Exigences en sécurité passive contre collision pour les structures de caisses des véhicules ferroviaires
MR	Matériel Roulant (tramway)
PB	Pare-Brise
STRMTG	Service Technique des Remontées Mécaniques et des Transports Guidés
VL	Véhicule Léger

ANNEXE 3. Hypothèses de modélisation d'un choc piéton – tramway

Le modèle de piéton à utiliser doit répondre aux critères suivants :

- biofidélité du piéton vérifiée
- modèle d'un adulte représentant le 50ème percentile homme et d'un enfant de 6 ans. Le modèle de l'enfant doit permettre de vérifier que les résultats obtenus avec l'adulte ne conduisent pas à des lésions mortelles pour l'enfant.

Le tramway circule à une vitesse constante de 20 km/h. Le piéton est heurté de profil. 3 lieux d'impact sont à étudier :

- à la limite de la zone centrale de 30 cm
- au bord intérieur d'un montant
- à un point situé à mi-distance entre les 2 points précédents

Le tramway doit être modélisé de sorte à être représentatif des formes, des masses, et des raideurs dans les zones d'impact avec le piéton. Chaque zone d'impact modélisée devra être suffisamment large (a minima 1 m) et haute pour couvrir la cinématique complète du piéton lors du choc.

Dans le cas où la zone d'impact du tramway est discrétisée en bandes horizontales mobiles longitudinalement, les conditions suivantes sont préconisées a minima :

- la zone d'impact doit être constituée d'au moins 5 subdivisions horizontales
- toutes les subdivisions sont de même hauteur (environ 40 cm)
- chaque subdivision doit être guidée par une liaison glissière normale à la surface de subdivision
- la raideur de chaque subdivision est représentée par un ressort
- à chaque maille sont associées une épaisseur et une masse volumique
- le modèle n'utilise pas des ellipsoïdes afin de ne pas avoir de discontinuités

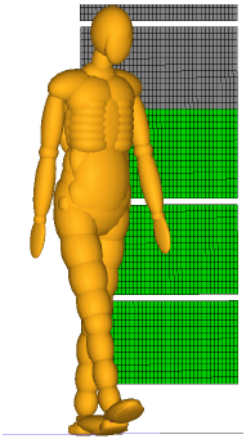


Illustration 9: à titre indicatif, modélisation en bandes horizontales

Le maillage de la zone du tramway modélisé devra être suffisamment fin. A titre indicatif, une taille de maille inférieure à 25mm est préconisée.

Les critères de réussite sont l'obtention de HIC15 < 1000 et obtenir une déviation sur le côté d'au moins 80 cm. Ces critères sont à atteindre pour les 3 lieux d'impact.

Pour calculer le dy, la simulation est arrêtée 15 ms après la fin des contacts entre le piéton et le tramway ainsi qu'entre le piéton et le sol. Les positions et les vecteurs vitesse des centres de gravité de chaque membre du piéton permettent alors de définir la position du centre de gravité global et de son vecteur vitesse. Il est ensuite considéré que le centre de gravité a une trajectoire parabolique.

ANNEXE 4. Essais de validation DAEP

A) Objectifs des essais

Ces essais ont pour objectifs de vérifier les capacités du DAEP lors d'une collision avec une personne, représentée par des mannequins dont les caractéristiques sont décrites ci-après, à :

- Arrêter un corps avant le premier essieu du premier bogie.
- Ne pas coincer la personne au niveau des cuisses ou du buste ou de la tête.
- Ne pas sectionner un des membres de la personne : le mannequin doit rester intègre.
- Repousser la personne afin qu'elle ne vienne pas en contact avec les roues.
- Ne pas projeter de débris ni se rompre lors du choc avec la personne (risque d'aggravation des blessures).

