



GUIDE TECHNIQUE



STRMTG

SERVICE TECHNIQUE DES REMONTÉES MÉCANIQUES ET DES TRANSPORTS GUIDÉS

TRANSPORTS GUIDÉS URBAINS

SÉCURITÉ DES ZONES DE MANŒUVRE DE TRAMWAYS

Version 2 – Décembre 2022



MINISTÈRE
DE LA TRANSITION
ÉCOLOGIQUE
ET SOLIDAIRE

MINISTÈRE
CHARGÉ DES
TRANSPORTS

Objet – Domaine d'application – Destinataires

Le présent guide technique explicite :

- les exigences de conception, exploitation et maintenance des zones de manœuvre tramway, qu'elles soient ou non équipées d'un dispositif de signalisation dynamique ;
- les risques associés à la circulation des tramways en zone de manœuvre ;
- le niveau de sécurité minimum à allouer aux fonctions techniques assurant la sécurité de ces circulations ;
- les spécifications de fonctionnement permettant de réduire les risques identifiés, en intégrant le « facteur humain ».

Il est applicable aux systèmes tramways relevant du titre II du décret 2017-440 modifié, et pour leur partie urbaine, aux systèmes mixtes relevant du titre III de ce même décret.

Il est applicable à tout nouveau projet concernant les systèmes énoncés ci-dessus n'ayant pas fait l'objet d'une approbation au stade du dossier préliminaire de sécurité (DPS) à la date de publication du présent guide.

Il reprend les exigences du guide STRMTG « Sécurisation des configurations des systèmes tramway avec perte de visibilité à distance de freinage » et le remplace.

Il est destiné à l'ensemble des acteurs professionnels du secteur des transports publics guidés urbains de personnes : Autorité organisatrice de la mobilité (AOM), maîtres d'ouvrage (MOA), exploitants, maîtres d'œuvre (MOE), bureaux d'études, organismes qualifiés agréés ou accrédités (OQA).

Les dispositions du présent guide ne présentent pas de caractère réglementaire mais leur respect permet cependant de présumer du respect des exigences réglementaires et/ou de 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° version	Date	Nature de la version
1	Oct. 2017	Création
2	Déc. 2022	Précisions des points d'attention associés à la mise en œuvre de mesures de prévention conduisant à la mise en mouvement automatique d'un appareil de voie motorisé pris en pointe (§8.6) Màj suite à publication du guide STRMTG « Implantation des obstacles fixes à proximité des intersections tramways/voies routières – v3 » (§3.2.6) Màj suite à publication du guide STRMTG « Liste « générique » des accidents potentiels – v2 » Corrections de forme et précisions visant à clarifier l'application du guide

RÉDACTEUR	VÉRIFICATEUR	APPROBATEUR
Gaëlle SANTARROMANA Chargée d'affaires systèmes	Valérie DE LABONNEFON Responsable du département tramways & matériels roulants	Daniel PFEIFFER Directeur



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

Crédit photos page de couverture : agents du STRMTG

Sommaire

Introduction	5
1 - Objet et limites du guide	5
1.1 - Objet du guide.....	5
1.2 - Limites du guide.....	5
1.3 - Champ d'application du guide.....	6
1.3.1 - Systèmes concernés.....	6
1.3.2 - Cas des systèmes en service.....	6
2 - Principes directeurs et méthodologie retenus pour la conception des zones de manœuvre	6
2.1 - Principes directeurs.....	6
2.2 - Méthodologie retenue pour la conception d'une zone de manœuvre.....	7
3 - Définition, hypothèses et paramètres d'analyse des accidents potentiels	8
3.1 - Définition des accidents potentiels.....	8
3.2 - Définitions, principes généraux de calcul des distances d'arrêt et de freinage, et des vitesses associées.....	9
3.2.1 - Distance d'arrêt.....	9
3.2.2 - Vitesse de sécurité (caractérisation des configurations avec perte de visibilité à distance de freinage).....	9
3.2.3 - Vitesse critique.....	10
3.2.4 - Vitesse de consigne.....	10
3.2.5 - Vitesse technique.....	10
3.2.6 - Notion de vitesse crédible.....	10
3.2.7 - Vitesse de choc.....	11
3.3 - Explication de certains paramètres influant sur la gravité ou l'occurrence de l'accident potentiel.....	12
3.3.1 - Risques extérieurs dans l'environnement de la zone.....	12
3.3.2 - Zone avec/sans voyageurs.....	13
3.3.3 - Zone difficile d'accès.....	13
3.3.4 - Fréquence élevée – occurrence d'arrêt élevée.....	13
3.3.5 - Vitesse de circulation du tramway dans la zone.....	13
3.4 - Typologie de zones et accidents potentiels associés.....	14
4 - Situations/configurations imposant la mise en place d'un dispositif de signalisation dynamique	17
4.1 - Assurer la sécurité des circulations les unes vis-à-vis des autres.....	17
4.1.1 - Assurer l'espacement entre les tramways.....	17
4.1.2 - Gérer les incompatibilités de mouvement entre tramways.....	17
4.2 - Assurer le franchissement des aiguilles en sécurité.....	18
5 - Exigences générales de conception, exploitation et maintenance pour les zones où un dispositif de signalisation dynamique n'est pas requis	19
5.1 - Exigences générales de conception.....	19
5.2 - Exigences générales d'exploitation et maintenance.....	20
6 - Exigences générales de conception, exploitation et maintenance pour les zones où un dispositif de signalisation dynamique est requis	20
6.1 - Exigences générales de conception.....	20
6.2 - Exigences générales d'exploitation et maintenance.....	23
7 - Spécifications de besoins sur le plan de la sécurité pour les zones équipées d'un dispositif de signalisation dynamique	23
7.1 - Fonctions de sécurité et modes de défaillance.....	24
7.2 - Matrice de criticité de référence.....	25
8 - Mesures techniques et fonctionnelles de prévention/rattrapage pour les zones équipées d'un dispositif de signalisation dynamique	27

8.1 - Typologie des mesures de prévention/rattrapage.....	27
8.2 - Mesures relatives au déraillement par survitesse, bi-voie et par talonnage.....	30
8.3 - Mesures relatives aux collisions frontales par rattrapage et nez-à-nez.....	30
8.4 - Mesures relatives aux collisions latérales par prise en écharpe, cisaillement et croisement.....	31
8.5 - Principes de substitution des mesures fonctionnelles de prévention/rattrapage.....	32
8.6 - Méthodologie d'analyse des modes de défaillance.....	32
9 - Fiches à appliquer pour les zones équipées d'un dispositif de signalisation dynamique.....	34
9.1 - Contenu et utilisation des fiches.....	34
9.2 - Cas particulier de la convergence de voies avec une aiguille prise en pointe en amont.....	34
9.3 - Cas particulier des tiroirs en ligne et des entrées/sorties de voie unique.....	35
Annexe A – Fiches.....	37
Annexe B – Exemple d'application du guide sur une communication croisée en avant-gare.....	61
Annexe C – Glossaire.....	67
Annexe D – Principaux sigles utilisés.....	68
Annexe E – Élaboration du guide.....	69

Introduction

Dans le présent guide, une zone de manœuvre est définie comme la portion de voies présentant une aiguille, une traversée d'une autre voie tramway, une exploitation à double sens sur voie unique ou voies entrelacées ou une perte de visibilité à distance de freinage engendrant ainsi un risque de collision entre tramways (incluant les configurations pour lesquelles le seuil de conduite à vue – adaptation par le conducteur de sa vitesse et conditionnement de son rythme de conduite à ce qu'il voit – n'est plus crédible).

Le fonctionnement d'une zone de manœuvre devant à la fois répondre à des impératifs de sécurité et d'exploitation, sa conception doit prendre en compte : la typologie des accidents potentiels et leur niveau de gravité associé, la configuration de chaque zone de manœuvre ainsi que les spécificités découlant de l'application du principe de la conduite à vue.

1 - Objet et limites du guide

1.1 - Objet du guide

Ce guide traite de la conception des zones de manœuvre tramway, qu'elles soient ou non équipées d'un dispositif de signalisation dynamique, comprenant les zones suivantes : cantonnement, voie unique, arrière-gare, avant-gare, débranchement, évitement, croisement, communication...

Il ne s'applique pas aux zones situées en dépôt, ni aux zones permettant d'y accéder lorsqu'elles sont uniquement parcourues par des tramways sans voyageur, et qu'elles ne présentent pas de risques extérieurs.

Pour chaque typologie de zone, le guide définit :

- les risques associés à la circulation de tramways en zone de manœuvre ;
- le « juste » niveau de sécurité à allouer aux fonctions techniques assurant la sécurité de ces circulations, en regard des risques encourus et en intégrant le « facteur humain » ;
- les spécifications (ou exigences) de fonctionnement permettant de réduire ces risques, en intégrant le « facteur humain ».

1.2 - Limites du guide

Les préconisations inscrites dans ce guide constituent une base de travail contenant le minimum admissible pouvant servir de référence GAME (au sens de l'article 3 du décret 2017-440 modifié) pour les nouvelles zones de manœuvre. D'autres dispositions peuvent être proposées, dans la mesure où l'équivalence des exigences est justifiée. Les éléments présentés visent à traiter les risques courants rencontrés en zone de manœuvre et ne portent pas préjudice à la mise en œuvre de mesures plus restrictives issues de l'analyse des risques systèmes (ex : sur-accident catastrophique en cas de déraillement). Cette base de travail ne remplace pas la démonstration de sécurité du système de transport.

Le présent guide s'applique aux zones de manœuvre dans leur configuration normale d'exploitation, telle que définie par l'article 1 de l'arrêté du 23 mai 2003 modifié relatif aux dossiers de sécurité des systèmes de transport public guidés urbains. Est exclue la prise en compte, sur une zone donnée, des accidents potentiels liés à des mouvements parcourus uniquement en cas de fonctionnement particulier ou dégradé du système (exemple : mouvements liés à la réalisation de services provisoires mis en place à la suite d'un évènement ponctuel ; en revanche les mouvements de retrait/injection sur le réseau sont à prendre en compte de même que le parcours en nominal d'une communication de rebroussement prise par la pointe ou non talonnable).

Pour l'application du guide, il est considéré que :

- le matériel roulant est conçu et maintenu selon les règles de l'art en vigueur (performances de freinage, éclairage extérieur, visibilité, maintenance des roues de tramway fer pour la détection...);
- les systèmes de gestion des parcours et/ou des commandes d'aiguilles sont réputés conformes aux normes les concernant en matière de conception, de fabrication, d'installation et de qualification ; ces exigences ne sont donc pas abordées dans ce guide.

Les dysfonctionnements techniques seront pris en compte en tant que « sources de danger ». Il pourra être défini des exigences générales identifiant les dysfonctionnements à prendre en compte par les exploitants. En revanche, les modalités de gestion/recouvrement des modes dégradés associés ne sont pas abordées et restent à définir par l'exploitant.

1.3 - Champ d'application du guide

1.3.1 - Systèmes concernés

Les préconisations définies dans le présent guide s'appliquent à tout nouveau système de tramway sur fer ou pneus¹, relevant du titre II du décret STPG et, pour leur partie urbaine, aux systèmes « mixtes » relevant du titre III de ce même décret.

On entend par « nouveau système » tout projet 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.

1.3.2 - Cas des systèmes en service

Les préconisations définies dans le présent guide s'appliquent à tout prolongement ou toute modification substantielle d'un système existant de tramway sur fer ou pneus¹ ayant un impact sur la conception d'une ou des zones de manœuvre.

La cohérence de la signalisation ferroviaire à l'échelle du réseau (éventuellement par lignes ou par zones homogènes selon l'organisation des services de transport), vis-à-vis de sa perception par les conducteurs, devra être prise en compte dans la continuité des configurations existantes. Dans cet objectif, les éventuels écarts en termes de signalisation, de commande et de fonctionnement avec les préconisations du présent guide sont à relever et à analyser.

En cas de survenue d'un accident potentiel, tel que défini dans le présent guide, en zone de manœuvre, le plan d'actions qui en découle devra s'inspirer des préconisations définies ci-après.

2 - Principes directeurs et méthodologie retenus pour la conception des zones de manœuvre

2.1 - Principes directeurs

Les systèmes tramways sont par définition gérés selon le principe de la conduite à vue, sous la responsabilité du conducteur qui doit rester au cœur du système. Le conducteur adapte sa vitesse et conditionne son rythme de conduite à ce qu'il voit.

Le principe de la conduite à vue demeure valable en zone signalisée, notamment au motif qu'elle n'est pas forcément libre de toute interaction avec des tiers et que la conduite à vue répond à d'autres contraintes de sécurité que la seule couverture du risque de collision entre tramways (ex : collision avec un obstacle présent sur la voie).

¹ Le cas des tramways sur pneus pourra éventuellement nécessiter une analyse complémentaire, en particulier au niveau des valeurs de freinage à prendre en compte et des particularités issues des appareils de voie.

En regard du REX, la possibilité d'une « boucle de rattrapage » par le conducteur peut raisonnablement être prise en compte, dans certaines situations/configurations, et à condition que la robustesse des dispositifs « techniques » (qu'il s'agisse des dispositifs de signalisation dynamique de la zone de manœuvre ou des dispositifs de prévention/rattrapage) soit largement supérieure à celle de l'homme. Un facteur de « robustesse » de 100 entre le niveau de sécurité des dispositifs de signalisation dynamique équipant les zones de manœuvre et le niveau de « fiabilité » de l'homme a été retenu, impliquant un niveau de SIL (Safety Integrity Level) minimum de SIL1 pour ces dispositifs. En effet, il n'est pas acceptable que la « technique » puisse régulièrement « piéger » l'homme (crédibilité des équipements).

Pour autant, l'erreur humaine est également une réalité ; elle a donc été prise en compte dans les conditions suivantes :

- les analyses se sont limitées à la prise en compte d'une seule erreur humaine par scénario ;
Nota : il est toutefois mis en avant l'éventualité d'une double défaillance d'un même conducteur, la seconde défaillance pouvant être une résultante de la 1^{ère} (notion de « mode commun »).
Exemple : erreur de télécommande mais respect de la vitesse de consigne pour la direction vers laquelle le conducteur pense aller ; franchissement de signal restrictif et absence de télécommande (le mode commun de défaillance considéré est l'hypovigilance du conducteur conduisant à l'oubli de télécommande et à l'erreur de non-respect de la signalisation) ;
- le phénomène de « délit d'habitude » a été appréhendé de manière à ne pas être « défavorable » au plan de la sécurité (homogénéité de commande ou de vitesse dans des configurations similaires sur un même réseau (éventuellement par ligne ou par zones homogènes selon l'organisation des services de transport) – observations issues du retour d'expérience) ;
- une attention particulière a été portée aux risques associés à une « surcharge » cognitive des conducteurs (nombre d'actions trop important à effectuer dans une durée courte ou nombre d'informations trop important à intégrer ou visualiser).

Le niveau de sécurité en zone de manœuvre a donc été appréhendé de manière globale (défaillances techniques et erreurs humaines) et adapté à la criticité des risques encourus (fonction des zones notamment).

2.2 - Méthodologie retenue pour la conception d'une zone de manœuvre

Le guide définit les étapes à suivre pour la conception d'une zone de manœuvre :

1. détermination des accidents potentiels susceptibles d'être rencontrés sur la zone (cf Chapitre 3.1 et Chapitre 3.4) ;
2. détermination de l'obligation de mise en place d'un dispositif de signalisation dynamique sur la zone (cf Chapitre 4) ;
3. détermination, via les fiches des accidents potentiels (cf Chapitre 9 et Annexe A), des niveaux de gravité et des exigences de SIL correspondants pour les dispositifs de sécurité (cf Chapitre 7) ; étude de l'implantation de la signalisation ferroviaire, en tenant compte de la visibilité des signaux et de la détection par un conducteur d'une erreur d'un autre conducteur, en lien avec la vitesse du tramway sur la zone (détermination notamment de la vitesse de choc entre rames) ;
4. définition, via les fiches correspondantes des accidents potentiels (cf Chapitre 9 et Annexe A), des mesures de prévention/rattrapage à mettre en œuvre (pour abaisser l'occurrence d'une situation dangereuse identifiée).

Les exigences générales définies au chapitre 5 pour les zones sans dispositif de signalisation dynamique et au chapitre 6 pour les zones avec un dispositif de signalisation dynamique sont également applicables.

3 - Définition, hypothèses et paramètres d'analyse des accidents potentiels

3.1 - Définition des accidents potentiels

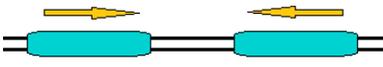
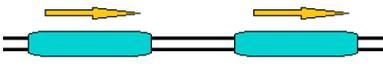
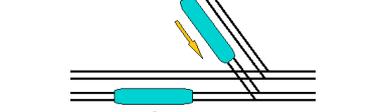
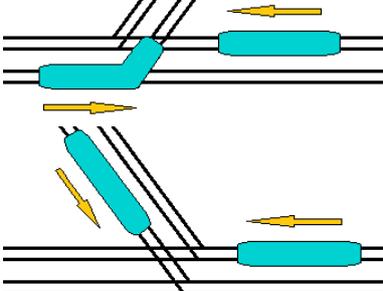
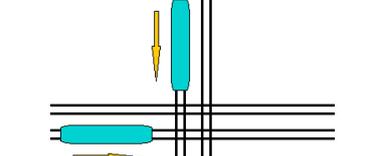
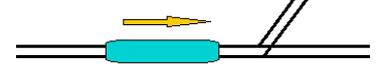
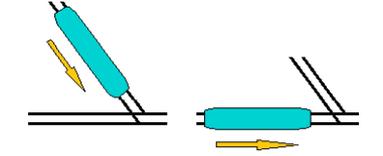
Accident potentiel	Illustration	Définition
Collision par nez à nez		Collision d'un tramway avec un autre circulant en sens inverse
Collision par rattrapage		Collision entre tramways allant vers une même direction et circulant sur une même voie
Collision par prise en écharpe		Collision entre deux tramways dont les parcours convergent, la collision a lieu sur un aiguillage pris par le talon
Collision par cisaillement		Collision entre un tramway empruntant un aiguillage par la pointe et un tramway dont la trajectoire cisaille l'une des deux destinations possibles de l'autre tramway.
Collision par croisement		Collision entre deux tramways d'itinéraires sécants sans aiguillage
Déraillement par survitesse		Déraillement du tramway sur une aiguille prise en pointe du fait d'une inadéquation de la vitesse du tramway avec la position de l'appareil de voie
Déraillement par bi-voie		Déraillement ou mise en crabe d'un tramway sur une aiguille prise en pointe du fait d'un mouvement intempestif ou d'un positionnement non correct de l'appareil de voie au passage du tramway
Déraillement par talonnage		Déraillement du tramway sur un appareil de voie non talonnable (aiguillage verrouillé ou appareil de voie pour tramway sur pneus) pris par le talon, du fait d'un positionnement de l'appareil de voie dans une position incompatible avec le parcours du tramway

Tableau 1 : définition et illustration des accidents potentiels objets du guide

3.2 - Définitions, principes généraux de calcul des distances d'arrêt et de freinage, et des vitesses associées

3.2.1 - Distance d'arrêt

La distance de freinage se calcule au moyen de la formule inscrite dans la norme NF EN 13452-1 relative au freinage – systèmes de freinage des transports publics urbains et suburbains :

$$d = \frac{V_0^2}{2a} + V_0 \cdot t_r$$

Avec :

- d la distance (m)
- a la décélération du véhicule (m/s²)
- V₀ la vitesse du tramway (m/s)
- t_r le temps de réaction homme + machine (s)

Conformément au chapitre 1.2, les différents modes dégradés possibles du matériel roulant ainsi que les conditions d'adhérence ne sont pas pris en compte dans les calculs de distance de freinage dans le cadre du présent guide. La distance de freinage est aussi appelée distance d'arrêt.

Dans la suite du guide, la distance nécessaire à une rame circulant à une vitesse V₀ pour s'arrêter en FNS (a=1,2 m/s²) avec t_r=1,5s est notée distance de sécurité (d_{sécurité}).

3.2.2 - Vitesse de sécurité (caractérisation des configurations avec perte de visibilité à distance de freinage)

Les configurations avec perte de visibilité à distance de freinage correspondent à une configuration ou une zone de manœuvre dans laquelle la vitesse des tramways est telle que la visibilité réciproque (ou sur le tramway qui précède) des conducteurs à distance de freinage n'est pas garantie (*exemples : présence de masques tel que bâti, végétation ou mobilier urbain à proximité de la zone, courbe...*)

La distance de visibilité (d_{visibilité}) est la distance mesurée entre 2 rames (en suivant le rail), la première étant positionnée au point le plus contraignant en termes de visibilité, la seconde étant positionnée à son point de détection théorique (visibilité de la girouette ou des feux stop selon le profil en long).

La présence d'un tramway croiseur n'a pas été retenue comme paramètre pouvant occasionner une perte de visibilité à distance de freinage.

Hors voie unique ou voies entrelacées, pour une distance de visibilité (d_{visibilité}) donnée, la vitesse de sécurité (V_{sécurité}) est définie comme la vitesse pour laquelle la distance d'arrêt en FNS (a = 1,2 m/s²) avec t_r = 1,5 s est égale à d_{visibilité}.

$$d_{visibilité} = \frac{V_{sécurité}^2}{2a} + V_{sécurité} \cdot t_r$$

Pour une pente de X %, la décélération à prendre en compte est :

$$a_p = a - g \cdot \frac{X}{100}$$

avec g = 10 m/s²

Nota : les pentes maximales en tramway étant inférieures à 13 %, le sinus est assimilable à la tangente.