B) Conditions d'essais

Véhicule :

- Véhicule à vide en ordre de marche
- Véhicule équipé de roues neuves

Voie d'essai :

- Les essais doivent être effectués sur un tronçon de voie correspondant à une configuration urbaine (rails dans voie en béton ou bitume exclusivement)
- La zone du choc doit être en alignement droit.
- La zone d'essai sera la plus plane possible. En aucun cas un essai en rampe ne sera accepté.
- Le tronçon de voie doit être suffisamment long pour permettre d'atteindre la vitesse prescrite de 25 km/h et de s'arrêter suite au freinage.
- Tout changement des conditions météorologiques durant les essais devra être noté (rail sec, rail mouillé …)

Mannequins utilisés :

Les mannequins permettent de représenter le piéton à protéger des risques d'écrasement et de sectionnement des membres.

- Les mannequins de sauvetage terrestre articulés comportant un squelette rigide seront utilisés. Ces mannequins garantissent la représentativité de la répartition des longueurs, volumes et masses ainsi que des articulations principales (hanches et épaules) d'un être humain.
- Mannequin « adulte » : 1,83 m, 75 kg
- Mannequin « enfant » : 1,22 m, 17 kg

C) Essais à réaliser

4 essais doivent être réalisés avec le mannequin « **adulte** » :

Essai 1 : transversalement au rail, centré

Essai 2 : transversalement au rail, excentré (bassin sur la file de rail)

Essai 3 : longitudinalement sur le rail, centré

Essai 4 : longitudinalement sur le rail, excentré (bassin sur la file de rail)

4 essais doivent être réalisés avec le mannequin « **enfant** » :

Essai 1 : transversalement au rail, centré

Essai 2 : transversalement au rail, excentré (bassin sur la file de rail)

Essai 3 : longitudinalement sur le rail, centré

Essai 4 : longitudinalement sur le rail, excentré (bassin sur la file de rail)

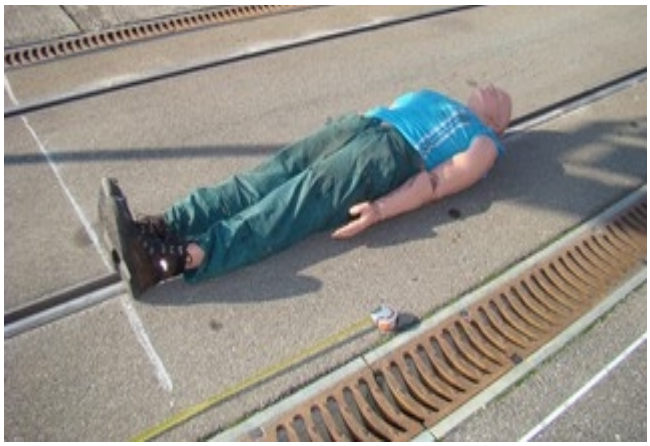
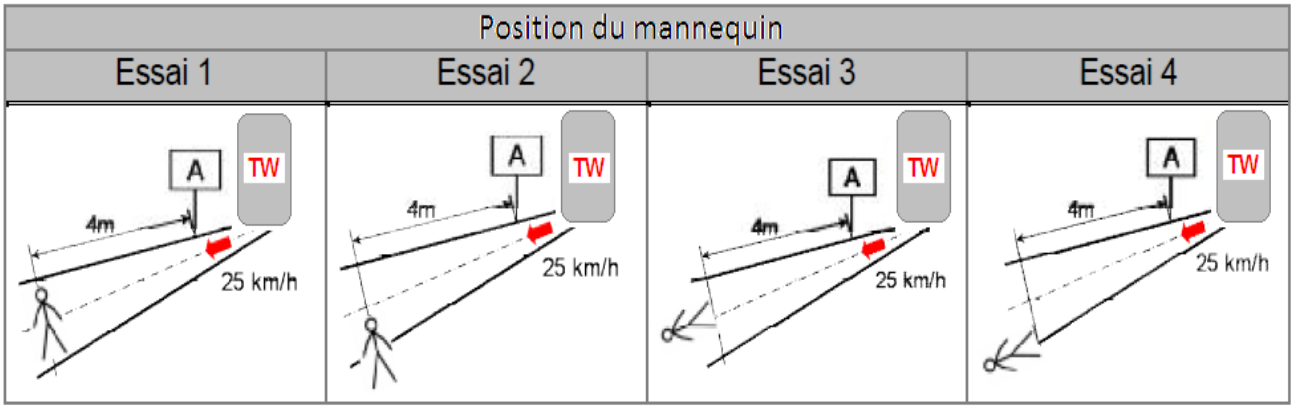


Illustration 10: essai longitudinal excentré

Illustration 11: essai transversal excentré

Afin de vérifier l'objectif « Repousser la personne afin qu'elle ne vienne pas en contact avec les roues », un dispositif fusible de vérification de non contact pourra être positionné juste devant les roues lors des essais.



Schémas descriptifs des différents essais :

Les 8 essais (4 avec l'adulte et 4 avec l'enfant) couvrent les cas de chutes à la voie les plus crédibles ainsi que les positions possibles suite au choc avec le tramway.

Chronologie des essais :

1. La distance d'arrêt de référence en FU du véhicule doit être mesurée juste avant les essais de chocs avec les mannequins.
2. Le point [A] du déclenchement du freinage d'urgence est positionné sur la voie.
3. Le mannequin (« adulte » ou « enfant ») est placé sur la voie 4 mètres après le point marqué [A] (dans le sens de la marche). Le mannequin est positionné allongé sur le dos, les jambes serrées et les bras (libres) le long du corps.
4. Le véhicule roule à la vitesse constante de 25 km/h (quelque soit la longueur entre le bout avant et le DAEP). Lorsque le bout avant du véhicule atteint le point [A], le conducteur déclenche un freinage d'urgence jusqu'à l'arrêt complet de la rame.

D) Documents à fournir

Pièce 1 « Description du DAEP » :

- Plan(s) coté(s) du DAEP (notamment le profil altimétrique de la ligne d'épure inférieure par rapport au plan de roulement, hauteur, largeur, …)
- Type de fixations à la structure du matériel roulant
- Matériaux utilisés

Pièce 2 « Tableau de compte-rendu du protocole d'essais de DAEP » :

La trame de compte-rendu ci-après devra être dûment complétée ainsi que les photos illustratives et vidéos associées.

Le tableau de compte-rendu doit s'attacher à décrire précisément, pour chacun des 8 essais, les conséquences du choc avec le mannequin.

Pour chacun des 8 essais, fournir :

- Des photos de qualité et de dimensions suffisantes illustrant :
  - La position du mannequin avant le choc avec le matériel roulant : 1 photo de vue d'ensemble (voie, point de déclenchement du FU et mannequin)
  - La position du mannequin après le choc : 2 photos prises au niveau du sol et sous 2 angles différents pour visualiser l'ensemble du mannequin et les pièces du matériel roulant avec lesquelles il reste en contact ou pas suite au choc.
- Une vidéo de qualité et de dimensions suffisantes de la séquence complète pris d'un angle adéquat permettant de visualiser la dynamique du choc du mannequin avec le DAEP.

Pièce 3 : Conclusion

Pour chacun des 8 essais, elle doit indiquer si le DAEP remplit les objectifs du paragraphe A.

Tableau de compte-rendu du protocole d'essais de DAEP

Objet OLE : double cliquer pour éditer

Description du périmètre des essais				
Dates des essais				
Localisation de la voie d'essai				
Caractéristiques de la voie	Pente : en %	Rail : Mouillé – Sec		
Type de matériel roulant	Contructeur :	Modèle :	Numéro de rame :	
Distance d'arrêt de référence du tramway en FU (en m)	en m			
Matériel roulant à vide en ordre de marche avec roues neuves Garde au sol du chasse-corps : Relever le point le plus bas et le plus haut par rapport au plan de roulement (en mm) **Avant le choc**	Point le plus haut (en mm) : Point le plus bas (en mm) :	Point le plus haut (en mm) : Point le plus bas (en mm) :	Point le plus haut (en mm) : Point le plus bas (en mm) :	Point le plus haut (en mm) : Point le plus bas (en mm) :
Caractéristiques du mannequin	Modèle :	Articulé : Oui – Non	Taille : en m	Masse : en kg