Dans le cas où V_{consigne} > V_{sécurité}, il s'agit d'une zone avec perte de visibilité à distance de freinage.

Exemple : vis-à-vis de la collision par rattrapage, à 40 km/h, il y a perte de visibilité à distance de freinage si la distance de visibilité est inférieure à 68 mètres.

En voie unique ou en présence de voies entrelacées, la perte de visibilité à distance de freinage se traduit par $d_{\text{visibilité}} < (d_{\text{sécuritéA}} + d_{\text{sécuritéB}})$.

Exemple : vis-à-vis de la collision par nez-à-nez (voie unique par exemple), à 40 km/h, il y a perte de visibilité à distance de freinage si la distance de visibilité est inférieure à 136 mètres.

3.2.3 - Vitesse critique

La vitesse critique (V_{critique}) du tramway est la vitesse maximale (par conception selon les spécifications du constructeur) qui lui permet de ne pas dérailler lors de son passage sur un appareil de voie pris par la pointe en voie déviée.

3.2.4 - Vitesse de consigne

La vitesse de consigne (V_{consigne}) est la vitesse maximale autorisée sur la zone², soit par consigne inscrite dans le RSE, soit par TIV sur zone. Sa valeur peut être modulée dans les cas suivants :

- Station avec arrêt à proximité de la zone ;
- Restriction de vitesse par TIV ou consigne à proximité de la zone.

Pour ces cas, la marche type du tramway peut être prise en compte en considérant une accélération ou une décélération du tramway égale à $1,2 \text{ m/s}^2$.

3.2.5 - Vitesse technique

La vitesse technique ($V_{\text{technique}}$) est la vitesse de conduite « naturelle » adoptée par un conducteur compte tenu des caractéristiques géométriques et de l'environnement de la zone considérée (milieu urbain, carrefour...). Ce pourra être par exemple la vitesse de confort en courbe liée à une accélération transversale d'environ 1 m/s^2 . Cette vitesse sera déterminée en arrondissant la vitesse calculée aux 5 km/h supérieurs.

3.2.6 - Notion de vitesse crédible

Une limitation de vitesse sur une zone est considérée comme crédible ($V_{\text{crédible}}$) (respectée par les conducteurs) si elle se rapproche de la vitesse technique de la zone.

Les mesures empiriques suivantes sont retenues quant à la relation entre vitesse technique et vitesse crédible à dire d'expert :

Vitesse technique	Diminution maximale pour qu'une vitesse imposée soit crédible
$V \geq 50 \text{ km/h}$	– 20 km/h
$30 \text{ km/h} \leq V < 50 \text{ km/h}$	– 15 km/h
$20 \text{ km/h} \leq V < 30 \text{ km/h}$	– 10 km/h
$V < 20 \text{ km/h}$	– 5 km/h

Tableau 2 : lien entre vitesse technique et vitesse crédible

La réduction systématique de vitesse pour réduire les risques sur les configurations identifiées ne doit pas avoir pour résultat d'imposer une vitesse non crédible.

² Au niveau de la zone de conflit ou de l'aiguille pour déterminer si une zone doit être signalée – cf Chapitre 4 - et au niveau des points de détection pour la détermination des configurations de perte de visibilité à distance de freinage et le calcul de la vitesse de choc.

3.2.7 - Vitesse de choc

La vitesse de choc permet de prendre en compte le rattrapage possible de l'erreur humaine : elle rend compte d'une action de freinage du conducteur à partir du moment où il est raisonnablement possible qu'il détecte une situation anormale sur la zone. Cette vitesse se calcule sans tenir compte de l'éventuelle présence d'une mesure d'alerte.

La vitesse de choc (V_{choc}) est définie comme la vitesse du tramway au point d'impact (garage franc ou position du tramway aval dans le cas du rattrapage), en considérant un début de décélération au **point de détection** (le point de détection varie suivant les accidents potentiels), et une décélération **a** en **FU** de **2,8 m/s²**. Dans le cas de la collision par nez-à-nez, la vitesse de choc à prendre en compte ($V_{\text{choc totale}}$) est la somme de la vitesse de choc de chaque tramway au niveau du point de collision.

Le temps de réaction t_r à prendre en compte intègre le temps de réaction « machine » de 0,85 s (cf. norme NF EN 13452-1), et le temps de réaction du conducteur :

- en cas de configuration avec perte de visibilité à distance de freinage, le temps de réaction du conducteur est pris égal à 1,5 s, ce qui donne un temps de réaction « global » de 2,35 s arrondi à $t_r = 2,5 \text{ s}$;
- dans les autres cas, la visibilité limitera « l'effet de surprise » pour le conducteur relatif à la présence d'une situation anormale, le temps de réaction global est égal à $t_r = 1,5 \text{ s}$.

La distance parcourue pendant le temps de réaction est notée $d_{\text{temps de réaction}}$.

La distance disponible ($d_{\text{disponible}}$) est la distance mesurée entre le point de détection théorique et le point potentiel d'impact (croisement bon ou bout avant/arrière du tramway en conflit). En fonction de la valeur de la distance disponible par rapport à la distance d'arrêt théorique ($d_{\text{arrêt}}$), trois cas sont à considérer :

Cas 1

Si $d_{\text{temps de réaction}} > d_{\text{disponible}}$ alors $V_{\text{choc}} = V_{\text{consigne}}$ (le conducteur n'a pas eu le temps de réagir)

Cas 2

Si $d_{\text{disponible}} > d_{\text{arrêt}}$ alors $V_{\text{choc}} = 0$ (il n'y a pas choc)

Cas 3

Sinon, $V_{\text{choc}} = \sqrt{2a(d_{\text{arrêt}} - d_{\text{disponible}})} = \sqrt{V_{\text{consigne}}^2 - 2a(d_{\text{disponible}} - d_{\text{temps de réaction}})}$

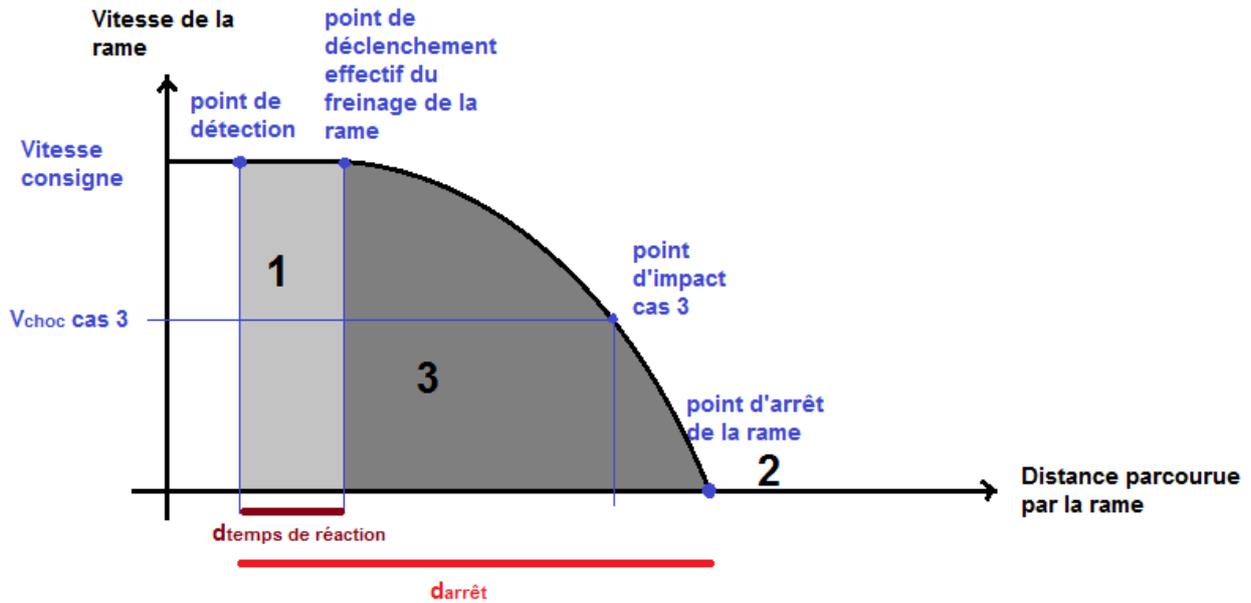


Figure 1 : illustration des différents cas pour le calcul de la vitesse de choc

Les caractéristiques de la voie (au moins la pente, dès lors qu'elle est supérieure à 3 %) sont à prendre en compte dans le calcul de V_{choc} . La présence de pente modifie la valeur de décélération théorique a (décélération a en **FU** de **2,8 m/s²**) en a_p , définie ci-dessous, pour le calcul de V_{choc} .

Pour une pente de X %, la décélération à prendre en compte est :

$$a_p = a - g \cdot \frac{X}{100}$$

avec $g = 10 \text{ m/s}^2$

Nota : les pentes maximales en tramway étant inférieures à 13 %, le sinus est assimilable à la tangente.

3.3 - Explication de certains paramètres influant sur la gravité ou l'occurrence de l'accident potentiel

Le critère de mixité des matériels roulants présents sur un même réseau n'a pas été retenu comme impactant la gravité de l'accident potentiel, la démonstration de compatibilité d'un nouveau matériel roulant avec le matériel roulant en service étant une condition à satisfaire pour l'autorisation de mise en service.

3.3.1 - Risques extérieurs dans l'environnement de la zone

Les risques extérieurs dans l'environnement de la zone de manœuvre, identifiés comme paramètres influant sur la gravité de l'événement, sont les suivants :

- la présence de tiers (piétons, cycles, véhicules routiers...) ;
- la présence d'un bâtiment ou d'un risque particulier (tunnel, ouvrage d'art, dénivellation, obstacles à proximité...) ;
- la présence d'obstacles fixes, tels que définis dans le guide STRMTG, (en particulier poteaux LAC), notamment entre les deux voies à l'aval d'un appareil de voie pris par la pointe.

Au regard de la difficile caractérisation de la « zone de danger » pour considérer la présence ou non d'un risque dans l'environnement de la zone, une analyse qualitative de la zone étudiée, avec au besoin un échange contradictoire entre les différents intervenants (MOA, MOE, OQA, STRMTG), devra être produite, afin de valider la prise en compte ou non de ce risque.

3.3.2 - Zone avec/sans voyageurs

L'absence de voyageurs dans le tramway impacte la gravité de l'accident potentiel considéré (notion d'accident collectif). Dès lors qu'une zone est parcourue à la fois par des tramways avec et sans voyageurs, le critère « zone avec voyageurs » sera retenu.

3.3.3 - Zone difficile d'accès

Une intervention longue et tardive des secours est susceptible d'avoir pour conséquence une aggravation des blessures des personnes impactées dans un accident. La facilité d'accès de la zone pour l'intervention des secours, de par sa typologie, a donc été pris en compte comme paramètre influant sur la gravité. Sont notamment identifiées comme zones difficiles d'accès lorsqu'elles sont d'une longueur supérieure à 100 m :

- les tunnels/tranchées couvertes ;
- les plateformes encaissées ;
- les viaducs/ponts.

Une analyse qualitative de la zone étudiée notamment au regard de la possibilité et facilité de circulation des véhicules de secours pour atteindre le lieu de l'accident, avec au besoin un échange contradictoire entre les différents intervenants (MOA, MOE, OQA, STRMTG), devra être produite, afin de valider la prise en compte ou non de ce risque.

Pour la conception des zones de manœuvre tramways, un tunnel ou une tranchée couverte de plus de 100 m de long sera systématiquement considéré(e) comme zone difficile d'accès.

3.3.4 - Fréquence élevée – occurrence d'arrêt élevée

La fréquence sera considérée comme élevée dès lors que l'intervalle théorique minimum de passage entre deux tramways, prévu au programme nominal d'exploitation, est inférieur à 2 minutes.

Dans les cas d'accidents potentiels de type croisement, cisaillement ou prise en écharpe, la fréquence à considérer est la plus faible entre les deux directions entrant en conflit (intervalle de temps le plus long).

Dans le cas d'accident potentiel de type rattrapage, en complément de l'évaluation de la fréquence des tramways, l'occurrence d'arrêt d'un tramway dans la zone doit être prise en compte (analyse de la configuration afin de déterminer si elle est de nature à conduire nominalement à l'arrêt d'un tramway dans la zone d'espacement – par exemple, carrefour en sortie de zone, présence d'appareil de voie dans la zone d'espacement...).

3.3.5 - Vitesse de circulation du tramway dans la zone

Le temps de réaction du conducteur (pour prendre l'information et agir) étant une donnée d'entrée « incompressible » (bien que variable d'un individu à un autre), l'augmentation de la vitesse influe sur la distance parcourue durant ce temps de réaction.

En corollaire, pour une contrainte de distance donnée (par exemple entre le point de prise d'information et un point impératif d'arrêt), le temps laissé au conducteur pour intervenir est « mécaniquement » d'autant plus court que la vitesse augmente.

Ainsi la vitesse du tramway dans la zone a non seulement un impact sur la gravité de l'accident potentiel, mais également sur l'occurrence, dans le sens où elle impacte la faculté de rattrapage du conducteur.

3.4 - Typologie de zones et accidents potentiels associés

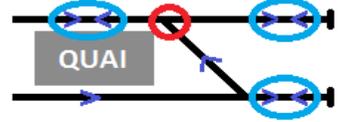
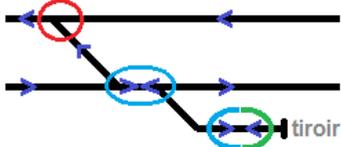
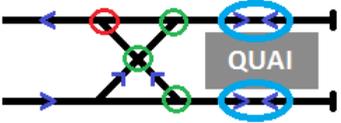
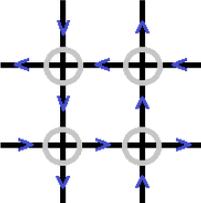
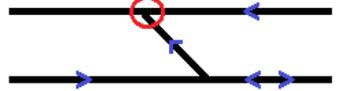
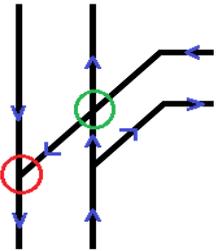
Pour les zones où un dispositif de signalisation dynamique est requis, les fiches traitant des accidents potentiels à prendre en compte sont à appliquer. Le recensement des accidents potentiels doit être effectué sur chaque zone étudiée, en particulier pour les zones complexes.

Les **accidents potentiels à prendre en compte** sont ceux résultants :

- des itinéraires prévus et parcourus en mode nominal sur la zone ;
- d'un itinéraire prévu et d'un itinéraire non prévu, dans le cas où celui-ci est techniquement possible et résulte d'une absence de commande d'itinéraire et d'un franchissement de signal restrictif par un conducteur.

Pour tous les accidents potentiels de type collision entre rames où le parcours d'un tramway emprunte une aiguille par la pointe en voie dévié, seuls les cas où la vitesse de consigne est inférieure à la vitesse critique sont à prendre en compte dans l'étude de la zone. En effet, lorsqu'un tramway emprunte une aiguille par la pointe en voie déviée, avec une vitesse supérieure à la vitesse critique, l'accident potentiel « déraillement par survitesse » surviendra avant l'événement de type collision. Ainsi, les accidents potentiels de type collision entre rames seront pris en compte seulement dans les cas où la vitesse de consigne est inférieure à la vitesse critique.

Le tableau ci-après est donné à titre indicatif. Il identifie pour chaque type de zone, les accidents potentiels généralement associés. Le traitement de certains cas particuliers est explicité au Chapitre 9.

Type / Schéma	Déraillement			Collisions frontales		Collisions latérales		
	Survitesse	Bi-voie	Talonnage	Rattrapage	Nez-à-nez	Croisement	Cisaillement	Prise en écharpe
Arrière-gare 	X*	X	X*		X			X
Tiroir 	X*	X	X*		X (cf. §9.3)		X (cf. §9.3)	X
Avant-gare 	X*	X	X*		X		X	X
Croisement 						X		
Communication/ Rebroussement 	X*	X	X*					X
Débranchement 	X	X	X*				X	X

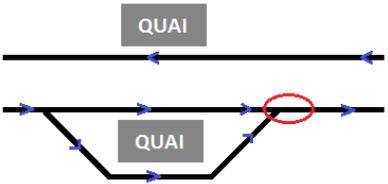
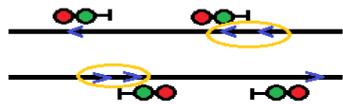
Type / Schéma	Déraillement			Collisions frontales		Collisions latérales		
	Survitesse	Bi-voie	Talonnage	Rattrapage	Nez-à-nez	Croisement	Cisaillement	Prise en écharpe
Évitement 	X	X	X*					X
Cantonnement 				X				
Voie Unique 	X	X	X*		X			

Tableau 3 : Lien entre typologie des zone et accident potentiel considéré

La couleur de l'accident potentiel entouré dans le schéma de chaque zone dans le tableau 3 ci-dessus est en lien avec la couleur des croix figurant dans ce même tableau.

Les cas suivis de * sont indiqués pour mémoire, l'application de la fiche correspondante conduira dans la plupart des cas à une absence d'exigences particulières du fait des vitesses pratiquées dans ces zones ou des caractéristiques de l'appareil de voie utilisé.

4 - Situations/configurations imposant la mise en place d'un dispositif de signalisation dynamique

Les éléments présentés ci-après précisent les situations/configurations imposant la mise en place d'un dispositif de signalisation dynamique. Ces dispositifs sont de trois types :

- Signalisation dynamique de gestion de l'espace → SGE
- Signalisation dynamique de gestion des circulations → SGC
- Signalisation dynamique de gestion des aiguilles → SGA

La nécessité de mettre en place un dispositif de signalisation dynamique pour atteindre les objectifs de sécurité recherchés a été étudiée au regard de l'analyse de chaque accident potentiel, de la possibilité de rattrapage par les conducteurs et du retour d'expérience associé.

Les vitesses de consigne à prendre en compte pour l'application du présent chapitre sont celles applicables au niveau de la zone de conflit (cf. chapitre 4.1) ou du franchissement des appareils de voie (cf. chapitre 4.2).

4.1 - Assurer la sécurité des circulations les unes vis-à-vis des autres

4.1.1 - Assurer l'espace entre les tramways

L'accident potentiel associé est la **collision par rattrapage**.

Situations/Configurations	Traitement	Commentaires
Configuration avec perte de visibilité à distance de freinage	SGE	Voir Chapitre 3.2.2
$V_{\text{consigne}} > 70 \text{ km/h}$	SGE	Cette valeur constitue une forme de limite « physique » du point de vue de la conduite, au sens où la distance d'arrêt en FNS (décélération de $1,2 \text{ m/s}^2$) à 70 km/h est de l'ordre de 200m , longueur qui est, à dire d'expert, l'éloignement au-delà duquel il devient difficile pour tout conducteur d'apprécier finement les distances et « l'espace-temps »
Autres cas	Conduite à vue	Voir Chapitre 5

Tableau 4 : Exigences de signalisation pour assurer l'espace entre tramways

4.1.2 - Gérer les incompatibilités de mouvement entre tramways

Cette exigence découle de quatre types d'accidents potentiels :

- la **collision par nez-à-nez** ;
- la **collision par prise en écharpe** ;
- la **collision par croisement** ;
- la **collision par cisaillement**.

Accident potentiel	Situations/Configurations	Traitement	Commentaires
Collision par nez-à-nez (associée à des configurations nominales d'exploitation ³)	Configuration avec perte de visibilité à distance de freinage	SGC	Voir Chapitre 3.2.2
	$V_{\text{consigne}} > 30 \text{ km/h}$ (sans perte de visibilité à distance de freinage)	SGC	Prise en compte notamment des cas de configurations en tiroirs, pour lesquelles le REX n'a pas fait ressortir de problématiques particulières
	$20 \text{ km/h} < V_{\text{consigne}} \leq 30 \text{ km/h}$ et $L^4 > 200 \text{ m}$ (sans perte de visibilité à distance de freinage)	SGC	La longueur de 200 m est, à dire d'expert, l'éloignement au-delà duquel il devient difficile pour tout conducteur d'apprécier finement les distances et « l'espace-temps »
	Autre cas ($V_{\text{consigne}} \leq 20 \text{ km/h}$; $20 \text{ km/h} < V_{\text{consigne}} \leq 30 \text{ km/h}$ et $L^4 \leq 200 \text{ m}$)	Conduite à vue	Voir Chapitre 5
Collision par prise en écharpe & Collision par croisement	$V_{\text{consigne}} > 20 \text{ km/h}$ (sans perte de visibilité à distance de freinage)	SGC	Le point de détection d'une situation anormale se situant proche de la zone de conflit, les vitesses adoptées sans signalisation doivent permettre des distances d'arrêt courtes
	Configuration avec perte de visibilité à distance de freinage	SGC	Voir Chapitre 3.2.2
	Autre cas	Conduite à vue	Voir Chapitre 5
Collision par cisaillement	$V_{\text{consigne}} > 10 \text{ km/h}$	SGC	Le point de détection d'une situation anormale se situant au niveau de la zone de conflit, les vitesses adoptées sans signalisation doivent permettre des distances d'arrêt très courtes
	Autre cas	Conduite à vue	Voir Chapitre 5

Tableau 5 : Exigences de signalisation pour gérer les incompatibilités de mouvement entre rames

4.2 - Assurer le franchissement des aiguilles en sécurité

Afin de répondre à l'exigence de niveau système « assurer le franchissement des aiguilles en sécurité », un traitement par signalisation peut être nécessaire en ce qui concerne le besoin spécifique de « **ne s'engager que si les aiguilles sont positionnées correctement** ».