Libellé des essais				
Dénomination de l'essai	**Essai "1"**	**Essai "2"**	**Essai "3"**	**Essai "4"**
Positionnement du mannequin par rapport à la voie	Mannequin centré Transversal au rail	Mannequin excentré Transversal au rail	Mannequin centré Logitudinal au rail	Mannequin excentré Logitudinal au rail
Schéma descriptif des essais				

Résultats des essais				
Description de la cinématique de la rame				
Vitesse du tramway lors du FU (en km/h)				
Distance d'arrêt tramway après déclenchement du FU (en m)				

Description de la position et l'état du mannequin après le choc lors des différents essais
Renseigner la ligne correspondant au résultat obtenu lors de l'essai (position relative par rapport à la rame et détérioration du mannequin)

Le mannequin est chassé hors de l'emprise matériel roulant. Aucune partie du mannequin ne reste sous le matériel roulant (que ce soit avant ou après le chasse-corps)		Position et état du mannequin au niveau de :		Position et état du mannequin au niveau de :		Position et état du mannequin au niveau de :		Position et état du mannequin au niveau de :
		La tête :		La tête :		La tête :		La tête :
		Du buste :		Du buste :		Du buste :		Du buste :
		Des jambes :		Des jambes :		Des jambes :		Des jambes :
		Des bras :		Des bras :		Des bras :		Des bras :
Le mannequin ne franchit pas le chasse-corps Aucune partie du mannequin ne reste coincée dans ou sous le chasse corps		Position et état du mannequin au niveau de :		Position et état du mannequin au niveau de :		Position et état du mannequin au niveau de :		Position et état du mannequin au niveau de :
		La tête :		La tête :		La tête :		La tête :
		Du buste :		Du buste :		Du buste :		Du buste :
		Des jambes :		Des jambes :		Des jambes :		Des jambes :
		Des bras :		Des bras :		Des bras :		Des bras :
Le mannequin ne franchit pas le chasse-corps Des parties du mannequin restent coincées dans ou sous le chasse corps		Position et état du mannequin au niveau de :		Position et état du mannequin au niveau de :		Position et état du mannequin au niveau de :		Position et état du mannequin au niveau de :
		La tête :		La tête :		La tête :		La tête :
		Du buste :		Du buste :		Du buste :		Du buste :
		Des jambes :		Des jambes :		Des jambes :		Des jambes :
		Des bras :		Des bras :		Des bras :		Des bras :
Le mannequin pivote autour du chasse-corps en et passe sous la rame Aucune partie du mannequin ne heurte le bogie et les roues		Position et état du mannequin au niveau de :		Position et état du mannequin au niveau de :		Position et état du mannequin au niveau de :		Position et état du mannequin au niveau de :
		La tête :		La tête :		La tête :		La tête :
		Du buste :		Du buste :		Du buste :		Du buste :
		Des jambes :		Des jambes :		Des jambes :		Des jambes :
		Des bras :		Des bras :		Des bras :		Des bras :
Le mannequin pivote autour du chasse-corps et passe sous la rame Des parties du mannequin heurtent le bogie et les roues		Position et état du mannequin au niveau de :		Position et état du mannequin au niveau de :		Position et état du mannequin au niveau de :		Position et état du mannequin au niveau de :
		La tête :		La tête :		La tête :		La tête :
		Du buste :		Du buste :		Du buste :		Du buste :
		Des jambes :		Des jambes :		Des jambes :		Des jambes :
		Des bras :		Des bras :		Des bras :		Des bras :

Pour chacun des essai :
Fournir :
Des photos de qualité et de dimensions suffisantes prises d'un angle adéquat illustrant :
-La position du mannequin avant le choc avec le matériel roulant : 1 photo de vue d'ensemble (voie, point de déclenchement du FU et mannequin)
-La position du mannequin après le choc : 2 photos prises au niveau du sol et sous 2 angles différents pour visualiser l'ensemble du mannequin et les pièces du matériel roulant avec lesquelles il reste en contact ou pas suite au choc.

Une vidéo de qualité et de dimensions suffisantes de la séquence complète pris d'un angle adéquat permettant de visualiser la dynamique du choc du mannequin avec le chasse-corps.

Description de l'état du chasse-corps après le choc

Pour chacun des essais, si le chasse-corps s'est déformé après le choc : Relever le point le plus bas et le plus haut Par rapport au plan de roulement (en mm)	Déformation	Garde au sol	Déformation	Garde au sol	Déformation	Garde au sol	Déformation	Garde au sol
	Oui-Non	Point le plus haut (en mm) : Point le plus bas (en mm) :	Oui-Non	Point le plus haut (en mm) : Point le plus bas (en mm) :	Oui-Non	Point le plus haut (en mm) : Point le plus bas (en mm) :	Oui-Non	Point le plus haut (en mm) : Point le plus bas (en mm) :

Pour chacun des essais :
Fournir :
Au moins 1 photo de qualité et de dimensions suffisantes prises d'un angle adéquat illustrant :
La position et l'état du chasse-corps

ANNEXE 5. Modélisation de la barrière AE-MDB adaptée

Le modèle numérique de l'impacteur représentant le VL est composé de trois parties :

- Une enveloppe rigide indéformable aux dimensions extérieures de la barrière AE-MDB (Illustrations 14 et 15) et de masse nulle ou très faible.
- Une masse concentrée de 1300 kg qui pourra être représentée soit par un volume ou par un point.
- Un élément unidimensionnel liant l'enveloppe rigide à la masse concentrée et dont la caractéristique force-écrasement irréversible est présentée en Illustration 16 et Tableau 6 (à noter que l'impacteur ne pourra en aucun cas dépasser 375mm d'écrasement environ).

L'impacteur dans son ensemble est présenté en illustrations 12 et 13.