3 Sont exclus les cas d'exploitation avec $V_{\text{consigne}} > 70 \text{ km/h}$

4 L est la longueur de voie pouvant être parcourue dans les deux sens de circulation, entre les aiguillages encadrant l'ensemble de la section à double sens pour les voies uniques, entre les points de croisement bon pour les voies entrelacées ou entre l'aiguillage et la position de remisage (cas du terminus).

Cette exigence découle de trois types d'accidents potentiels :

- le **déraillement par survitesse** ;
- le **déraillement par bi-voie** ;
- le **déraillement par talonnage**.

Dans les cas de déraillement par survitesse et déraillement par bi-voie, le rattrapage du conducteur n'est pas envisageable, eu égard à la cinétique de l'évènement. Dans le cas du déraillement par talonnage, le rattrapage du conducteur est envisageable dans les situations où l'on peut raisonnablement considérer que le conducteur peut détecter l'incohérence de position de l'aiguille par un contrôle visuel.

Situations/Configurations	Traitement	Commentaires
Aiguille motorisée <u>prise en pointe</u>	SGA	Le passage sur un AdV pris en pointe non correctement positionné (pour les deux positions possibles) conduit au déraillement du tramway, même à faible vitesse
Aiguille non motorisée <u>prise en pointe</u> avec $V_{\text{consigne}} > 15 \text{ km/h}$	SGA	Prise en compte notamment des cas de configurations en arrière-gare, pour lesquelles le REX n'a pas fait ressortir de problématiques particulières
Aiguille non talonnable <u>prise par le talon</u>	SGA	Cas des AdV dont le talonnage, même à très faible vitesse, conduit au déraillement du tramway (exemple : aiguillages verrouillés, systèmes de tramways sur pneus)
Autres cas	Conduite à vue	Voir Chapitre 5

Tableau 6 : Exigences de signalisation pour assurer le franchissement des aiguilles en sécurité

5 - Exigences générales de conception, exploitation et maintenance pour les zones où un dispositif de signalisation dynamique n'est pas requis

Dans le cas où un **dispositif de signalisation dynamique** est mis en œuvre alors qu'il n'est pas requis par le présent guide, l'ensemble des exigences applicables aux zones où celui-ci est requis est applicable (cf. Chapitre 6).

5.1 - Exigences générales de conception

A) Pour la conception d'une zone de manœuvre, les exigences suivantes sont applicables :

1. prévoir un processus de définition/vérification/évaluation de la « **crédibilité** » des **consignes d'exploitation** spécifiées dans chaque zone ;
2. mettre en place des repères sur site matérialisant la zone de conflit (zone à déterminer en lien avec le point de décision, avec au minimum la matérialisation du croisement bon), indispensable à l'application des règles de conduite (régime de priorité, vitesse) ;

B) Pour les zones de manœuvre avec des aiguilles, les exigences A) ci-dessus s'appliquent, ainsi que les exigences suivantes :

1. mettre en œuvre des appareils de voie avec **deux positions stables de l'aiguille** (ex : aiguille dite « à effort de plaquage ») ;

2. prévoir un processus de définition/vérification/évaluation des **vitesse de consigne** appliquées en exploitation par rapport à celles spécifiées par le concepteur – constructeur des **appareils de voie** ;
3. veiller autant que possible à l'**homogénéité des vitesses de consigne** (en particulier en voie déviée) sur un même réseau (éventuellement par ligne ou par zones homogènes selon l'organisation des services de transport).

5.2 - Exigences générales d'exploitation et maintenance

A) Pour le maintien du niveau de sécurité du système en exploitation, les exigences suivantes sont applicables :

1. prévoir un processus de **vérification du maintien dans le temps des vitesses de consigne** spécifiées à la mise en service (et de vérification/évaluation en cas de modification de celles-ci) ;
2. prévoir un processus de **vérification du maintien dans le temps des conditions de visibilité** dans chaque zone ;
3. prévoir un processus de **vérification du maintien dans le temps des conditions de visibilité de la signalisation** dans chaque zone (ou de vérification/évaluation en cas de modification de son implantation) ;
4. définition d'un régime de priorité ;
5. définition d'une vitesse de consigne **unique** dans la zone de conflit.

Ces deux dernières exigences sont à formaliser dans les règlements de sécurité de l'exploitation (RSE) et leurs documents d'application.

Nota : par vitesse de consigne unique on entend consigne identique avec ou sans présence d'un autre tramway dans la zone de conflit (la mise en place de vitesses de consigne « conditionnelles » – en fonction de la présence ou non d'un autre tramway dans la zone – a été jugée difficilement applicable en pratique considérant l'aspect facteur humain).

B) Pour les zones de manœuvre avec des aiguilles, les exigences A) ci-dessus s'appliquent, ainsi que l'exigence suivante :

- veiller au **respect du plan de maintenance des appareils de voie** tel que défini par le constructeur, **en tenant compte de l'évolution de l'utilisation de chaque appareil**.

6 - Exigences générales de conception, exploitation et maintenance pour les zones où un dispositif de signalisation dynamique est requis

6.1 - Exigences générales de conception

A) Pour la conception d'une zone de manœuvre, les exigences suivantes sont applicables :

1. prévoir un processus de définition/vérification/évaluation de la « **crédibilité** » des **consignes d'exploitation** spécifiées dans chaque zone ;
2. prévoir un processus de définition/vérification/évaluation de l'**implantation de la signalisation dynamique** dans chaque zone. L'implantation du système d'affichage du dispositif de signalisation dynamique est déterminée de telle sorte qu'**un conducteur soit en capacité de s'arrêter en amont d'un signal fermé en FNS** (décélération du véhicule de $1,2 \text{ m/s}^2$) **avec un temps de**

réaction t_r (homme + machine) **de 1,5 s** (cf. Chapitre 3.2 pour la formule de calcul de la distance d'arrêt) ;

3. veiller autant que possible à la **cohérence de la signalisation dynamique** mise en place dans les zones de manœuvre à l'échelle d'un réseau (éventuellement par ligne ou par zones homogènes selon l'organisation des services de transport), vis-à-vis de leur perception par les conducteurs) ;
4. veiller autant que possible à l'**homogénéité des commandes** d'itinéraire (ex : intervention systématique du conducteur pour la voie déviée) sur un même réseau (éventuellement par ligne ou par zones homogènes selon l'organisation des services de transport) ;
5. prendre en compte le **scénario de franchissement de signal restrictif par un conducteur** dans l'analyse des accidents potentiels ;
6. prévoir une **remontée d'alarme au PCC en cas de franchissement de signal restrictif par un conducteur** (cette remontée d'information permet de connaître l'occurrence des franchissements à tort d'un signal restrictif afin de détecter et corriger les comportements à risque des conducteurs ou les configurations de site favorisant ces franchissements). La détection du franchissement de signal restrictif (hors détection associée à une mesure de rattrapage de type D1 ou D2 traitée au 8.6) doit avoir un niveau de disponibilité équivalent à celui de la zone de manœuvre, et la remontée d'alarme au PCC la même disponibilité que les autres informations remontées au PCC ;
7. veiller à l'**ergonomie et à la lisibilité des boîtiers de commande** de secours installés sur site afin d'éviter toute confusion ;
8. analyser et évaluer le risque de ré-armement intempestif à tort des zones (ou d'une partie de la zone : itinéraire, zone de transit).

B) Pour les zones de manœuvre avec des aiguilles, les exigences A) ci-dessus s'appliquent, ainsi que les exigences suivantes :

1. mettre en œuvre des appareils de voie avec **deux positions stables de l'aiguille** (ex : aiguille dite « à effort de plaquage ») ;
2. prévoir un processus de définition/vérification/évaluation des **vitesse de consigne** appliquées en exploitation par rapport à celles spécifiées par le concepteur – constructeur des **appareils de voie** ;
3. veiller autant que possible à l'**homogénéité des vitesses de consigne** (en particulier en voie déviée) sur un même réseau (éventuellement par ligne ou par zones homogènes selon l'organisation des services de transport) ;
4. en l'**absence de tramway sur zone ou en approche**, la **signalisation dynamique de gestion des circulations** d'une zone de manœuvre doit présenter un **signal restrictif** (notion de « rouge par défaut ») : l'objectif est que le conducteur tramway puisse observer le changement d'état du signal ;
5. veiller à ce que la signalisation dynamique de gestion des aiguilles soit **positionnée au plus près de l'aiguille** signalée. En présence de signalisation dynamique de gestion des circulations ou de l'espacement, la signalisation dynamique de gestion des aiguilles doit être **positionnée au plus près de l'aiguille** signalée lorsque les deux signaux sont espacés de plus de 200 m. Lorsque plusieurs aiguilles sont prises par la pointe pour un même itinéraire, la pertinence d'une signalisation dynamique de gestion des aiguilles pour chaque aiguille devra être analysée au regard des accidents potentiels associés ainsi que du contexte (complexité/utilisation de l'itinéraire, vitesse...) ;

6. veiller à l'**ergonomie et à la lisibilité des signaux**, dans l'objectif de limiter les confusions possibles : voie déviée/directe, INDIR/SAP, INDIR/R17... (ex : couleurs différentes, signal clignotant...);
7. veiller à ce que la **fonction de localisation des tramways soit maintenue en cas de franchissement de signal restrictif**, y compris lorsque l'aiguillage parcouru est dans une position conduisant à parcourir un itinéraire non prévu en conception et quel que soit l'état de la commande d'un itinéraire/parcours. Les scénarios à couvrir sont :
 - la délivrance ou le maintien d'une autorisation de parcours « à tort » pour un tramway en conflit avec le tramway ayant franchi son signal restrictif, qu'un itinéraire ait été commandé ou non ;
 - le mouvement d'un appareil de voie sous le tramway ayant franchi son signal restrictif, qu'un itinéraire ait été commandé ou non.
8. veiller à ce qu'en cas d'utilisation d'un circuit de voie assurant une détection non continue des rames, celui-ci soit positionné au plus près de la pointe de l'aiguille ;
9. sur un parcours avec une ou plusieurs aiguille(s) prise(s) en pointe (motorisée(s) ou non), le **contrôle de(s) l'aiguille(s) parcourue(s) doit entrer dans les conditions d'activation de la signalisation dynamique de gestion des circulations**, sauf lorsque l'aiguille et la signalisation sont distants de plus de 200 m ;
10. sur un parcours avec une aiguille motorisée prise par le talon, privilégier la mise en place d'**appareils de voie talonnables « accidentellement »**⁵, sauf si cela se justifie sur le plan de la sécurité (ex : stabilité mécanique des appareils compte tenu des vitesses pratiquées) ;
11. sur un parcours où la première aiguille franchie est une aiguille motorisée prise par le talon, la commande des itinéraires doit être automatique ou passive (absence de commande de la part du conducteur) (accident potentiel déraillement par talonnage).

C) Pour les zones de manœuvre avec des aiguilles où la SLT (R17 ou R18) est utilisée comme dispositif de signalisation dynamique de gestion des circulations tramways, les exigences A) et B) ci-dessus s'appliquent, excepté le B) 6., ainsi que les exigences suivantes :

1. chaque tramway doit être servi à la commande d'itinéraire (pas de vert gratuit) ;
2. en présence de l'accident potentiel « collision par cisaillement », l'itinéraire ne présentant aucun risque de collision avec un autre tramway doit faire l'objet d'une télécommande passive (absence de commande de la part du conducteur).

D) Pour les zones de manœuvre situées à proximité de carrefours routiers, les exigences A) et B) ci-dessus s'appliquent, ainsi que les exigences suivantes :

Afin de limiter les risques d'entraînement par la SLT (R17/R18 au vertical avec une signalisation dynamique de gestion des circulations/aiguilles restrictive à l'arrivée du tramway sur la zone) :

1. les signaux doivent être espacés d'une distance supérieure à celle parcourue en 3 secondes à la vitesse de consigne ;
2. la signalisation dynamique de gestion des circulations/aiguilles doit être positionnée en amont de la SLT.

Toutefois, si cet espacement des signaux n'est pas possible, la SLT sera asservie au dispositif de signalisation dynamique de gestion des circulations/aiguilles (R17/R18 au restrictif – barre horizontale - quand la signalisation dynamique de gestion des circulations/aiguilles est restrictive à l'arrivée du tramway sur la zone). En complément, si la signalisation dynamique de gestion des circulations/aiguilles est en dysfonctionnement ou éteinte, ou si l'interface SigF/SLT est en défaut, cette information doit être répercutée au conducteur tramway au niveau de la SLT (absence de prise en compte, passage au jaune clignotant général, signal éteint ou fonctionnement cyclique...).

⁵ Seuls les appareils de voie dont le talonnage, même à très faible vitesse, conduit au déraillement du tramway (exemple : aiguillages verrouillés, systèmes de tramways sur pneus), sont ici considérés comme non talonnable.

6.2 - Exigences générales d'exploitation et maintenance

A) Pour le maintien du niveau de sécurité du système en exploitation, les exigences suivantes sont applicables :

1. prévoir un processus de **vérification du maintien dans le temps des vitesses de consigne** spécifiées à la mise en service (et de vérification/évaluation en cas de modification de celles-ci) ;
2. prévoir un processus de **vérification du maintien dans le temps de conditions de visibilité** dans chaque zone ;
3. prévoir un processus de **vérification du maintien dans le temps de conditions de visibilité de la signalisation** dans chaque zone (ou de vérification/évaluation en cas de modification de son implantation) ;
4. veiller au **respect des plans de maintenance** de la signalisation dynamique ;
5. prévoir un **processus de vérification à pied d'œuvre** du bon fonctionnement de l'installation **suite à une intervention** sur les dispositifs de signalisation dynamique ;
6. prévoir un **processus de contrôle du respect des vitesses de consigne** par les conducteurs (management de la sécurité) ;
7. définir les **consignes d'exploitation** dans la zone lorsque la **signalisation dynamique ne fonctionne pas** ;
8. prévoir une **procédure pour le réarmement de la zone** (ou d'une partie de la zone : itinéraire, zone de transit) **à distance**.

B) Pour les zones de manœuvre avec des aiguilles, les exigences A) ci-dessus s'appliquent, ainsi que l'exigence suivante :

- veiller au **respect du plan de maintenance des appareils de voie** tel que défini par le constructeur, **en tenant compte de l'évolution de l'utilisation de chaque appareil**.

C) Pour les zones d'espacement, les exigences A) ci-dessus s'appliquent, ainsi que l'exigence suivante :

- prévoir un **processus de définition/vérification/évaluation de la « crédibilité » des consignes d'exploitation** en cas de tramway arrêté en pleine voie (tramway en panne).

7 - Spécifications de besoins sur le plan de la sécurité pour les zones équipées d'un dispositif de signalisation dynamique

Une fonction de sécurité est définie comme suit : « **fonction dont au moins un mode de défaillance engendre un risque pour la sécurité des personnes transportées et/ou des tiers** ».

Par voie de conséquence, les fonctions de type mesures de « *prévention* » d'une éventuelle erreur du conducteur (alerte, principe de télécommande) ne sont pas considérées comme des fonctions de sécurité.

Les fonctions de type mesures de « *rattrapage* » d'une éventuelle erreur du conducteur sont des **fonctions critiques** au sens où leur défaillance contribue, en combinaison avec l'erreur humaine, à la réalisation d'un accident potentiellement catastrophique. Par conséquent, les niveaux de sécurité définis par la matrice de criticité de référence (Cf chapitre 7.2) ne s'appliquent pas à ces fonctions dont les exigences en termes de sécurité sont définies au chapitre 8.6 « *Méthodologie d'analyse des modes de défaillance* » du guide.

7.1 - Fonctions de sécurité et modes de défaillance

Des termes génériques ont volontairement été adoptés afin de ne pas figer ou orienter vers des solutions techniques. À chaque fonction de sécurité est adossée un ou plusieurs modes de défaillance dangereux afin de mettre en évidence les attendus de chaque fonction et de permettre à chaque concepteur de faire le lien entre les fonctions « types » adoptées dans le présent guide et les appellations adoptées dans sa propre documentation.

Ainsi, sept fonctions de sécurité ont été retenues :

Libellé	Mode de défaillance dangereux	Dispositif de signalisation dynamique		
		SGE	SGC	SGA
FS 1 – Gérer le mouvement des aiguilles	Mouvement intempestif de l'aiguille			X
FS 2 - Contrôler la position des aiguilles	Information erronée de la position de l'aiguille			X
FS 3 – Gérer l’affichage de la position des aiguilles	Affichage erroné de la position de l'aiguille			X
FS 4 – Gérer les incompatibilités de mouvements entre tramways	Défaut de traitement des incompatibilités de mouvements entre tramways		X	
FS 5 – Gérer l’espacement entre les tramways	Défaut de traitement de l’espacement entre tramways	X		
FS 6 – Gérer l’affichage des autorisations de mouvement des tramways	Affichage à tort de l’autorisation de mouvement des tramways	X	X	
FS 7 – Localiser les tramways	Localisation erronée des tramways Absence de localisation des tramways	X	X*	X

Tableau 7 : Lien entre fonction de sécurité et dispositif de signalisation dynamique

* Dans le cas d'un dispositif de signalisation dynamique de gestion des circulations, FS7 peut ne pas être de sécurité suivant les conclusions de l'analyse de sécurité décrite dans les fiches des accidents potentiels. Dans ce cas, le niveau de fiabilité de FS7 doit être équivalent à la classe d'occurrence maximale acceptable d'apparition d'un danger (= THR selon NF EN 50129) découlant de l'application des fiches, pour le mode de défaillance dangereux déterminé.

Exemple : de par les faibles vitesses de consigne applicables sur certaines zones avec des aiguilles, la détection de sortie de zone peut ne pas être traitée en sécurité. Dans ce cas, le niveau de fiabilité de cette détection, pour le mode de défaillance dangereux de détection à tort d'un tramway, doit être équivalent au niveau de SIL déterminé par l'application des fiches des accidents potentiels pour la fonction FS7.

Nota : la commande d'un parcours ou d'un itinéraire ne constitue pas une fonction de sécurité, il n'est donc pas exigé de niveau de sécurité sur le dispositif de commande.

L'étude de l'arbre des causes lié à chaque accident potentiel a permis de définir, pour chaque type de dispositif de signalisation dynamique, une fonction de sécurité principale et des sous-fonctions de sécurité associées, intervenant dans la fonction principale. Ces fonctions se répartissent comme suit :

Fonction principale	Sous-fonction(s) associée(s)
FS1	FS7
FS3	FS2
FS6	FS5 et FS7 FS4 et FS7

Tableau 8 : Lien entre fonction principale et sous-fonction associée

Les niveaux de sécurité, définis grâce à la matrice de criticité (cf Chapitre 7.2) et aux gravités issues des fiches des accidents potentiels (cf Chapitre 9), doivent être atteints pour les fonctions de sécurité principales. La contribution des sous-fonctions associées à la réalisation des fonctions principales est à indiquer dans l'analyse de sécurité, avec en particulier le niveau de sécurité qui leur est alloué.

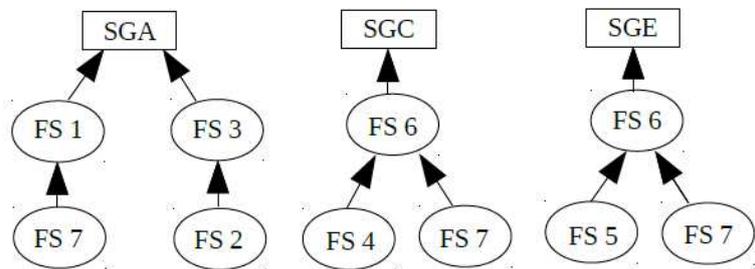


Figure 2 : Lien entre sous-fonction, fonction principale et dispositif de signalisation dynamique

7.2 - Matrice de criticité de référence

La matrice de criticité ci-dessous est la matrice de référence à appliquer afin de répondre aux exigences d'intégrité de la sécurité issues de chaque fiche d'analyse des accidents potentiels (à partir des gravités précisées).

Les niveaux de sécurité exigés s'appliquent aux fonctions de sécurité définies au 7.1 du présent guide, et non directement aux équipements mis en œuvre pour assurer les fonctions.

Classes de gravité ⁶		
G1 : Mineur	Éventuellement une personne légèrement blessée	<i>Notion d'accident individuel léger</i>
G2 : Marginal	Blessures légères	<i>Notion d'accident collectif léger</i>
G3 : Critique	Un mort et/ou une personne grièvement blessée	<i>Notion d'accident individuel grave</i>
G4 : Catastrophique	Des morts et/ou plusieurs personnes gravement blessés	<i>Notion d'accident collectif grave</i>

Figure 3 : classes de gravité

⁶ En référence à la NF EN 50126-2000 : Applications ferroviaires - Spécification et démonstration de la fiabilité, de la disponibilité, de la maintenabilité et de la sécurité (FDMS) Partie 1 : Exigences de base et procédés génériques

Classes d'occurrence ⁷	
Fréquent	<i>La situation dangereuse est continuellement présente</i>
Probable	<i>On peut s'attendre à ce que la situation dangereuse survienne souvent</i>
Occasionnel	<i>On peut s'attendre à ce que la situation dangereuse survienne à plusieurs reprises</i>
Rare	<i>On peut raisonnablement s'attendre à ce que la situation dangereuse se produise</i>
Improbable	<i>On peut supposer que la situation dangereuse peut exceptionnellement se produire</i>
Invraisemblable	<i>On peut supposer que la situation ne se produira pas</i>

Figure 4 : classes d'occurrence

La matrice de criticité a été construite en se limitant à des zones d'acceptabilité du risque définies de façon binaire « acceptable – non acceptable », et en tenant compte du facteur de robustesse, en termes de ratio, entre le niveau de sécurité des fonctions de sécurité des zones de manœuvre et le niveau de « fiabilité » de l'homme.