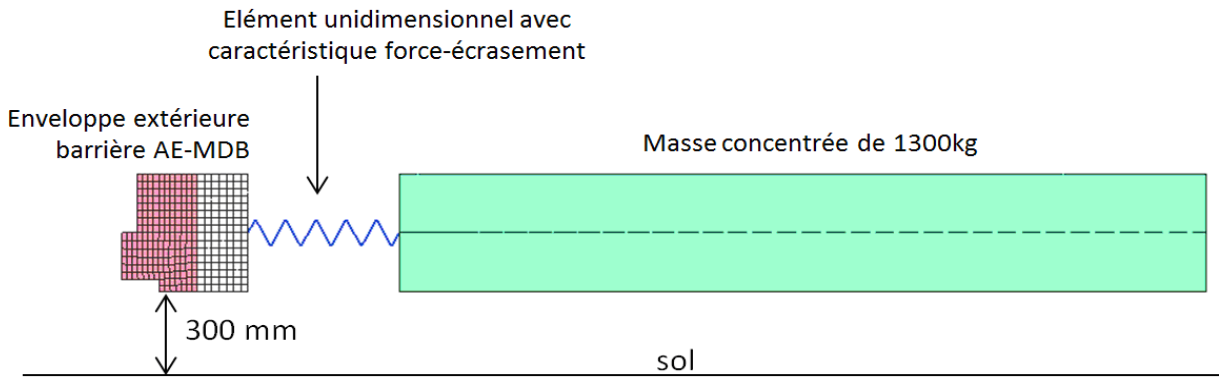


Illustration 12: Vue d'ensemble du modèle numérique de l'impacteur VL

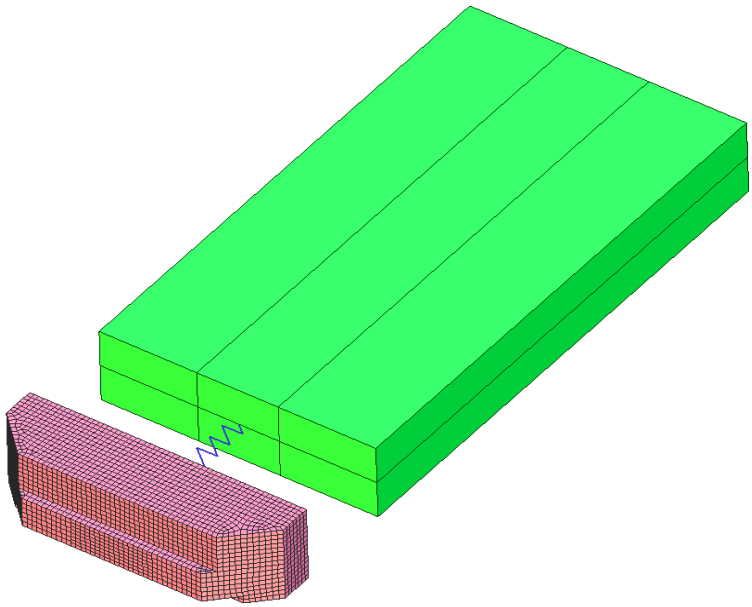


Illustration 13: Vue d'ensemble en perspective du modèle numérique de l'impacteur VL

Les trois parties précédemment listées ont une vitesse initiale V_i, et sont guidées en translation.

L'impacteur est positionné de sorte que la partie inférieure de l'enveloppe de la barrière AE-MDB se trouve à 300 mm du sol et longitudinalement au contact du tramway qui aura été modélisé. Un frottement nul pourra être considéré entre l'impacteur et le tramway.

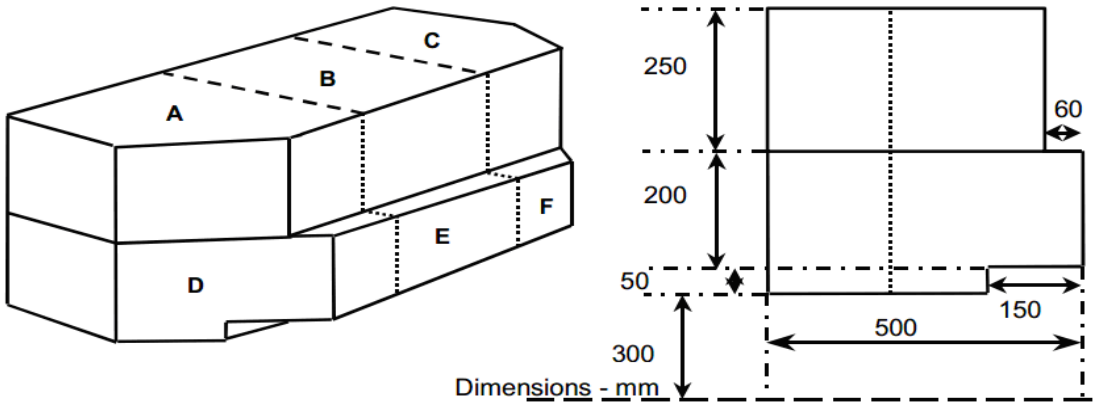


Illustration 14: Dimension de la barrière AE-MDB en vue de côté

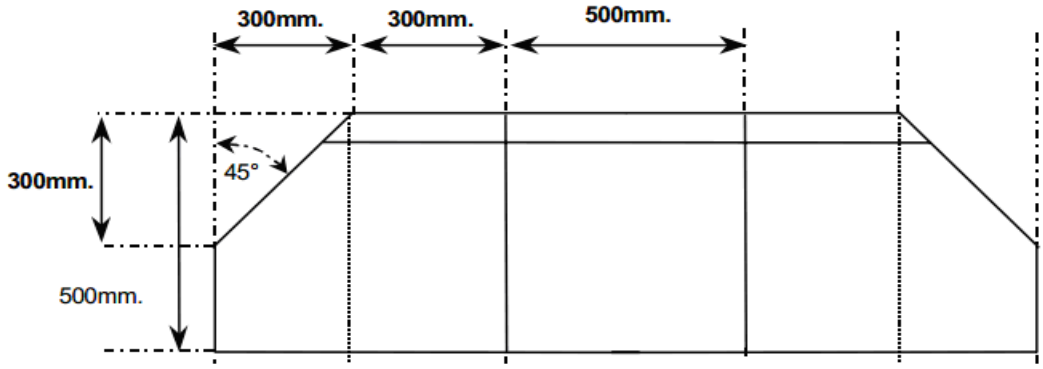


Illustration 15: Dimensions de la barrière AE-MDB en vue de dessus

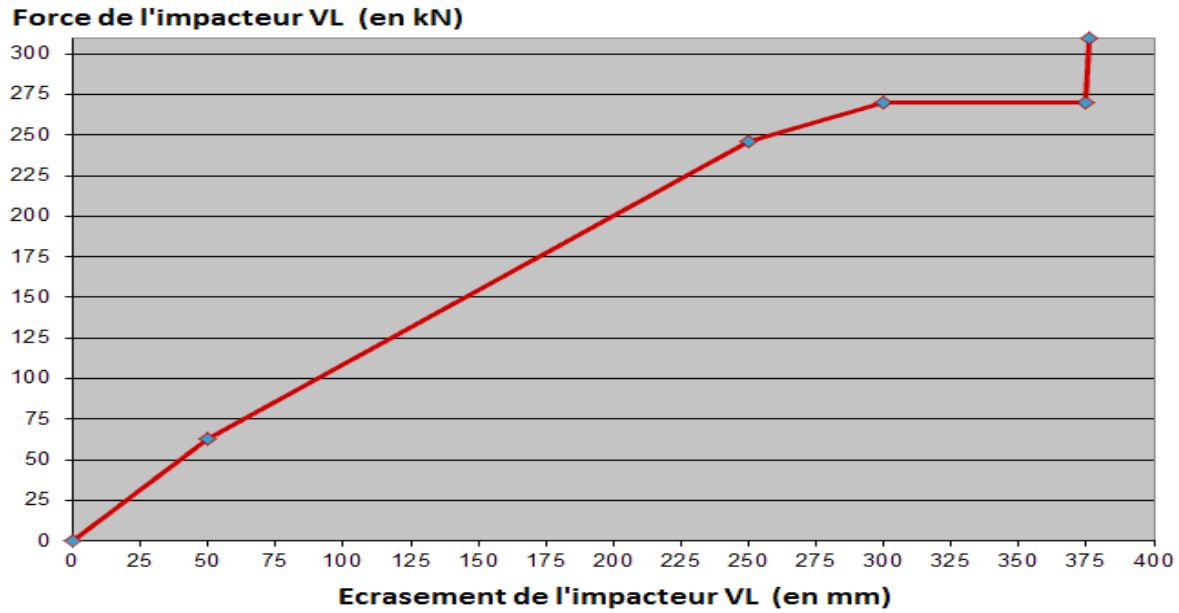


Illustration 16: Caractéristique force-écrasement de l'impacteur VL

Ecrasement (en mm)	Force (en kN)
0	0
50	63
250	246
300	270
375	270
376	310

Tableau 6: Coordonnées des points caractérisant la courbe force-écrasement de l'impacteur VL

Pour chaque vitesse de VL, les courbes de force en fonction du temps pourront être filtrées pour leur utilisation en phase 2.