Occurrence maximale acceptable d'apparition d'un danger (= THR selon NF EN 50129 ⁸)/Gravité	G1	G2	G3	G4
$10^{-6}/h \leq \text{THR} < 10^{-5}/h$ (SIL 1)				
$10^{-7}/h \leq \text{THR} < 10^{-6}/h$ (SIL 2)				
$10^{-8}/h \leq \text{THR} < 10^{-7}/h$ (SIL 3)				
$10^{-9}/h \leq \text{THR} < 10^{-8}/h$ (SIL 4)				

Figure 5 : matrice occurrence/gravité

Dans la matrice ci-dessus, les cases vertes indiquent les cas acceptables et les cases rouges les configurations inacceptables. La case jaune indique que pour le niveau de gravité G4 (catastrophique), le niveau de sécurité à allouer peut être SIL3. Le niveau SIL4 est requis lorsque la gravité est G4 et en présence d'au moins un des facteurs suivants :

- accès des secours difficile (suivant les paramètres définis au chapitre 3.3.3) ;
- vitesse de choc élevée (définition de la vitesse de choc au chapitre 3.2.7) :
 - pour les accidents potentiels de type « collisions frontales » : $V_{\text{choc}} \geq 40$ km/h dans le cas du rattrapage et $V_{\text{choc totale}} \geq 40$ km/h dans le cas du nez à nez ;
 - pour les accidents potentiels de type « collisions latérales » (par croisement, prise en écharpe et cisaillement) : $V_{\text{choc}} \geq 30$ km/h
- fréquence élevée (définition au chapitre 3.3.4).

Dans les zones sans voyageurs, ainsi que pour les accidents potentiels de type déraillement (bi-voie, survitesse et talonnage), le niveau SIL4 n'est pas exigé.

Pour l'application du présent guide, les contrôleurs de carrefours à feux conformes aux normes en vigueur sont présumés équivalents SIL2 en termes de niveau de sécurité.

⁷ En référence à la NF EN 50126-2000 : Applications ferroviaires - Spécification et démonstration de la fiabilité, de la disponibilité, de la maintenabilité et de la sécurité (FDMS) Partie 1 : Exigences de base et procédés génériques

⁸ En référence à la NF EN 50129-2003 : Applications ferroviaires – Systèmes de signalisation, de télécommunications et de traitement – Systèmes électroniques de sécurité pour la signalisation

8 - Mesures techniques et fonctionnelles de prévention/rattrapage pour les zones équipées d'un dispositif de signalisation dynamique

La prise en compte du facteur humain (cf. Chapitre 2) implique la mise en œuvre de mesures techniques et fonctionnelles en complément de la définition des niveaux de sécurité des fonctions de sécurité pour les zones de manœuvre, tenant compte de la possibilité d'une erreur humaine, mais également de sa faculté de rattrapage.

Afin d'assurer leur crédibilité et leur usage par les conducteurs, ces mesures doivent être fiables et disponibles, par rapport à leur mode de défaillance dangereux (risques induits par leur dysfonctionnement et la détectabilité de ce dernier par le conducteur) et conformes aux règles de l'art les concernant.

La remontée d'alarme au PCC ne peut constituer à elle seule une mesure de rattrapage, l'action du régulateur n'étant pas cohérente avec la cinétique des accidents potentiels considérés.

Les seuils de vitesse de consigne pris en compte pour la mise en place d'une typologie de mesure de rattrapage sont variables suivant l'accident potentiel considéré : ils sont fonction de la gravité de l'événement à une vitesse donnée. Au-delà d'un certain seuil de vitesse (dépendant toujours de l'accident potentiel considéré), les hypothèses prises pour les temps de détection et de réaction du conducteur pourraient conduire à des accidents dont la gravité aurait été sous-estimée. Par conséquent, un niveau de gravité G3 est défini au-delà de ces seuils (principe de précaution).

8.1 - Typologie des mesures de prévention/rattrapage

Typologie de mesure	Objectifs	Commentaires
Limitation de la vitesse de consigne telle que : $V_{\text{consigne}} < V_{\text{sécurité}}$ (collision) ou $V_{\text{consigne}} < V_{\text{critique}}$ (déraillement par survitesse)	Supprimer le risque (collision ou déraillement par survitesse unique-ment)	Mesure « auto-suffisante » <u>sous réserve de crédibilité.</u>
	La notion de « crédibilité » doit être appréhendée du point de vue des risques d'erreur des conducteurs, notamment en regard des pratiques en place sur le réseau (cf. Chapitre 3.2.6). Le cas échéant, il conviendra de prévoir des mesures d'accompagnement (formation, TIV,...).	
Type [A] = A1, A2	Prévenir la configuration potentielle-ment dangereuse	La mesure mise en place limite l'occur-rence de l'accident potentiel, le conducteur reste le seul à pouvoir éviter la collision ou le déraillement.
Type [B] = B0, B1, B2	Rappeler-Doubler l'information (re-dondance) au conducteur	La mesure mise en place redonne l'infor-mation initiale, le seul rattrapage possible est effectué par le(s) conducteur(s).
Type [C] = C0, C1, C2	Alerter le conducteur en cas de si-tuation dangereuse.	La mesure mise en place apporte une in-formation supplémentaire par rapport à l'in-formation initiale, le seul rattrapage pos-sible est effectué par le(s) conducteur(s).
Type [D] = D1, D2	Prendre en charge la tramway pour éviter la collision ou le déraillement.	Le cas échéant, le conducteur est suppléé par des dispositifs de sécurité pour éviter la collision avec une autre tramway ou le dé-raillement du tramway.

Tableau 9 : objectifs des mesures de prévention/rattrapage

Précisions sur le fonctionnement

Typologie	Le besoin/l'objectif = « Pourquoi ? »	Conditions d'activation du 1 ^{er} dispositif rencontré = « Quand ? »	Mode d'allumage et implantation du 1 ^{er} signal rencontré = « Comment ? »
A1	Limiter l'erreur humaine au niveau de la télécommande/ Positionner l'aiguille pour limiter l'occurrence de l'accident potentiel	Activation permanente (en cas de commande voie déviée)	Sans objet
A2		Activation permanente (aiguille dans la position ne pouvant conduire à l'accident potentiel en l'absence de commande, en voie directe vis-à-vis du déraillement par survitesse)	Sans objet
B0	Doubler l'information aux conducteurs concernant la commande passée	Activation permanente	Allumage fixe Implantation : en amont du signal de gestion des aiguilles
B1	Doubler l'information aux conducteurs concernant l'état d'occupation de la zone ou la position de l'aiguille	Activation permanente Un signal éteint est obligatoirement un mode dégradé Information identique à assurer entre les signaux	Allumage fixe Implantation 2 ^{ème} signal (en aval) : au plus près de la zone de conflit (rattrapage) / du croisement bon (collisions latérales) / de l'aiguille d'entrée VU (nez-à-nez) / de la pointe d'aiguille (déraillement par survitesse) Implantation 1 ^{er} signal (distance par rapport au 2 ^{ème} signal) - au minimum la plus grande distance entre : - distance parcourue en 3 s à $V_{consigne}$ au droit du 1 ^{er} signal - distance nécessaire pour abaisser la vitesse du tramway de $V_{consigne}$ au niveau du 1 ^{er} signal à la vitesse requise ⁹ au droit du 2 ^{ème} signal (avec $a = 1,2 \text{ m/s}^2$ et $t_r = 1,5 \text{ s}$). Pas de distance maximum entre les deux signaux
C0	Alerter les conducteurs en cas de commande de l'aiguille dans la position pouvant conduire à l'accident potentiel	Activation conditionnelle (exclusivement en cas de commande de l'aiguille dans la position pouvant conduire à l'accident potentiel, voie déviée vis-à-vis du déraillement par survitesse)	Allumage fixe Implantation : en amont du signal de gestion des aiguilles

⁹ Cette vitesse sera prise égale à 0 km/h pour tous les accidents potentiels sauf pour l'accident potentiel déraillement par survitesse où elle sera prise égale à $V_{critique}$

Typologie	Le besoin/l'objectif = « Pourquoi ? »	Conditions d'activation du 1 ^{er} dispositif rencontré = « Quand ? »	Mode d'allumage et implantation du 1 ^{er} signal rencontré = « Comment ? »
C1		Activation conditionnelle (exclusivement en cas de signal d'entrée de zone restrictif ou position de l'aiguille pouvant conduire à l'accident potentiel, voie déviée vis-à-vis du déraillement par survitesse)	Allumage dynamique visuel Implantation : au minimum distance nécessaire pour abaisser la vitesse du tramway de V_{consigne} au niveau du signal d'alerte à la vitesse requise au niveau de l'aiguille/croisement bon (avec $a = 1,2 \text{ m/s}^2$ et $t_r = 1,5 \text{ s}$). Déraillement par bi-voie ou talonnage : un signal d'alerte doit être positionné en amont de la première aiguille associée à chaque parcours autorisé si plusieurs aiguilles parcourues.
C2	Alerter les conducteurs en cas de signal d'entrée de zone restrictif ou de signal indiquant une positionnement de l'aiguille pouvant conduire à l'accident potentiel	Activation conditionnelle (exclusivement en cas de franchissement du signal d'entrée de zone restrictif) Activation au plus tôt après franchissement du signal d'entrée de zone restrictif	Allumage dynamique visuel + sonore Implantation signaux d'alerte dans le champ de vision directe du conducteur, sur une distance au moins égale à la distance d'arrêt du tramway à partir du 1 ^{er} signal d'alerte, permettant l'arrêt du tramway en amont de la zone de conflit/croisement bon (V_{consigne} prise au niveau du signal d'entrée de zone restrictif avec $a = 1,2 \text{ m/s}^2$ et $t_r = 1,5 \text{ s}$). Sur cette distance les signaux d'alerte doivent être répétés toutes les 3s à V_{consigne} jusqu'à l'arrêt du tramway. Implantation des sirènes pour une perception optimale par le conducteur.
D1, D2	Réguler / Arrêter automatiquement le tramway en cas de franchissement d'un signal d'entrée de zone restrictif ou de signal indiquant une position de l'aiguille pouvant conduire à l'accident potentiel	Activation conditionnelle (exclusivement en cas de franchissement du signal d'entrée de zone restrictif ou position de l'aiguille pouvant conduire à l'accident potentiel)	Implantation dispositif d'arrêt / régulation : régulation / arrêt du tramway en amont de la zone de conflit (croisement bon) ou de l'aiguille, au plus tôt après le franchissement du signal restrictif et en tenant compte des imprécisions des points d'arrêt effectifs.

Tableau 10 : fonctionnement et exigences pour la mise en œuvre des mesures de prévention/rattrapage

8.2 - Mesures relatives au déraillement par survitesse, bi-voie et par talonnage

Un dispositif de type « radar pédagogique » peut être mis en œuvre sur ces zones, mais compte-tenu de l'absence de niveau de fiabilité pouvant être démontré pour ce dispositif, il ne peut constituer une mesure de prévention/rattrapage.

Exemples de mesures pouvant être mises en œuvre :

A1	- tracé permanent voie directe ; - commande automatique en voie directe / commande manuelle en voie déviée ; - « double » commande en voie déviée / « simple » commande en voie directe ; - commande PCC pour la voie déviée (cas de l'accès à un dépôt en voie déviée) ; - commande à pied d'œuvre (boîtier secours) pour la voie déviée ;
A2	- retour automatique de l'appareil de voie en voie directe ;
B0	- « œilleton » de confirmation de l'itinéraire commandé ; - rappel « sonore » en cabine ;
B1	- rappel du signal de gestion des aiguilles ;
C0	- « œilleton » de confirmation en cas de commande d'itinéraire en voie déviée ; - alerte « sonore » en cabine en cas de commande d'itinéraire en voie déviée ;
C1	- signal « clignotant » (ou flash) en cas de signal de gestion des aiguilles voie déviée ; - TIV dynamique (clignotant) en cas de signal de gestion des aiguilles voie déviée ; - signal d'alerte dynamique en cas de signal de gestion des aiguilles restrictif ou indiquant la voie déviée et de vitesse inadaptée pour le franchissement de l'appareil de voie en voie en dévié ; Le signal associé à C1 ne doit jamais être rouge clignotant (risque de confusion avec un signal restrictif) lorsque celui-ci est positionné en amont du signal principal ;
D1	- régulation automatique de la vitesse du tramway pour un arrêt du tramway ou pour se conformer à la vitesse de consigne de la voie déviée au plus tard au niveau de l'appareil de voie ;
D2	- arrêt automatique du tramway en cas de franchissement du signal de gestion des aiguilles fermé ou voie déviée avec une vitesse du tramway supérieure à celle de la voie déviée, pour un arrêt au plus tard au niveau de l'appareil de voie ;

Tableau 11 : exemples de mesures pour la prévention des accidents potentiels de type déraillement par survitesse, bi-voie et talonnage

8.3 - Mesures relatives aux collisions frontales par rattrapage et nez-à-nez

Exemples de mesures pouvant être mises en œuvre :

A	Pas de mesure de type A
B1	- rappel de l'indication de l'état de la zone d'espacement / zone de gestion des circulations (libre ou occupée) – notion de canton tampon dans le cas du rattrapage ;
C1	- signal d'alerte dynamique (flash) en cas de zone d'espacement / zone de gestion des circulations occupée ; Le signal associé à C1 ne doit jamais être rouge clignotant (risque de confusion avec un signal restrictif) lorsque celui-ci est positionné en amont du signal principal.
C2	- signal d'alerte dynamique (flash + sirène) en cas de franchissement du signal de gestion de l'espacement / des circulations restrictif ;
D1	- régulation automatique de la vitesse du tramway pour assurer un arrêt au plus tard au niveau du signal de gestion de l'espacement / du garage franc associé à l'entrée dans la zone de gestion des circulations en cas de zone occupée ;

D2	- arrêt automatique du tramway en cas de franchissement du signal d'espacement / de gestion des circulations restrictif.
----	--

Tableau 12 : exemples de mesure pour les collisions frontalesCas de l'annonce :

Dans le cas de recours à un signal d'annonce en tant que mesure de type B (notion de canton tampon B1 ci-dessus), lorsque le signal principal est positionné au début de la zone d'espacement, le signal d'annonce ne peut pas simplement recopier l'indication du signal principal situé en aval. Pour donner une information fiable, il doit aussi tenir compte de l'état libre ou occupée de la zone comprise entre le signal d'annonce et le signal principal.

Cas où $V_{consigne} > 70$ km/h :

Vis-à-vis du risque de collision par rattrapage, dans le cas où $V_{consigne} > 70$ km/h (limites de la conduite à vue – cf. chapitre 4.1.1), et en complément des exigences générales définies au chapitre 6.1, les exigences suivantes sont applicables :

- en zone avec voyageurs, le niveau de gravité est G4 ; une mesure de type C2 est requise, sauf lorsque l'occurrence d'arrêt est élevée (cf. Chapitre 3.3.4) où une mesure de type D2 est exigée ;
- en zone sans voyageurs, le niveau de gravité est G3 ; une mesure de type C2 est requise.

8.4 - Mesures relatives aux collisions latérales par prise en écharpe, cisaillement et croisement

Un dispositif de type « radar pédagogique » peut être mis en œuvre sur ces zones, mais compte-tenu de l'absence de niveau de fiabilité pouvant être démontré pour ces dispositifs, ils ne peuvent constituer une mesure de prévention/rattrapage.

Exemples de mesures pouvant être mises en œuvre :

A1	- tracé permanent dans la position la plus sûre - commande automatique dans la position la plus sûre / commande manuelle dans la position la moins sûre - « simple » commande dans la position la plus sûre / « double » commande pour la position la moins sûre - commande PCC pour la position la moins sûre - commande à pied d'œuvre (boîtier secours) pour la position la moins sûre
A2	- mise en protection de l'appareil de voie ; - retour automatique de l'appareil de voie dans la position la plus sûre ;
B1	- rappel du signal de gestion des circulations - annonce du signal de gestion des circulations
C1	- signal d'alerte dynamique (flash) en cas de signal de gestion des circulations restrictif - signal d'alerte dynamique en cas de signal de gestion des circulations restrictif et de vitesse inadaptée pour s'arrêter avant ce signal Le signal associé à C1 ne doit jamais être rouge clignotant (risque de confusion avec un signal restrictif) lorsque celui-ci est positionné en amont du signal principal.
C2	- signal d'alerte dynamique (flash + sirène) en cas de franchissement du signal de gestion des circulations restrictif
D1	- régulation automatique de la vitesse du tramway pour un arrêt du tramway au plus tard au niveau du garage franc en cas de zone occupée
D2	- arrêt automatique du tramway en cas de franchissement du signal de gestion des circulations restrictif

Tableau 13 : exemples de mesures pour les collisions latérales

8.5 - Principes de substitution des mesures fonctionnelles de prévention/rattrapage

En cas d'utilisation de mesures de substitution, les spécifications de besoin de ces mesures seront définies en référence aux objectifs demandés pour chaque mesure initialement exigée.

Les mesures de type A étant les seules de nature à limiter l'occurrence de l'accident potentiel du point de vue du système, il n'y a pas de mesure de substitution possible pour le type A.

Mesure de référence (au sens de la matrice)	Mesures de substitution alternatives admises
A1	Aucune
A2	Aucune
B1	C1, C2, D1, D2
C1	C2, D1, D2
C2	D1, D2
D1	D2
D2	Aucune

Tableau 14 : mesures de substitution

8.6 - Méthodologie d'analyse des modes de défaillance

Les spécifications de sûreté de fonctionnement des mesures fonctionnelles sont à déterminer en fonction de l'analyse des modes de défaillance associés au dysfonctionnement du dispositif. Cette analyse devra en particulier prendre en compte les éléments ci-après :

Détectabilité des dysfonctionnements	Oui/Non	Les conducteurs sont-ils en mesure de détecter le dysfonctionnement de la mesure mise en œuvre ?
Incidence sur la sécurité en cas de dysfonctionnement	Limitée/Forte	Le dysfonctionnement de cette mesure est-il jugé d'incidences limitées/fortes, compte tenu des autres mesures prévues par ailleurs ?
Surveillance/contrôle du bon fonctionnement	Les caractéristiques de la surveillance à mettre en œuvre (action, périodicité...) sont à justifier au regard de la détectabilité des dysfonctionnements, de l'incidence sur la sécurité en cas de dysfonctionnement ainsi que du risque de franchissement de signal restrictif. En particulier pour la mesure C2, la surveillance mise en œuvre sera au moins mensuelle.	
Exigences de fiabilité	<p>Pour les mesures de type A, les modes de défaillance « absence de retour automatique », « absence de télécommande automatique » devront être couverts par un niveau de fiabilité du même ordre que celui associé à une commande erronée de l'appareil de voie par l'automate de la zone ou une commande erronée d'itinéraire.</p> <p>Pour les mesures de type B, le mode de défaillance « affichage erroné » doit être couvert par le même niveau de fiabilité que celui associé au signal principal pour ce même mode de défaillance.</p> <p>Pour les mesures de type C1 et C2, le mode de défaillance « absence d'activation du signal » doit être couvert par un niveau de fiabilité équivalent à la classe SIL2 d'occurrence maximale acceptable d'apparition d'un danger.</p>	
Exigences de sécurité	Mesures de prévention/rattrapage conduisant à la mise en mouvement automatique d'un appareil de voie motorisé pris en pointe: une analyse	

	<p>de sécurité spécifique vis-à-vis du risque de déraillement par bi-voie devra être fournie si l'exigence d'implantation au plus près de la pointe de l'aiguille des circuits de voie n'est pas respectée (voir 6.1 B) 8)).</p> <p>Allocation de sécurité éventuelle : dans le cas de la mise en œuvre d'une mesure de rattrapage de type D1 ou D2, un niveau de sécurité SIL2 est requis, y compris pour la commande de freinage.</p>
Autres exigences techniques	Réflexion à avoir par rapport aux caractéristiques de la signalisation déjà en place sur la zone (alimentation secourue ?).

Figure 6 : éléments à prendre en compte pour l'analyse des modes de défaillance des mesures de prévention/rattrapage

Pour les dispositifs fonctionnant à faible sollicitation, le niveau d'intégrité de la sécurité pourra être déterminé suivant les exigences de la NF EN 61508¹⁰.

Dans le cas où un dysfonctionnement du dispositif/mesure fonctionnelle est détecté, un mode dégradé spécifique, en rapport avec l'incidence sur la sécurité en cas de dysfonctionnement, doit être défini et mis en place :

Exigences relatives à l'exploitation	<p>Définition de consignes en cas de détection d'un dysfonctionnement : alerte, diffusion de l'information, consignes d'exploitation sur zone en mode dégradé, dès détection et jusqu'à réparation), modalités de retour au mode nominal</p> <p>Pour les dispositifs/mesures de prévention de type B1 et C1, obligation de signalement par les conducteurs en cas de dysfonctionnement observé</p> <p>Pour les dispositifs/mesures de rattrapage (C2, D1 et D2), des procédures doivent être mises en place pour encadrer les situations d'inhibition du dispositif en cas de franchissement de signal restrictif.</p> <p>Pour les dispositifs D1 et D2, les exigences suivantes sont applicables :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Vérification du bon fonctionnement du dispositif embarqué avant la sortie du dépôt. - Vérification de l'état de fonctionnement du dispositif à chaque passage au niveau du signal d'entrée de la zone considérée avec remontée d'information du conducteur. - Enregistrement sur l'EPE des situations d'inhibition du dispositif d'arrêt automatique des tramways.
Mesures compensatoires en cas de fonctionnement dégradé	<p>Immédiate (à partir de la détection du dysfonctionnement) : Information des conducteurs avec rappels réguliers.</p> <p>J+1 : Mise en place de dispositions permettant de prévenir le risque de collision / déraillement (ex : TIV provisoires sur site).</p>
Exigences relatives à la maintenance	<p>Définition des modalités de surveillance du bon fonctionnement du dispositif/mesure fonctionnelle (ex : contrôle périodique).</p> <p>Définition d'un délai de réparation acceptable.</p>

Figure 7 : éléments pour la mise en œuvre d'un mode dégradé suite à la défaillance de la mesure de prévention/rattrapage

Cas de la mutualisation :

Lorsqu'une mesure de type C1 est exigée ou mise en œuvre, elle peut être mutualisée avec le signal principal. Toutefois, une mutualisation conduisant à passer en clignotant un signal rouge est interdite. L'analyse des modes de défaillance devra prendre en compte cette mutualisation, tant dans la sécurisation que sur la détectabilité des dysfonctionnements, et devra être commune à l'analyse des modes de défaillance du signal principal.

¹⁰ NF EN 61508 - Sécurité fonctionnelle des systèmes électriques/électroniques/électroniques programmables relatifs à la sécurité

9 - Fiches à appliquer pour les zones équipées d'un dispositif de signalisation dynamique

9.1 - Contenu et utilisation des fiches

Pour chaque accident potentiel recensé sur la zone (cf. chapitre 3.1) pour lequel un dispositif de signalisation dynamique est requis (cf. chapitre 4) ou mis en œuvre, les fiches en annexe (cf. annexe A) du présent guide permettent :

- de déterminer le niveau de gravité à associer à chaque accident potentiel recensé ; les niveaux de SIL correspondants pour les fonctions de sécurité sont définis au chapitre 7.2. Dans le cas où, pour une même fonction de sécurité, le niveau de sécurité requis diffère suivant l'accident potentiel recensé, le niveau de sécurité le plus élevé sera retenu ;
- d'étudier l'implantation de la signalisation ferroviaire afin de la rendre la plus favorable possible (variation des paramètres suivants : visibilité des signaux, détectabilité par un conducteur d'une erreur d'un autre conducteur, vitesse du tramway sur la zone, tout cela dans l'optique d'une diminution de la vitesse de choc) ;
- de définir les mesures de rattrapage à mettre en œuvre suivant chaque accident potentiel recensé (cf. chapitre 8) : lorsqu'un même dispositif/mesure fonctionnelle est exigé sur plusieurs accidents potentiels recensés, la mise en œuvre d'un seul dispositif/mesure de même type est suffisant (après vérification que chaque objectif du dispositif/mesure pris séparément est bien atteint). L'analyse et la couverture des modes de défaillance de ces dispositifs/mesures doivent être effectués (cf. chapitre 8.6).

Ainsi, chaque fiche est structurée de la façon suivante :

1. Objet et portée de la fiche
2. Termes spécifiques utilisés dans la fiche
3. Arbre des causes « Système »
4. Identification des paramètres influant sur la gravité de l'accident potentiel
5. Matrices de gravité
6. Identification des paramètres influant sur l'occurrence de l'accident potentiel
7. Exigences applicables
 - a) Exemples de dispositions répondant aux différentes typologies de mesures
 - b) Matrices des exigences/mesures fonctionnelles

Pour rappel, les fiches ne sont pas applicables aux zones circulées par des tramways sans voyageurs lorsqu'il n'existe pas de risques extérieurs (tiers, bâti, ouvrage d'art ...).

9.2 - Cas particulier de la convergence de voies avec une aiguille prise en pointe en amont

Lorsqu'il n'est pas possible de déterminer précisément la typologie de la collision entre tramways (mettant en cause un aiguillage pris par la pointe), la **fiche collision par cisaillement s'applique** par défaut.

Ainsi, lorsqu'une convergence de voies fait suite à une aiguille prise par la pointe, dont les parcours voie directe et voie déviée sont prévus, l'accident potentiel à prendre en compte est la collision par cisaillement.

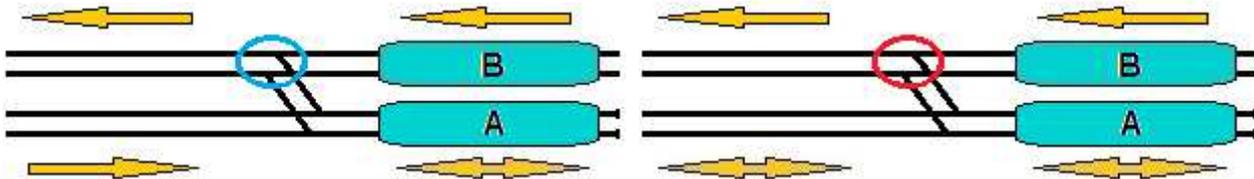


Figure 8 : illustration collision prise en écharpe

Figure 9 : illustration collision cisaillement

Ainsi, pour la figure 8 ci-dessous, lorsque le tramway A est en mouvement, le tramway B n'a pas d'ambiguïté sur sa destination, car le seul itinéraire prévu est celui où le tramway A prend l'aiguille en voie déviée. On considère donc que l'aiguille prise par la pointe par le tramway A n'a pas d'impact sur la collision. La typologie de l'accident potentiel s'apparente donc à une collision par prise en écharpe.

Dans le cas de la figure 9, lorsque le tramway A est en mouvement, le tramway B ne peut connaître sa direction que lorsque le tramway A est sur l'aiguillage pris par la pointe. Ainsi, on se retrouve dans les conditions du scénario de collision par cisaillement.

9.3 - Cas particulier des tiroirs en ligne et des entrées/sorties de voie unique

Ces cas sont à étudier lorsque la distance entre l'aiguille et la position du signal du tramway B est inférieure à la distance de sécurité du tramway A (distance d'arrêt en FNS ($a=1,2m/s^2$) avec $t_r=1,5s$), majorée de la longueur du porte-à-faux de la rame.

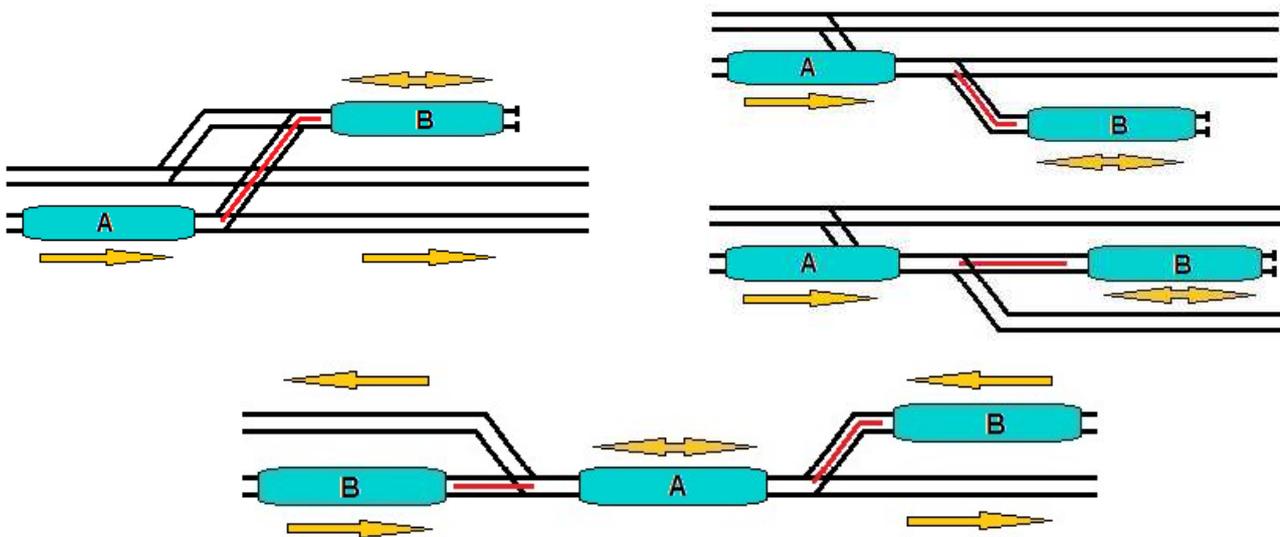


Figure 10 : accidents potentiels à prendre en compte dans le cas des tiroirs en ligne et des entrées/sorties de voie unique

Pour ces configurations, l'accident potentiel est de type collision par nez-à-nez dans la cinématique, tout en ayant comme origine une erreur au niveau de l'aiguille prise en pointe, dont la détection ne peut se faire que lorsque le tramway franchit l'aiguille.

Dans ce cas, les chapitres 1, 2, 3, 4, 6 et 7a de la fiche collision par cisaillement sont applicables, complétés avec les matrices de gravité et les exigences/mesures fonctionnelles ci-dessous (inspirés des matrices applicables en cas de collision par nez-à-nez).

Matrices de gravité

Zone avec voyageurs	$V_{\text{consigne}} \leq 30 \text{ km/h}$	$30 \text{ km/h} < V_{\text{consigne}} \leq 70 \text{ km/h}$
	G1 si $V_{\text{choc}} = 0$ G2 si $0 < V_{\text{choc}} \leq 15 \text{ km/h}$ G3 si $15 \text{ km/h} < V_{\text{choc}} \leq 30 \text{ km/h}$	G3 si $V_{\text{choc}} \leq 30 \text{ km/h}$ G4 si $V_{\text{choc}} > 30 \text{ km/h}$
Zone sans voyageurs	$V_{\text{consigne}} \leq 30 \text{ km/h}$	$30 \text{ km/h} < V_{\text{consigne}} \leq 70 \text{ km/h}$
	G1 si $V_{\text{choc}} \leq 15 \text{ km/h}$ G3 si $V_{\text{choc}} > 15 \text{ km/h}$	G3

Tableau 15 : matrices de gravité dans le cas des tiroirs en ligne et des entrées/sorties de voie unique

Matrice des exigences/mesures fonctionnelles

Zone avec voyageurs	$V_{\text{consigne}} \leq 30 \text{ km/h}$	$30 \text{ km/h} < V_{\text{consigne}} \leq 70 \text{ km/h}$
	Aucune mesure particulière si $V_{\text{choc}} = 0$ A1 si $0 < V_{\text{choc}} \leq 15 \text{ km/h}$ A2 si $15 \text{ km/h} < V_{\text{choc}} \leq 30 \text{ km/h}$	A2 si $V_{\text{choc}} \leq 30 \text{ km/h}$ A2 + C2 si $V_{\text{choc}} > 30 \text{ km/h}$
Zone sans voyageurs	$V_{\text{consigne}} \leq 30 \text{ km/h}$	$30 \text{ km/h} < V_{\text{consigne}} \leq 70 \text{ km/h}$
	Aucune mesure particulière si $V_{\text{choc}} \leq 15 \text{ km/h}$ B1 si $V_{\text{choc}} > 15 \text{ km/h}$	B1

Tableau 16 : matrices de gravité dans le cas des tiroirs en ligne et des entrées/sorties de voie unique

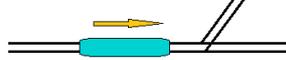
Annexe A – Fiches

Fiche déraillement par bi-voie.....	38
Fiche déraillement par survitesse.....	40
Fiche déraillement par talonnage.....	43
Fiche collision par rattrapage.....	45
Fiche collision par nez-à-nez.....	48
Fiche collision par croisement.....	51
Fiche collision par prise en écharpe.....	54
Fiche collision par cisaillement.....	57

DÉRAILLEMENT PAR BI-VOIE

1. Objet et portée de la fiche

Déraillement par bi-voie : déraillement ou mise en crabe d'un tramway sur une aiguille prise en pointe du fait d'un mouvement intempestif ou d'un positionnement non correct de l'appareil de voie au passage du tramway.



Dispositif de signalisation dynamique requis dans les cas suivants (cf Chapitre 4) :

- Aiguille motorisée prise en pointe,
- Aiguille non motorisée prise en pointe en situation nominale avec $V_{\text{consigne}} > 15 \text{ km/h}$

Portée de la fiche :

Cette fiche est à appliquer dès lors qu'il existe un risque de déraillement par bi-voie en mode nominal d'exploitation et qu'il existe une signalisation dynamique de gestion des aiguilles.

2. Termes spécifiques utilisés dans la fiche (cf. Chapitre 3)

- Vitesse de consigne : vitesse maximale de consigne applicable au franchissement d'un aiguillage pris par la pointe (a priori voie directe)
- Appareil de voie contrôlé en position : appareil de voie positionné et contrôlé dans l'une des deux positions normales de fonctionnement.

3. Arbre des causes « Système »

L'hypothèse d'une « boucle de rattrapage » par le conducteur dans le cadre du scénario de bi-voie n'est pas prise en compte, considérant notamment :

- 1 la présence d'une indication de la position de l'aiguille délivrant les informations utiles au conducteur,
- 2 les différentes conditions d'exploitation (ex : périodes nocturnes) qui rendent impossible la détection de la position de l'aiguille dans certaines circonstances.

Appareil de voie contrôlé en position à l'approche du tramway

ET

A) **Vitesse de consigne mal spécifiée** (par le concepteur/constructeur) **pour le franchissement de l'appareil de voie** (induisant un mouvement intempestif de l'appareil sous le tramway)

OU

B) **Défaut « mécanique » de l'appareil** (induisant un mouvement intempestif sous le tramway)

OU

C) **Autorisation intempestive de mouvement de l'appareil** juste avant le passage du tramway sur l'appareil (avec pour conséquence un appareil de voie non contrôlé en position lors du passage du tramway)

OU

D) **Autorisation intempestive de mouvement de l'appareil** lors du passage du tramway sur l'appareil

Appareil de voie non contrôlé en position à l'approche du tramway

ET

E) **Indication de la position de l'appareil de voie erronée**

OU

F) **Franchissement d'un signal restrictif par le conducteur**

4. Identification des paramètres influant sur la gravité (cf Chapitre 3)

- Zone d'exploitation avec/sans voyageurs
- Vitesse de circulation du tramway dans la zone
- Présence d'un risque extérieur dans l'environnement : tiers (piétons, cycles, VL), bâtiment, risque particulier (ouvrage ou obstacle « agressif », dénivellation,...)

À partir de 15 km/h, il est considéré que le critère « présence de voyageurs » prime sur l'environnement extérieur (à faible vitesse, le risque de rupture de caisse est considéré comme improbable).

5. Matrices de gravité

Zone avec voyageurs	$V_{\text{consigne}} \leq 15 \text{ km/h}$	$15 \text{ km/h} < V_{\text{consigne}} \leq 30 \text{ km/h}$	$30 \text{ km/h} < V_{\text{consigne}} \leq 70 \text{ km/h}$
Sans risque extérieur dans l'environnement	G1	G3	G4
Avec risques extérieurs dans l'environnement	G2		

Zone sans voyageurs	$V_{\text{consigne}} \leq 15 \text{ km/h}$	$15 \text{ km/h} < V_{\text{consigne}} \leq 30 \text{ km/h}$	$30 \text{ km/h} < V_{\text{consigne}} \leq 70 \text{ km/h}$
Sans risque extérieur dans l'environnement	G1	G1	G3
Avec risques extérieurs dans l'environnement	G2	G3	G4

6. Identification des paramètres influant sur l'occurrence (cf Chapitre 3)

- Vitesse de circulation du tramway dans la zone

7. Exigences techniques et fonctionnelles

a) Exemples de dispositions répondant aux différentes typologies de mesures

Typologie de mesure		Exemple(s)
Type [C]	C1	- signal « clignotant » (ou flash) en cas de signal de gestion des aiguilles restrictif - signal d'alerte dynamique en cas de signal de gestion des circulations restrictif et de vitesse inadaptée pour s'arrêter avant ce signal

b) Matrices des exigences/mesures fonctionnelles

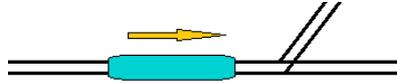
Zone avec voyageurs	$V_{\text{consigne}} \leq 30 \text{ km/h}$	$30 \text{ km/h} < V_{\text{consigne}} \leq 70 \text{ km/h}$
Sans risque extérieur dans l'environnement	Aucune mesure particulière	C1
Avec risques extérieurs dans l'environnement		

Zone sans voyageurs	$V_{\text{consigne}} \leq 30 \text{ km/h}$	$30 \text{ km/h} < V_{\text{consigne}} \leq 70 \text{ km/h}$
Sans risque extérieur dans l'environnement	Aucune mesure particulière	Aucune mesure particulière
Avec risques extérieurs dans l'environnement		C1

DÉRAILLEMENT PAR SURVITESSE

1. Objet et portée de la fiche

Déraillement par survitesse : déraillement du tramway sur une aiguille prise en pointe du fait d'une inadéquation de la vitesse du tramway avec la position de l'appareil de voie.



Dispositif de signalisation dynamique requis dans les cas suivants (cf Chapitre 4) :

- Aiguille motorisée prise en pointe,
- Aiguille non motorisée prise en pointe avec $V_{\text{consigne}} > 15 \text{ km/h}$

Portée de la fiche :

Cette fiche est à appliquer dès lors qu'il existe un risque de déraillement par survitesse en mode nominal d'exploitation sur un aiguillage motorisé et qu'il existe une signalisation dynamique de gestion des aiguilles.

Par voie de conséquence, ne sont pas traités dans la présente fiche :

- le déraillement par survitesse sur une aiguille prise par le talon,
- le déraillement par mouvement-instabilité d'une aiguille sous le tramway qui trouverait pour origine une vitesse excessive (ou « survitesse »). Voir fiche « déraillement par « bi-voie »,
- le déraillement par survitesse dans une courbe située juste après une aiguille (ex : accès à un CDM), même si des similitudes peuvent exister dans le(s) scénario(s) de survenu des deux événements.

2. Termes spécifiques utilisés dans la fiche (cf. Chapitre 3)

- Vitesse de consigne : vitesse maximale de consigne applicable pour le franchissement d'un aiguillage motorisé pris par la pointe (a priori voie directe).
- Vitesse critique : vitesse au-delà de laquelle le franchissement de l'aiguille en voie déviée conduit à un déraillement du tramway.
- « Voie déviée » : par convention, dans la présente fiche, le terme « voie déviée » correspond à la position de l'appareil de voie associée à la vitesse de consigne la plus faible dans la zone.
- « Voie directe » : par convention, dans la présente fiche, le terme « voie directe » correspond à la position de l'appareil de voie associée à la vitesse de consigne la plus élevée dans la zone.

3. Arbre des causes « Système »

L'hypothèse d'une « boucle de rattrapage » par le conducteur dans le cadre du scénario de déraillement par survitesse n'est pas prise en compte, considérant notamment :

- la présence d'une indication de la position de l'aiguille délivrant les informations utiles au conducteur,
- les différentes conditions d'exploitation (ex : périodes nocturnes) qui rendent impossible la détection de la position de l'aiguille dans certaines circonstances.

Vitesse de consigne supérieure à la vitesse critique

ET

Appareil de voie en position non adaptée avec la vitesse de consigne associée à une circulation en voie directe

ET

A) Vitesse de consigne mal spécifiée (par le concepteur/constructeur)

OU

B) Indication de la position de l'appareil de voie erronée
<i>OU</i>
C) Mouvement de l'appareil de voie après le franchissement de la signalisation dynamique de gestion des aiguilles
<i>OU</i>
D) Non-respect (par le conducteur) de la vitesse de consigne adaptée
<i>OU</i>
E) Franchissement d'un signal restrictif par le conducteur

4. Identification des paramètres influant sur la gravité (cf Chapitre 3)

- Zone d'exploitation avec/sans voyageurs
- Vitesse de circulation du tramway dans la zone
- Présence d'un risque extérieur dans l'environnement : tiers (piétons, cycles, VL), bâtiment, risque particulier (ouvrage ou obstacle « agressif », dénivellation,...)

5. Matrices de gravité

Zone avec voyageurs	$V_{\text{consigne}} \leq V_{\text{critique}}$	$V_{\text{consigne}} > V_{\text{critique}}$	
		$V_{\text{consigne}} \leq 30 \text{ km/h}$	$30 \text{ km/h} < V_{\text{consigne}} \leq 70 \text{ km/h}$
Sans risque extérieur dans l'environnement	G1	G2	G4
Avec risques extérieurs dans l'environnement		G3	

Zone sans voyageurs	$V_{\text{consigne}} \leq V_{\text{critique}}$	$V_{\text{consigne}} > V_{\text{critique}}$	
		$V_{\text{consigne}} \leq 30 \text{ km/h}$	$30 \text{ km/h} < V_{\text{consigne}} \leq 70 \text{ km/h}$
Sans risque extérieur dans l'environnement	G1	G1	G3
Avec risques extérieurs dans l'environnement		G3	G4

6. Identification des paramètres influant sur l'occurrence (cf Chapitre 3)

- Vitesse de circulation du tramway dans la zone

7. Exigences techniques et fonctionnelles

a) Exemples de dispositions répondant aux différentes typologies de mesures

Typologie de mesure		Exemple(s)
Type [A]	A1	- tracé permanent voie directe - commande automatique en voie directe / commande manuelle en voie déviée - « double » commande en voie déviée / « simple » commande en voie directe - commande PCC pour la voie déviée (cas de l'accès à un dépôt en voie déviée) - commande à pied d'œuvre (boîtier secours) pour la voie déviée
	A2	- retour automatique de l'appareil de voie en voie directe

Type [B]	B1	- rappel du signal de gestion des aiguilles
Type [C]	C1	- signal d'alerte dynamique (flash) en cas de signal de gestion des aiguilles voie déviée - TIV dynamique (clignotant) en cas de signal de gestion des aiguilles voie déviée - signal d'alerte dynamique en cas de signal de gestion des aiguilles indiquant la voie déviée et de vitesse inadaptée pour le franchissement de l'appareil de voie en déviée

b) Matrices des exigences/mesures fonctionnelles

Zone avec voyageurs	$V_{\text{consigne}} \leq V_{\text{critique}}$	$V_{\text{consigne}} > V_{\text{critique}}$	
		$V_{\text{consigne}} \leq 30 \text{ km/h}$	$30 \text{ km/h} < V_{\text{consigne}} \leq 70 \text{ km/h}$
Sans risque extérieur dans l'environnement	Aucune mesure particulière	A1	A1 et A2* et B1
Avec risques extérieurs dans l'environnement		A1 et Autre mesure de type (A, B ou C)	A1 et A2* et C1

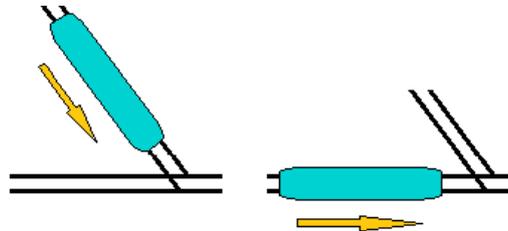
Zone sans voyageurs	$V_{\text{consigne}} \leq V_{\text{critique}}$	$V_{\text{consigne}} > V_{\text{critique}}$	
		$V_{\text{consigne}} \leq 30 \text{ km/h}$	$30 \text{ km/h} < V_{\text{consigne}} \leq 70 \text{ km/h}$
Sans risque extérieur dans l'environnement	Aucune mesure particulière	Aucune mesure particulière	A1 et Autre mesure de type (A, B ou C)
Avec risques extérieurs dans l'environnement		A1 et Autre mesure de type (A, B ou C)	A1 et A2* et C1

*Dans le cas où l'itinéraire parcouru le plus fréquemment emprunte la voie déviée (ex : service commercial en voie déviée et accès au dépôt en voie directe), l'occurrence de la cause D est peu probable (le délit d'habitude conduisant à appliquer la vitesse de consigne de la voie déviée). En conséquence la mesure A2 n'est alors pas requise.

DÉRAILLEMENT PAR TALONNAGE

1. Objet et portée de la fiche

Déraillement par talonnage : déraillement du tramway sur une aiguille non talonnable (aiguillage verrouillé ou appareil de voie pour tramway sur pneus) prise par le talon, du fait d'un mouvement intempesitif ou d'un positionnement de l'appareil de voie dans une position incompatible avec le parcours du tramway.



Dispositif de signalisation dynamique requis dans le cas suivant (cf Chapitre 4):

- Aiguille non talonnable prise par le talon (aiguillage verrouillé ou appareil de voie pour tramway sur pneus)

Portée de la fiche :

Cette fiche est à appliquer dès lors qu'il existe un risque de déraillement par talonnage en mode nominal d'exploitation et qu'il existe une signalisation dynamique de gestion des aiguilles.

2. Termes spécifiques utilisés dans la fiche (cf Chapitre 3)

- Vitesse de consigne : vitesse maximale de consigne du tramway pour le passage de l'aiguillage pris par le talon (a priori voie directe)

3. Arbre des causes « Système »

L'hypothèse d'une « boucle de rattrapage » par le conducteur dans le cadre du scénario de déraillement par talonnage n'est pas prise en compte, considérant notamment :

- *la présence d'une indication de la position de l'aiguille délivrant les informations utiles au conducteur,*
- *les différentes conditions d'exploitation (ex : périodes nocturnes) qui rendent impossible la détection de la position de l'aiguille dans certaines circonstances.*

A) Indication de la position de l'appareil de voie erronée <u>ET</u> Appareil de voie dans une position incompatible
OU
B) Mouvement de l'appareil de voie après le franchissement de la signalisation dynamique de gestion des aiguilles
OU
C) Franchissement d'un signal restrictif par le conducteur <u>ET</u> Appareil de voie dans une position incompatible

4. Identification des paramètres influant sur la gravité (cf Chapitre 3)

- Zone d'exploitation avec/sans voyageurs
- Vitesse de circulation du tramway dans la zone
- Présence d'un risque extérieur dans l'environnement : tiers (piétons, cycles, VL), bâtiment, risque particulier (ouvrage ou obstacle « agressif », dénivellation,...)

5. Matrices de gravité

Zone avec voyageurs	$V_{\text{consigne}} \leq 15 \text{ km/h}$	$15 \text{ km/h} < V_{\text{consigne}} \leq 30 \text{ km/h}$	$30 \text{ km/h} < V_{\text{consigne}} \leq 70 \text{ km/h}$
Sans risque extérieur dans l'environnement	G1	G2	G4
Avec risques extérieurs dans l'environnement	G2	G3	

Zone sans voyageurs	$V_{\text{consigne}} \leq 15 \text{ km/h}$	$15 \text{ km/h} < V_{\text{consigne}} \leq 30 \text{ km/h}$	$30 \text{ km/h} < V_{\text{consigne}} \leq 70 \text{ km/h}$
Sans risque extérieur dans l'environnement	G1	G1	G3
Avec risques extérieurs dans l'environnement	G2	G3	G4

6. Identification des paramètres influant sur l'occurrence (cf Chapitre 3)

- Vitesse de circulation du tramway dans la zone

7. Exigences techniques et fonctionnelles

a) Exemples de dispositions répondant aux différentes typologies de mesures

Typologie de mesure		Exemple(s)
Type [C]	C1	- signal d'alerte dynamique (clignotant) en cas de signal de gestion des aiguilles restrictif - signal d'alerte dynamique en cas de signal de gestion des circulations restrictif et de vitesse inadaptée pour s'arrêter avant ce signal

b) Matrices des exigences/mesures fonctionnelles

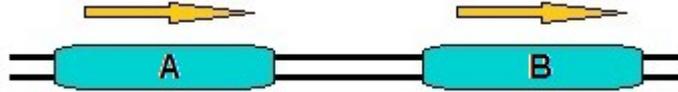
Zone avec voyageurs	$V_{\text{consigne}} \leq 30 \text{ km/h}$	$30 \text{ km/h} < V_{\text{consigne}} \leq 70 \text{ km/h}$
Sans risque extérieur dans l'environnement	Aucune mesure particulière	C1
Avec risques extérieurs dans l'environnement		

Zone sans voyageurs	$V_{\text{consigne}} \leq 30 \text{ km/h}$	$30 \text{ km/h} < V_{\text{consigne}} \leq 70 \text{ km/h}$
Sans risque extérieur dans l'environnement	Aucune mesure particulière	Aucune mesure particulière
Avec risques extérieurs dans l'environnement		C1

COLLISION PAR RATRAPAGE

1. Objet et portée de la fiche

Collision par rattrapage : collision entre tramways allant vers une même direction et circulant sur une même voie.



Dispositif de signalisation dynamique requis dans les cas suivants (cf Chapitre 4) :

- Configuration avec perte de visibilité à distance de freinage
- $V_{\text{consigne}} > 70 \text{ km/h}$

Portée de la fiche :

Cette fiche est à appliquer dès lors qu'il existe un risque de rattrapage en mode nominal d'exploitation et qu'une signalisation dynamique de gestion d'espacement a été mis en œuvre vis-à-vis de la maîtrise du seul risque de rattrapage.

Par voie de conséquence, ne sont pas traités dans la présente fiche les dispositifs de signalisation dynamique de gestion d'espacement mis en œuvre pour des raisons de dimensionnement d'ouvrages ou pour interdire l'accès en cas d'alerte incendie.

Les cas de $V_{\text{consigne}} > 70 \text{ km/h}$ ne sont pas traités dans la présente fiche mais dans le guide au chapitre 8.3).

2. Termes spécifiques utilisés dans la fiche (cf Chapitre 3)

- Vitesse de consigne : vitesse maximale de la section avec signalisation de gestion de l'espacement
- Vitesse de choc : vitesse résiduelle du tramway A (tramway suiveur), au niveau du tramway aval B considéré arrêté, et qui a freiné au niveau du point de détection.

Point de détection : point à partir duquel le tramway suiveur A a la visibilité sur le tramway aval B (visibilité de la girouette ou des feux stop selon le profil en long), considéré arrêté au point le plus contraignant en termes de visibilité.

3. Arbre des causes « Système »

A) Indication libre à tort de la zone d'espacement <u>ET</u> non-détection / non rattrapage par le conducteur
OU
B) Franchissement d'un signal restrictif par le conducteur <u>ET</u> non-détection / non rattrapage par le conducteur

4. Identification des paramètres influant sur la gravité (cf Chapitre 3)

- Zone d'exploitation avec / sans voyageurs
- Vitesse de circulation des tramways dans la zone
- Circulation dans une zone difficile d'accès pour les secours
- Présence d'un risque extérieur dans l'environnement (dans l'hypothèse d'un sur-accident de type « déraillement ») : tiers (piétons, cycles, VL), bâtiment, risque particulier (ouvrage ou obstacle « agressif », dénivellation,...)

5. Matrices de gravité

Zone avec voya-geurs	$V_{\text{consigne}} \leq 40 \text{ km/h}$	$40 \text{ km/h} < V_{\text{consigne}} \leq 70 \text{ km/h}$
Hors zone difficile d'accès	G1 si $V_{\text{choc}} = 0$ G2 si $0 < V_{\text{choc}} \leq 15 \text{ km/h}$ G3 si $15 \text{ km/h} < V_{\text{choc}} \leq 30 \text{ km/h}$ G4 si $V_{\text{choc}} > 30 \text{ km/h}$	G3 si $V_{\text{choc}} \leq 30 \text{ km/h}$ G4 si $V_{\text{choc}} > 30 \text{ km/h}$
En zone difficile d'accès	G3 si $V_{\text{choc}} \leq 15 \text{ km/h}$ G4 si $V_{\text{choc}} > 15 \text{ km/h}$	G4

Zone sans voyageurs	$V_{\text{consigne}} \leq 40 \text{ km/h}$	$40 \text{ km/h} < V_{\text{consigne}} \leq 70 \text{ km/h}$
	G1 si $V_{\text{choc}} \leq 15 \text{ km/h}$ G3 si $V_{\text{choc}} > 15 \text{ km/h}$	G3

6. Identification des paramètres influant sur l'occurrence (cf Chapitre 3)

- Facteurs influant sur l'occurrence de la situation d'immobilisation du tramway dans la zone signalée :
 - Fréquence du service commercial
 - Configuration particulière de nature à conduire nominalement à l'arrêt d'un tramway dans la zone d'espacement (exemple : carrefour en sortie de zone, présence d'appareil de voie dans la zone d'espacement,...).
- Visibilité dans la zone d'espacement
- Vitesse de circulation des tramways dans la zone

7. Exigences techniques et fonctionnelles

a) Exemples de dispositions répondant aux différentes typologies de mesures

Typologie de mesure		Exemple(s)
Type [B]	B1	- rappel de l'indication de l'état de la zone d'espacement (libre ou occupée)
Type [C]	C1	- signal d'alerte dynamique (flash) en cas de zone d'espacement occupée - signal d'alerte dynamique en cas de signal de gestion des circulations restrictif et de vitesse inadaptée pour s'arrêter avant ce signal
	C2	- signal d'alerte dynamique (flash + sirène) en cas de franchissement du signal de gestion de l'espacement restrictif
Type [D]	D2	- arrêt automatique du tramway en cas de franchissement du signal d'espacement restrictif

b) Matrices des exigences / mesures fonctionnelles

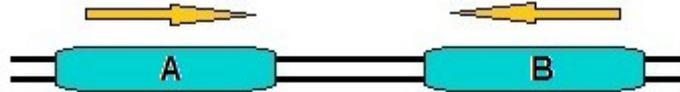
Zone avec voyageurs		$V_{\text{consigne}} \leq 40 \text{ km/h}$	$40 \text{ km/h} < V_{\text{consigne}} \leq 70 \text{ km/h}$
Hors zone difficile d'accès	Occurrence d'arrêt usuelle	Aucune mesure particulière si $V_{\text{choc}} = 0$ B1 si $0 < V_{\text{choc}} \leq 15 \text{ km/h}$ C1 si $15 \text{ km/h} < V_{\text{choc}} \leq 30 \text{ km/h}$ C2 si $V_{\text{choc}} > 30 \text{ km/h}$	C2
	Occurrence d'arrêt élevée	B1 si $V_{\text{choc}} \leq 15 \text{ km/h}$ C1 si $15 \text{ km/h} < V_{\text{choc}} \leq 30 \text{ km/h}$ C2 si $V_{\text{choc}} > 30 \text{ km/h}$	C2 si $V_{\text{choc}} \leq 30 \text{ km/h}$ D2 si $V_{\text{choc}} > 30 \text{ km/h}$
En zone difficile d'accès	Occurrence d'arrêt usuelle	C1 si $V_{\text{choc}} \leq 15 \text{ km/h}$ C2 si $V_{\text{choc}} > 15 \text{ km/h}$	C2
	Occurrence d'arrêt élevée	C1 si $V_{\text{choc}} \leq 15 \text{ km/h}$ C2 si $15 \text{ km/h} < V_{\text{choc}} \leq 30 \text{ km/h}$ D2 si $V_{\text{choc}} > 30 \text{ km/h}$	C2 si $V_{\text{choc}} \leq 30 \text{ km/h}$ D2 si $V_{\text{choc}} > 30 \text{ km/h}$

Zone sans voyageurs		$V_{\text{consigne}} \leq 40 \text{ km/h}$	$40 \text{ km/h} < V_{\text{consigne}} \leq 70 \text{ km/h}$
Occurrence d'arrêt usuelle		Aucune mesure particulière si $V_{\text{choc}} = 0$ B1 sinon	C1
Occurrence d'arrêt élevée		B1	

COLLISION PAR NEZ-A-NEZ

1. Objet et portée de la fiche

Collision par nez-à-nez : collision d'un tramway avec un autre tramway circulant en sens inverse.



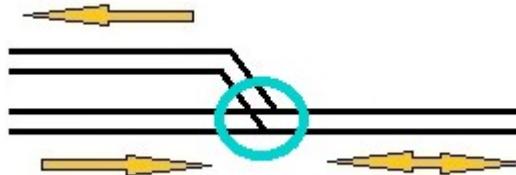
Dispositif de signalisation dynamique requis dans les cas suivants (cf Chapitre 4) :

- Configurations avec perte de visibilité à distance de freinage
- $V_{\text{consigne}} > 30 \text{ km/h}$ (sans perte de visibilité à distance de freinage)
- $20 \text{ km/h} < V_{\text{consigne}} \leq 30 \text{ km/h}$ et longueur de voie L pouvant être parcourue dans les deux sens $L > 200 \text{ m}$ (sans perte de visibilité à distance de freinage)

Portée de la fiche :

Cette fiche est à appliquer dès lors qu'il existe un risque de collision par nez-à-nez en mode nominal d'exploitation et qu'il existe une signalisation dynamique de gestion des circulations.

Pour la prise en compte du cas ci-dessous, se reporter au chapitre 9.3.



2. Termes spécifiques utilisés dans la fiche (cf Chapitre 3)

- Voie unique : par convention, on désignera par voie unique la section dans laquelle des circulations sont autorisées dans les deux sens en configuration nominale d'exploitation. La longueur de la voie unique est à considérer entre les aiguillages encadrant l'ensemble de la section à double sens (y compris si elle contient des aiguillages) ou entre l'aiguillage et la position de remisage du tramway (cas du terminus).
- Vitesse de consigne : vitesse maximale sur la section de voie unique y compris s'il existe deux consignes différentes selon le sens de circulation
- Vitesse « de sécurité » : pour déterminer s'il y a ou non perte de visibilité à distance de freinage, il convient de positionner les tramways au point le plus critique de visibilité et de comparer la distance $d_{\text{visibilité}}$ aux distances de sécurité des tramways A ($d_{\text{sécuritéA}}$) et B ($d_{\text{sécuritéB}}$).

La distance de visibilité ($d_{\text{visibilité}}$) est la distance mesurée entre 2 rames (en suivant le rail), la première étant positionnée au point le plus contraignant en termes de visibilité, la seconde étant positionnée à son point de détection théorique (visibilité de la girouette ou des feux stop selon le profil en long).

La perte de visibilité à distance de freinage se traduit par $d_{\text{visibilité}} < (d_{\text{sécuritéA}} + d_{\text{sécuritéB}})$

- Vitesse de choc totale : dans le cas de l'accident potentiel collision par nez-à-nez, $V_{\text{choc totale}}$ est la somme des vitesses résiduelles de chaque tramway au niveau du point de collision et qui freinent à leur point de détection, c'est-à-dire $V_{\text{choc totale}} = V_{\text{chocA}} + V_{\text{chocB}}$

Les temps de réaction à considérer pour V_{chocA} et V_{chocB} sont :

- 2,5 s en cas de perte de visibilité à distance de freinage et/ou de longueur de voie unique strictement supérieure à 200 m
- 1,5 s sinon

Point de détection (on considère que les deux tramways réagissent en même temps) :

- En cas de masque de l'aiguillage de sortie de la voie unique depuis le signal d'entrée sur la voie unique, le tramway A (respectivement B) est à localiser au point permettant de voir le tramway B (respectivement A) sur l'aiguillage.
- S'il n'y a pas de masque de l'aiguillage de sortie de la voie unique depuis les signaux d'entrée sur la voie unique, alors le tramway A (respectivement B) est à localiser à son signal et le tramway B (respectivement A) sur l'aiguillage d'entrée sur la voie unique.

Nota : pour le cas du terminus, l'aiguillage est à assimiler à la position de remisage

3. Arbre des causes « Système »

A) Indication libre à tort de la zone de gestion des circulations ET non-détection / non rattrapage par les conducteurs

OU

B) Franchissement d'un signal restrictif de l'un des conducteurs ET non-détection / non rattrapage par les conducteurs

4. Identification des paramètres influant sur la gravité (cf Chapitre 3)

- Zone d'exploitation avec / sans voyageurs
- Vitesse de circulation des tramways dans la zone
- Circulation dans une zone difficile d'accès pour les secours
- Présence d'un risque extérieur dans l'environnement (dans l'hypothèse d'un sur-accident de type « déraillement »): tiers (piétons, cycles, VL), bâtiment, risque particulier (ouvrage ou obstacle « agressif », dénivellation, ...)

5. Matrices de gravité

Zone avec voyageurs	$V_{\text{consigne}} \leq 30 \text{ km/h}$		$30 \text{ km/h} < V_{\text{consigne}} \leq 70 \text{ km/h}$
	$d_{\text{visibilité}} > (d_{\text{sécuritéA}} + d_{\text{sécuritéB}})$	$d_{\text{visibilité}} \leq (d_{\text{sécuritéA}} + d_{\text{sécuritéB}})$	
Hors zone difficile d'accès	G1	G1 si $V_{\text{choc totale}} = 0$ G2 si $0 < V_{\text{choc totale}} \leq 15 \text{ km/h}$ G3 si $15 \text{ km/h} < V_{\text{choc totale}} \leq 30 \text{ km/h}$ G4 si $V_{\text{choc totale}} > 30 \text{ km/h}$	G4
En zone difficile d'accès		G3 si $V_{\text{choc totale}} \leq 15 \text{ km/h}$ G4 si $V_{\text{choc totale}} > 15 \text{ km/h}$	

Zone sans voyageurs	$V_{\text{consigne}} \leq 30 \text{ km/h}$		$30 \text{ km/h} < V_{\text{consigne}} \leq 70 \text{ km/h}$
	$d_{\text{visibilité}} > (d_{\text{sécuritéA}} + d_{\text{sécuritéB}})$	$d_{\text{visibilité}} \leq (d_{\text{sécuritéA}} + d_{\text{sécuritéB}})$	
	G1	G1 si $V_{\text{choc totale}} \leq 15 \text{ km/h}$ G3 si $V_{\text{choc totale}} > 15 \text{ km/h}$	G3

6. Identification des paramètres influant sur l'occurrence (cf Chapitre 3)

- Visibilité dans la zone
- Vitesse de circulation des tramways dans la zone

7. Exigences techniques et fonctionnelles

a) Exemples de dispositions répondant aux différentes typologies de mesures

Typologie de mesure		Exemple(s)
Type [B]	B1	- rappel de l'indication de l'état de la zone de gestion des circulations (voie unique)
Type [C]	C1	- signal d'alerte dynamique (flash) en cas de zone de gestion des circulations (voie unique) occupée. - signal d'alerte dynamique en cas de signal de gestion des circulations restrictif et de vitesse inadaptée pour s'arrêter avant ce signal
	C2	- signal d'alerte dynamique (flash + sirène) en cas de franchissement du signal de gestion des circulations restrictif
Type [D]	D2	- arrêt automatique du tramway en cas de franchissement du signal de gestion des circulations restrictif

b) Matrices des exigences / mesures fonctionnelles

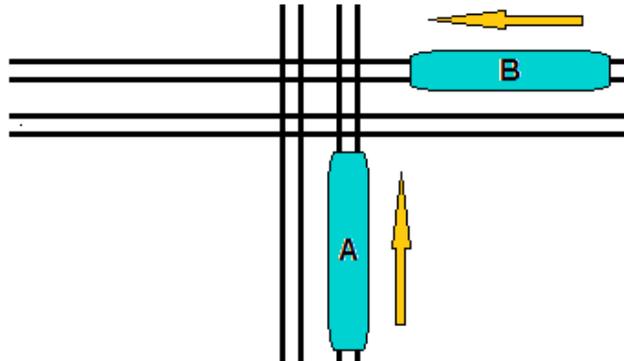
Zone avec voyageurs	$V_{\text{consigne}} \leq 30 \text{ km/h}$		$30 \text{ km/h} < V_{\text{consigne}} \leq 70 \text{ km/h}$
	$d_{\text{visibilité}} > (d_{\text{sécuritéA}} + d_{\text{sécuritéB}})$	$d_{\text{visibilité}} \leq (d_{\text{sécuritéA}} + d_{\text{sécuritéB}})$	
Hors zone difficile d'accès	Aucune mesure particulière	Aucune mesure particulière si $V_{\text{choc totale}} = 0$ B1 si $0 < V_{\text{choc totale}} \leq 15 \text{ km/h}$ C1 si $15 \text{ km/h} < V_{\text{choc totale}} \leq 30 \text{ km/h}$ C2 si $V_{\text{choc totale}} > 30 \text{ km/h}$	C2 si $V_{\text{choc totale}} \leq 30 \text{ km/h}$ D2 si $V_{\text{choc totale}} > 30 \text{ km/h}$
En zone difficile d'accès		C2	D2

Zone sans voyageurs	$V_{\text{consigne}} \leq 30 \text{ km/h}$		$30 \text{ km/h} < V_{\text{consigne}} \leq 70 \text{ km/h}$
	$d_{\text{visibilité}} > (d_{\text{sécuritéA}} + d_{\text{sécuritéB}})$	$d_{\text{visibilité}} \leq (d_{\text{sécuritéA}} + d_{\text{sécuritéB}})$	
	Aucune mesure particulière	Aucune mesure particulière si $V_{\text{choc totale}} \leq 15 \text{ km/h}$ B1 si $V_{\text{choc totale}} > 15 \text{ km/h}$	C1

COLLISION PAR CROISEMENT

1. Objet et portée de la fiche

Collision par croisement : Collision entre deux tramways d'itinéraires sécants sans aiguillage.



Dispositif de signalisation dynamique requis dans les cas suivants (cf Chapitre 4) :

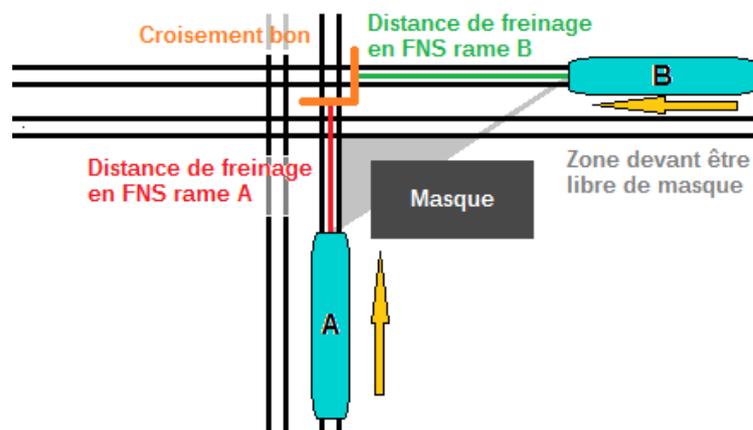
- Configurations avec perte de visibilité à distance de freinage
- $V_{\text{consigne}} > 20$ km/h (sans perte de visibilité à distance de freinage)

Portée de la fiche :

Cette fiche est à appliquer dès lors qu'il existe un risque de collision par croisement en mode nominal d'exploitation et qu'il existe une signalisation dynamique de gestion des circulations.

2. Termes spécifiques utilisés dans la fiche (cf Chapitre 3)

- Vitesse de consigne : vitesse de consigne la plus élevée au niveau des signaux
- Vitesse de sécurité : pour déterminer s'il y a ou non perte de visibilité à distance de freinage, il convient de localiser le masque de visibilité le plus proche par rapport aux distances de sécurité des tramways A et B.



- Vitesse de choc :

V_{choc} : vitesse résiduelle au croisement bon du tramway qui arrive le dernier sur la zone de conflit et qui a freiné au niveau du point de détection.

Pour déterminer le tramway qui arrive le dernier (celui qui « entre » en collision), on considère les tramways à leur signal respectif (ou l'un à son signal et l'autre au point lui permettant de se voir) circulant à leur vitesse de consigne.

Point de détection :

- En cas de masque au niveau de leur signal, les 2 scénarios suivants sont à étudier :
 - tramway A à son signal et tramway B au point permettant de voir le tramway A
 - tramway B à son signal et tramway A au point permettant de voir le tramway B
- S'il n'y a pas de masque au niveau de leur signal, alors les tramways sont positionnés à leur signal respectif

3. Arbre des causes « Système »

A) Indication libre à tort de la zone de gestion des circulations <u>ET</u> non-détection / non rattrapage par le conducteur
OU
B) Franchissement d'un signal restrictif par l'un des conducteurs <u>ET</u> non-détection / non rattrapage par le conducteur

4. Identification des paramètres influant sur la gravité (cf Chapitre 3)

- Zone d'exploitation avec / sans voyageurs
- Vitesse de circulation des tramways dans la zone
- Présence d'un risque extérieur dans l'environnement (dans l'hypothèse d'un sur-accident de type « déraillement »): tiers (piétons, cycles, VL), bâtiment, risque particulier (ouvrage ou obstacle « agressif », dénivellation,...)

Il est considéré que le critère « présence de voyageurs » prime sur l'environnement extérieur.

5. Matrices de gravité

Zone avec voyageurs	$V_{\text{consigne}} \leq 10 \text{ km/h}$	$10 \text{ km/h} < V_{\text{consigne}} \leq 30 \text{ km/h}$	$30 \text{ km/h} < V_{\text{consigne}} \leq 70 \text{ km/h}$
	G1	G1 si $V_{\text{choc}} = 0$ G2 si $0 < V_{\text{choc}} \leq 10 \text{ km/h}$ G3 si $10 \text{ km/h} < V_{\text{choc}} \leq 20 \text{ km/h}$ G4 si $V_{\text{choc}} > 20 \text{ km/h}$	G3 si $V_{\text{choc}} \leq 20 \text{ km/h}$ G4 si $V_{\text{choc}} > 20 \text{ km/h}$

Zone sans voyageurs	$V_{\text{consigne}} \leq 10 \text{ km/h}$	$10 \text{ km/h} < V_{\text{consigne}} \leq 70 \text{ km/h}$
	G1	G1 si $V_{\text{choc}} \leq 20 \text{ km/h}$ G3 si $V_{\text{choc}} > 20 \text{ km/h}$

6. Identification des paramètres influant sur l'occurrence (cf Chapitre 3)

- Visibilité dans la zone de manœuvre
- Vitesse de circulation des tramways dans la zone

7. Exigences techniques et fonctionnelles

a) Exemples de dispositions répondant aux différentes typologies de mesures

Typologie de mesure		Exemple(s)
Type [B]	B1	- rappel du signal de gestion des circulations - annonce du signal de gestion des circulations
Type [C]	C1	- signal d'alerte dynamique (flash) en cas de signal de gestion des circulations restrictif - signal d'alerte dynamique en cas de signal de gestion des circulations restrictif et de vitesse inadaptée pour s'arrêter avant ce signal
	C2	- signal d'alerte dynamique (flash+sirène) en cas de franchissement du signal de gestion des circulations restrictif

b) Matrices des exigences / mesures fonctionnelles

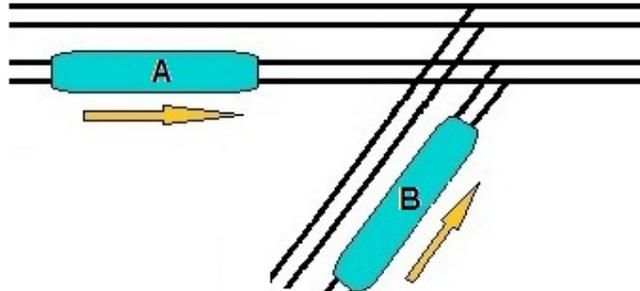
Zone avec voyageurs	$V_{\text{consigne}} \leq 10 \text{ km/h}$	$10 \text{ km/h} < V_{\text{consigne}} \leq 70 \text{ km/h}$
	Aucune mesure particulière	Aucune mesure particulière si $V_{\text{choc}} = 0$ B1 si $0 < V_{\text{choc}} \leq 10 \text{ km/h}$ C1 si $10 \text{ km/h} < V_{\text{choc}} \leq 20 \text{ km/h}$ C2 si $V_{\text{choc}} > 20 \text{ km/h}$
Zone sans voyageurs	$V_{\text{consigne}} \leq 10 \text{ km/h}$	$10 \text{ km/h} < V_{\text{consigne}} \leq 70 \text{ km/h}$
	Aucune mesure particulière	Aucune mesure particulière si $V_{\text{choc}} \leq 20 \text{ km/h}$ B1 si $V_{\text{choc}} > 20 \text{ km/h}$

Les exigences/mesures fonctionnelles exigées sont à positionner pour les deux sens de circulation en conflit.

COLLISION PAR PRISE EN ÉCHARPE

1. Objet et portée de la fiche

Collision par prise en écharpe : collision entre deux tramways dont les parcours convergent, la collision a lieu sur un aiguillage pris par le talon.



Dispositif de signalisation dynamique requis dans les cas suivants (cf Chapitre 4):

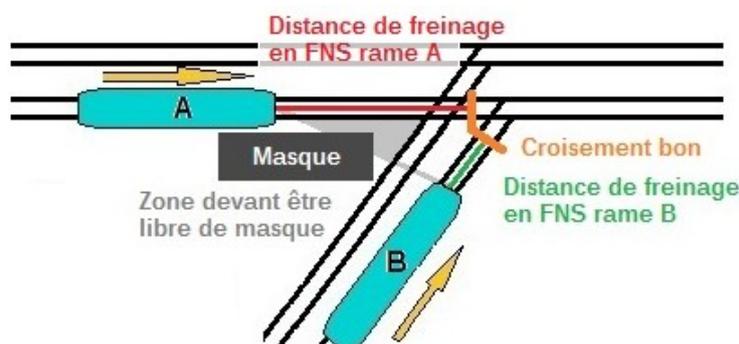
- Configurations avec perte de visibilité à distance de freinage
- $V_{\text{consigne}} > 20 \text{ km/h}$ (sans perte de visibilité à distance de freinage)

Portée de la fiche :

Cette fiche est à appliquer dès lors qu'il existe un risque de collision par prise en écharpe en mode nominal d'exploitation et qu'il existe une signalisation dynamique de gestion des circulations.

2. Termes spécifiques utilisés dans la fiche (cf Chapitre 3)

- Vitesse de consigne : vitesse de consigne la plus élevée au niveau des signaux (à priori vitesse au niveau du signal du tramway prenant l'aiguillage par le talon en voie directe).
- Vitesse de sécurité : pour déterminer s'il y a ou non perte de visibilité à distance de freinage, il convient de localiser le masque de visibilité le plus proche par rapport aux distances de sécurité des tramways A et B.



- Vitesse de choc : vitesse résiduelle au croisement bon du tramway qui arrive le dernier sur la zone de conflit et qui a freiné au niveau du point de détection.

Pour déterminer le tramway qui arrive le dernier (celui qui « entre » en collision), on considère les tramways à leur signal respectif (ou l'un à son signal et l'autre au point lui permettant de se voir) circulant à leur vitesse de consigne.

Point de détection :

- En cas de masque au niveau de leur signal, le tramway A est localisé à son signal et le tramway B au point permettant de voir le tramway A.
- S'il n'y a pas de masque au niveau de leur signal, alors les tramways sont positionnés à leurs signaux respectifs.

3. Arbre des causes « Système »

A) Autorisation de passage délivrée à tort ET non-détection / non rattrapage par le(s) conducteur(s)

OU

B) Franchissement d'un signal restrictif par le conducteur ET non-détection / non rattrapage par le(s) conducteur(s)

4. Identification des paramètres influant sur la gravité (cf Chapitre 3)

- Zone d'exploitation avec / sans voyageurs
- Vitesse de circulation des tramways dans la zone
- Présence d'un risque extérieur dans l'environnement (dans l'hypothèse d'un sur-accident de type « déraillement »): tiers (piétons, cycles, VL), bâtiment, risque particulier (ouvrage ou obstacle « agressif », dénivellation,...)

Il est considéré que le critère « présence de voyageurs » prime sur l'environnement extérieur.

5. Matrices de gravité

Zone avec voyageurs	$V_{\text{consigne}} \leq 10 \text{ km/h}$	$10 \text{ km/h} < V_{\text{consigne}} \leq 30 \text{ km/h}$	$30 \text{ km/h} < V_{\text{consigne}} \leq 70 \text{ km/h}$
	G1	G1 si $V_{\text{choc}} = 0$ G2 si $0 < V_{\text{choc}} \leq 10 \text{ km/h}$ G3 si $10 \text{ km/h} < V_{\text{choc}} \leq 20 \text{ km/h}$ G4 si $V_{\text{choc}} > 20 \text{ km/h}$	G3 si $V_{\text{choc}} \leq 20 \text{ km/h}$ G4 si $V_{\text{choc}} > 20 \text{ km/h}$

Zone sans voyageurs	$V_{\text{consigne}} \leq 10 \text{ km/h}$	$10 \text{ km/h} < V_{\text{consigne}} \leq 70 \text{ km/h}$
	G1	G1 si $V_{\text{choc}} \leq 20 \text{ km/h}$ G3 si $V_{\text{choc}} > 20 \text{ km/h}$

6. Identification des paramètres influant sur l'occurrence (cf Chapitre 3)

- Visibilité dans la zone de manœuvre
- Vitesse de circulation des tramways dans la zone

7. Exigences techniques et fonctionnelles

a) Exemples de dispositions répondant aux différentes typologies de mesures

Typologie de mesure		Exemple(s)
Type [B]	B1	- rappel du signal de gestion des circulations - annonce du signal de gestion des circulations
Type [C]	C1	- signal d'alerte dynamique (flash) en cas de signal de gestion des circulations restrictif - signal d'alerte dynamique en cas de signal de gestion des circulations restrictif et de vitesse inadaptée pour s'arrêter avant ce signal
	C2	- signal d'alerte dynamique (flash + sirène) en cas de franchissement du signal de gestion des circulations restrictif

b) Matrices des exigences / mesures fonctionnelles

Zone avec voyageurs	$V_{\text{consigne}} \leq 10 \text{ km/h}$	$10 \text{ km/h} < V_{\text{consigne}} \leq 70 \text{ km/h}$
	Aucune mesure particulière	Aucune mesure particulière si $V_{\text{choc}} = 0$ B1 si $0 < V_{\text{choc}} \leq 10 \text{ km/h}$ C1 si $10 \text{ km/h} < V_{\text{choc}} \leq 20 \text{ km/h}$ C2 si $V_{\text{choc}} > 20 \text{ km/h}$

Zone sans voyageurs	$V_{\text{consigne}} \leq 10 \text{ km/h}$	$10 \text{ km/h} < V_{\text{consigne}} \leq 70 \text{ km/h}$
	Aucune mesure particulière	Aucune mesure particulière si $V_{\text{choc}} \leq 20 \text{ km/h}$ B1 si $V_{\text{choc}} > 20 \text{ km/h}$

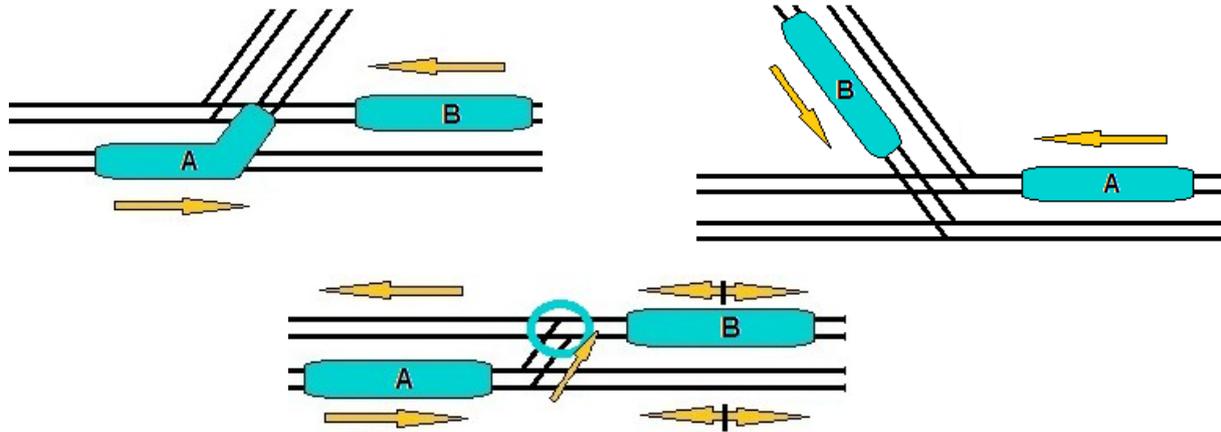
Les exigences/mesures fonctionnelles exigées sont à positionner pour les deux sens de circulation en conflit.

COLLISION PAR CISAILLEMENT

1. Objet et portée de la fiche

Collision par cisaillement : collision entre un tramway A empruntant un aiguillage par la pointe et un tramway B dont la trajectoire cisaille l'une des deux destinations possibles du tramway A.

Nota : dans certaines zones, le tramway B peut également avoir à emprunter un aiguillage en amont de la traversée oblique, les deux scénarios de cisaillement sont alors à prendre en compte pour V_{choc}



Dispositif de signalisation dynamique requis dans les cas suivants (cf Chapitre 4) :

- $V_{\text{consigne}} > 10\text{km/h}$

Portée de la fiche :

Cette fiche est à appliquer dès lors qu'il existe un risque de collision par cisaillement en mode nominal d'exploitation et qu'il existe une signalisation dynamique de gestion des circulations.

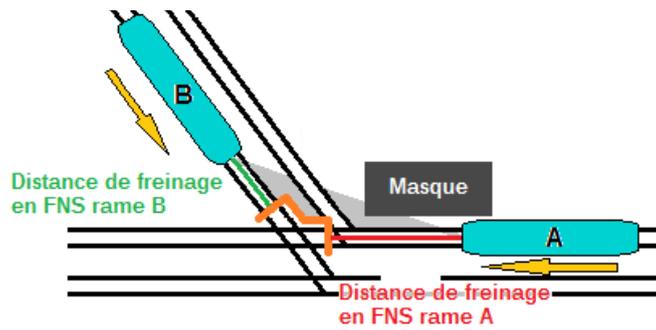
Par voie de conséquence, ne sont pas traités dans la présente fiche :

- le déraillement par survitesse → Voir fiche « déraillement par survitesse »
- le déraillement par mouvement-instabilité d'une aiguille sous le tramway → Voir fiche « déraillement par bi-voie » ;
- la collision entre tramways au niveau d'un croisement franc de lignes → Voir fiche « collision par croisement » ;
- la collision entre tramways par prise en écharpe (sauf cas particulier cité au Chapitre 9.2) → Voir fiche « collision par prise en écharpe »

2. Termes spécifiques utilisés dans la fiche (cf Chapitre 3)

- Vitesse de consigne : vitesse de consigne la plus élevée au niveau des signaux (a priori voie directe)

- Vitesse de sécurité : pour déterminer s'il y a ou non perte de visibilité à distance de freinage, il convient de localiser le masque de visibilité le plus proche par rapport aux distances de sécurité des tramways A et B.



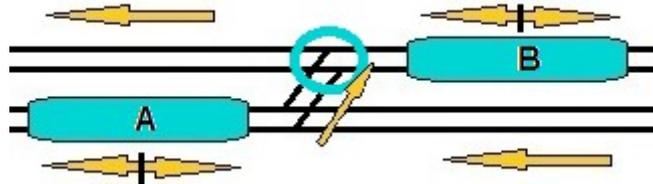
- Vitesse de choc : vitesse résiduelle au croisement bon du tramway qui arrive le dernier sur la zone de conflit et qui a freiné au niveau du point de détection. Le porte à faux du tramway A est à prendre en compte dans les calculs (valeur prise égale à 4 m).

Point de détection

Cas 1 : le seul itinéraire prévu pour le tramway A sur la zone est celui en conflit avec le tramway B

Le tramway A et le tramway B sont positionnés à leurs signaux (ou le tramway B au point permettant de voir le tramway A en cas de masque à leur signal).

Pour déterminer le tramway qui arrive le dernier sur la zone de conflit (celui qui « entre » en collision), on considère les tramways à leur signal respectif (ou l'un à son signal et l'autre au point lui permettant de se voir) et circulant à leur vitesse de consigne.

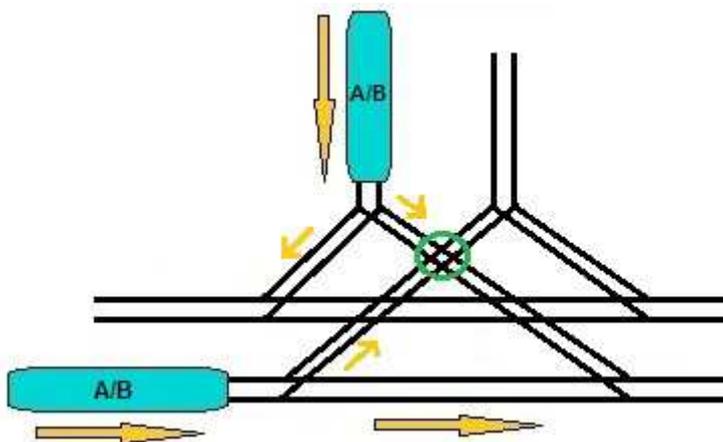


Cas 2 : autres cas (2 itinéraires prévus pour A ou que celui qui n'est pas en conflit avec B)

Le tramway A est localisé sur l'aiguille (avec $V_{consigne}$ la vitesse de consigne la plus élevée entre les vitesses de consigne des deux directions possibles de A) et le tramway B au niveau du point de conflit.

Le tramway A est considéré comme arrivant le dernier sur la zone de conflit.

Dans le cas où les deux tramways empruntent un aiguillage par la pointe, chaque tramway est à positionner en tant que tramway A, ce qui implique deux scénarios à étudier.



3. Arbre des causes « Système »

Une des particularités de cet accident potentiel est le fait que l'itinéraire du tramway empruntant l'appareil de voie par la pointe (tramway A) n'est pas connu du tramway ayant un itinéraire potentiellement incompatible (tramway B).

L'hypothèse d'une « boucle de rattrapage » par le conducteur dans le cadre du scénario de collision par cisaillement consécutive à un mouvement de l'appareil de voie après le franchissement de la signalisation n'est pas prise en compte, considérant notamment :

- la présence d'une indication de la position de l'aiguille délivrant les informations utiles au conducteur ;
- les différentes conditions d'exploitation (ex : périodes nocturnes, brouillard) qui rendent impossibles la détection de la position de l'aiguille en toutes circonstances.

Appareil de voie en position ne protégeant pas le conflit

ET

A) Indication libre à tort de la zone de gestion des circulations ET non détection / non rattrapage par le conducteur

OU

B) Franchissement d'un signal restrictif par l'un des conducteurs ET non détection / non rattrapage par le conducteur

OU

C) Mouvement de l'appareil de voie après le franchissement de la signalisation dynamique de la zone de gestion des circulations

4. Identification des paramètres influant sur la gravité (cf Chapitre 3)

- Zone d'exploitation avec / sans voyageurs
- Vitesse de circulation des tramways dans la zone
- Présence d'un risque extérieur dans l'environnement (dans l'hypothèse d'un sur-accident de type « déraillement ») : tiers (piétons, cycles, VL), bâtiment, risque particulier (ouvrage ou obstacle « agressif », dénivellation,...)

Il est considéré que le critère « présence de voyageurs » prime sur l'environnement extérieur.

5. Matrices de gravité

	$V_{\text{consigne}} \leq 10\text{km/h}$	$10\text{km/h} < V_{\text{consigne}} \leq 30\text{ km/h}$	$30\text{km/h} < V_{\text{consigne}} \leq 70\text{ km/h}$
Zone avec voyageurs	G1	G1 si $V_{\text{choc}} = 0$ G2 si $0 < V_{\text{choc}} \leq 10\text{km/h}$ G3 si $10\text{ km/h} < V_{\text{choc}} \leq 20\text{km/h}$ G4 si $V_{\text{choc}} > 20\text{km/h}$	G3 si $V_{\text{choc}} \leq 20\text{km/h}$ G4 si $V_{\text{choc}} > 20\text{km/h}$

	$V_{\text{consigne}} \leq 10\text{km/h}$	$10\text{km/h} < V_{\text{consigne}} \leq 70\text{ km/h}$
Zone sans voyageurs	G1	G1 si $V_{\text{choc}} \leq 20\text{km/h}$ G3 si $V_{\text{choc}} > 20\text{km/h}$

6. Identification des paramètres influant sur l'occurrence (cf Chapitre 3)

- Visibilité dans la zone de manœuvre
- Vitesse de circulation des tramways dans la zone

7. Exigences techniques et fonctionnelles

a) Exemples de dispositions répondant aux différentes typologies de mesures

Typologie de mesure		Exemple(s)
Type [A]	A1	- tracé permanent dans la position la plus sûre - commande automatique dans la position la plus sûre / commande manuelle dans la position la moins sûre - « simple » commande dans la position la plus sûre / « double » commande pour la position la moins sûre - commande PCC pour la position la moins sûre - commande à pied d'œuvre (boîtier secours) pour la position la moins sûre
	A2	- mise en protection de l'appareil de voie ; - retour automatique de l'appareil de voie dans la position la plus sûre ;
Type [B]	B1	- rappel du signal de gestion des circulations - annonce du signal de gestion des circulations
Type [C]	C2	- signal d'alerte dynamique (flash + sirène) en cas de franchissement du signal de gestion des circulations restrictif

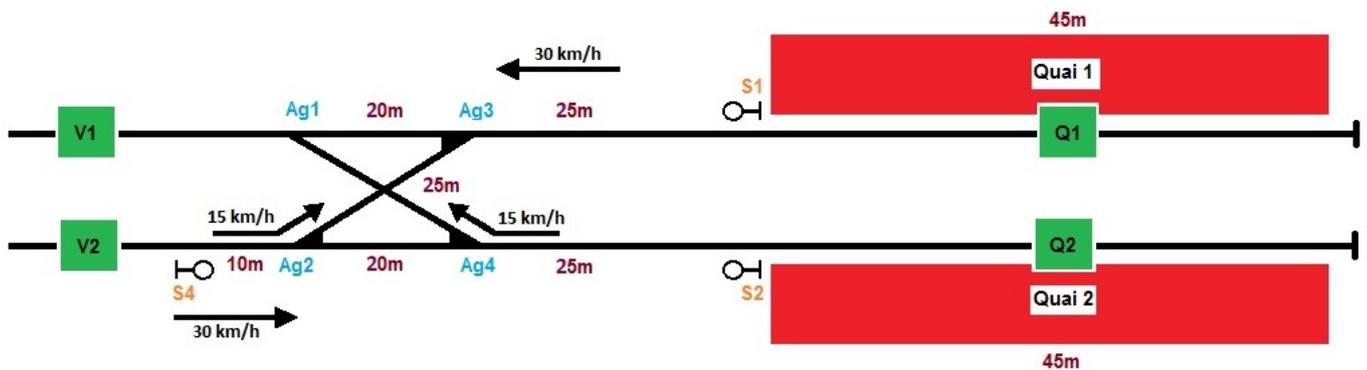
b) Matrices des exigences / mesures fonctionnelles

	$V_{\text{consigne}} \leq 10 \text{ km/h}$	$10 \text{ km/h} < V_{\text{consigne}} \leq 30 \text{ km/h}$	$30 \text{ km/h} < V_{\text{consigne}} \leq 70 \text{ km/h}$
Zone avec voyageurs	Aucune mesure particulière	Aucune mesure particulière si $V_{\text{choc}} = 0$ A1 si $0 < V_{\text{choc}} \leq 10 \text{ km/h}$ A2 si $V_{\text{choc}} > 10 \text{ km/h}$	A2 si $V_{\text{choc}} \leq 20 \text{ km/h}$ A2 + C2 si $V_{\text{choc}} > 20 \text{ km/h}$

	$V_{\text{consigne}} \leq 10 \text{ km/h}$	$10 \text{ km/h} < V_{\text{consigne}} \leq 70 \text{ km/h}$
Zone sans voyageurs	Aucune mesure particulière	Aucune mesure particulière si $V_{\text{choc}} \leq 20 \text{ km/h}$ B1 si $V_{\text{choc}} > 20 \text{ km/h}$

Les exigences/mesures fonctionnelles exigées sont à positionner pour les deux sens de circulation en conflit.

Annexe B – Exemple d'application du guide sur une communication croisée en avant-gare



Hypothèses :

- Tramway fer
- Appareils de voies motorisés sauf Ag1 (aiguilles non verrouillées)
- Vitesses de consigne : 30 km/h sauf pour les aiguilles prises par la pointe en voie déviée franchies à 15 km/h
- Vitesse critique pour le franchissement des appareils de voie : 25 km/h
- Porte-à-faux d'une valeur de 4 m
- Pas de perte de visibilité à distance de freinage sur la zone
- Voirie contiguë (plate-forme en axial)
- Traversées piétonnes accolées à la station (de part et d'autre de chaque quai)

Mouvements programmés sur la zone :

- V2 → Q1
- V2 → Q2
- Q1 → V1
- Q2 → V1

*Nota : un tramway effectuant le parcours Q1 → V2 est pris en compte car cet itinéraire est possible même s'il n'est pas programmé sur la zone (absence de commande de parcours Q1 → V1 après avoir effectué V2 → Q1). Ce parcours est suivi d'une * pour le différencier dans la suite de l'exemple.*

Étape 1 : détermination des accidents potentiels présents sur la zone

Accidents potentiels de type déraillement

- Survitesse : Ag2 ($V_{\text{consigne max}} = 30\text{km/h} > V_{\text{critique}}$) et Ag3 ($V_{\text{consigne max}} = 30\text{km/h} > V_{\text{critique}}$)

Le déraillement par survitesse n'est pas à étudier dans le cas d'Ag4, car le parcours programmé sur la zone est celui où Ag4 est en voie déviée. Ainsi, il n'y a qu'une seule vitesse de consigne pour le franchissement d'Ag4 ($V_{\text{consigne}} = 15\text{km/h}$), qui est en-dessous de la vitesse critique.

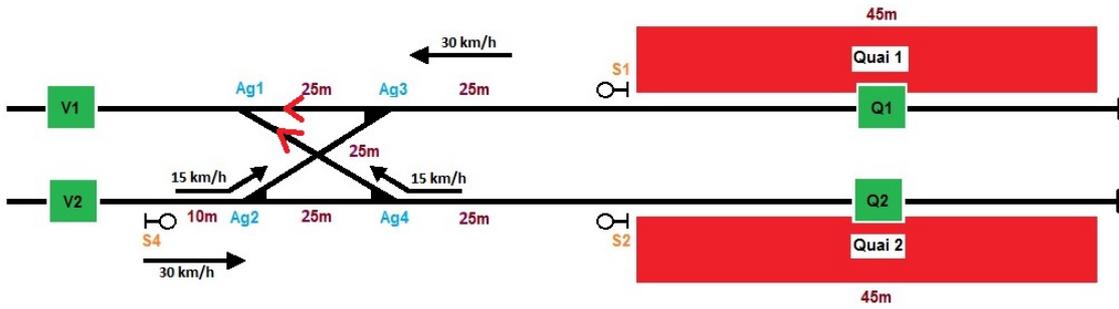
- Bi-voie : Ag2, Ag3 et Ag4 (appareils de voie motorisés pris en pointe)

Le déraillement par talonnage n'est pas étudié s'agissant d'appareils de voie motorisés non verrouillés et talonnables « accidentellement » sans conduire au déraillement d'une rame.

Accidents potentiels de type collision

- **Prise en écharpe :**

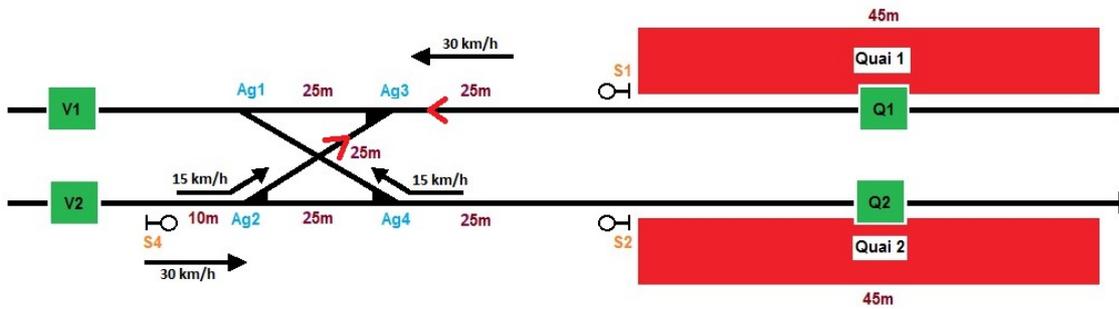
Q2 → V1 et Q1 → V1



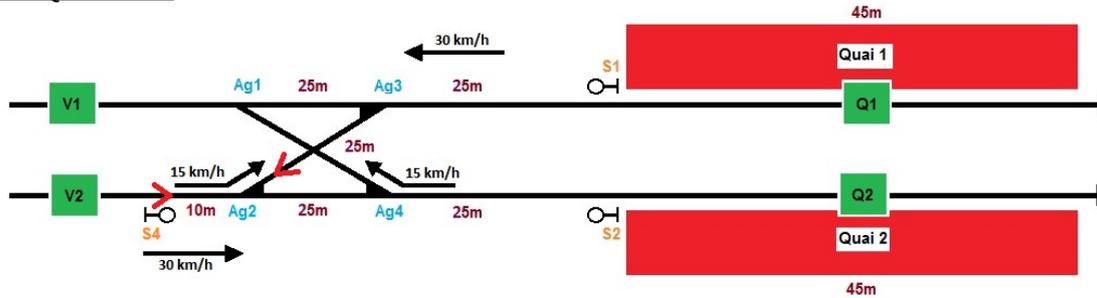
- **Cisaillement :**

Cf. 9.2 Cas particulier de la convergence de voies avec une aiguille prise en pointe en amont : lorsqu'il n'est pas possible de déterminer précisément la typologie de la collision entre tramways (mettant en cause un aiguillage pris par la pointe), la fiche collision par cisaillement s'applique par défaut.

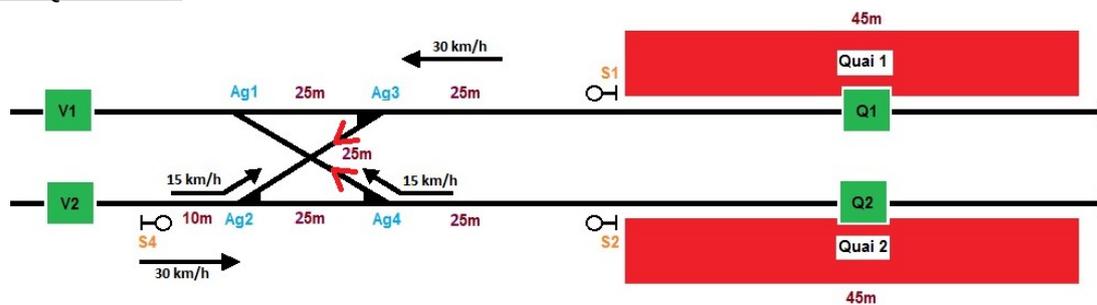
V2 → Q1 et Q1 → V1



V2 → Q2 et Q1 → V2*



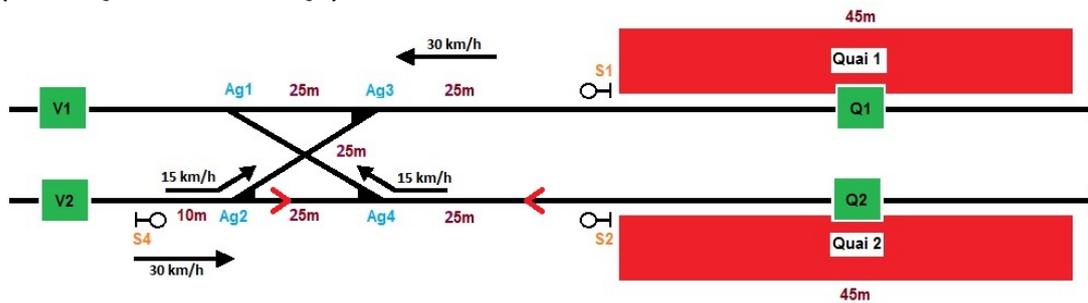
Q2 → V1 et Q1 → V2*



Nota : Un mouvement simultané de rames en provenance de V2 et de Q2 sera systématiquement perçu comme une situation dangereuse ; les parcours de ces rames étant incompatibles. L'accident potentiel associé qui est étudié est la collision par nez-à-nez.

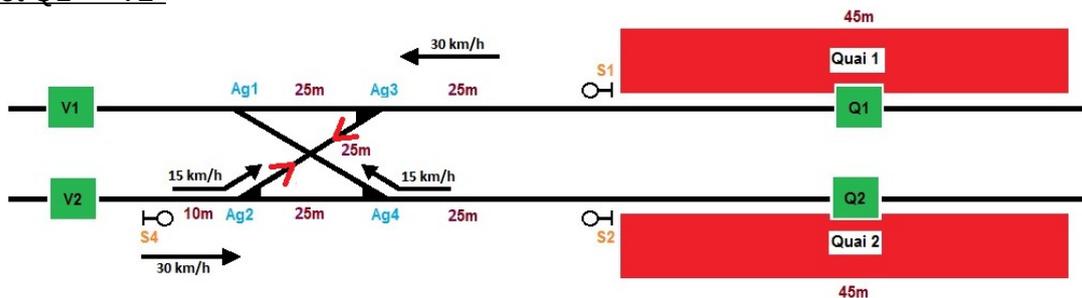
- **Nez-à-nez :**

Tiroir Q2 (V2 → Q2 et sortie de Q2)



Nota : étant donné les distances entre Ag2 et le point de remisage en Q1 (50m), l'accident potentiel nez-à-nez au niveau du tiroir Q1 n'est pas pris en compte. Les accidents potentiels étudiés pour cet itinéraire sont la collision par cisaillement sur Ag3 (V2 → Q1 et Q1 → V1), ou la collision par nez-à-nez V2 → Q1 et Q1 → V2*.

V2 → Q1 et Q1 → V2*



En l'absence de perte de visibilité à distance de freinage sur zone, il n'est pas identifié d'autres accidents potentiels à étudier pour la suite.

Étape 2 : un dispositif de signalisation dynamique est-il requis ?

(cf. 4. Situations/configurations imposant la mise en place d'un dispositif de signalisation dynamique)

Accidents potentiels de type déraillement

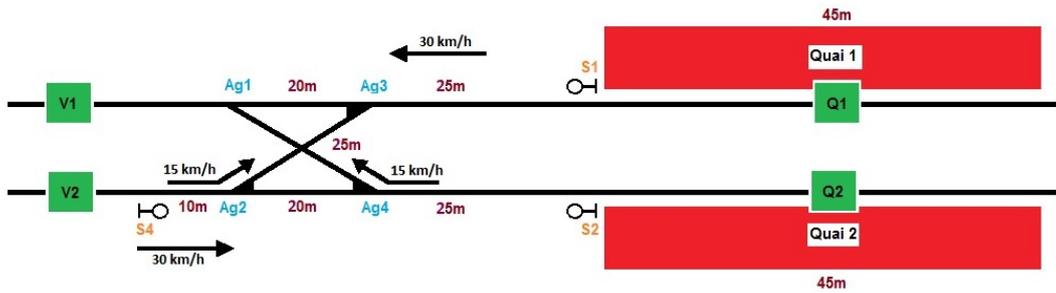
- SGA pour Ag2, Ag3 et Ag4 (appareils de voie motorisés pris en pointe)

Accidents potentiels de type collision

- **Cisaillement** : SGC pour V2 → Q1 et Q1 → V1 ($V_{\text{consigne max}} = 30\text{km/h} > 10\text{km/h}$);
SGC pour V2 → Q2 et Q1 → V2* ($V_{\text{consigne max}} = 30\text{km/h} > 10\text{km/h}$);
SGC pour Q2 → V1 et Q1 → V2* ($V_{\text{consigne max}} = 30\text{km/h} > 10\text{km/h}$);
- **Prise en écharpe** : SGC pour Q2 → V1 et Q1 → V1 ;
($V_{\text{consigne prise en compte}} = 30\text{km/h} > 20\text{km/h}$: la vitesse du tramway effectuant le parcours Q1 → V1 atteint 30 km/h au niveau de Ag1 (accélération prise égale à 1,2 m/s²) (cf. 3.2.4))
- **Nez-à-nez** : pas de SGC exigé pour le tiroir Q2 ($V_{\text{consigne}} \leq 30\text{km/h}$ et $L \leq 200\text{m}$) ;
pas de SGC exigé pour V2 → Q1 et Q1 → V2* ($V_{\text{consigne}} \leq 30\text{km/h}$ et $L \leq 200\text{m}$).

Étape 3 : détermination des niveaux de gravité

(cf. 9 Fiches à appliquer pour les zones équipées d'un dispositif de signalisation dynamique)



Déraillement par survitesse

Ag2 : présence de risques extérieurs (tiers à proximité) et $V_{consigne} = 30 \text{ km/h} \rightarrow G3$

Ag3 : présence de risques extérieurs (tiers à proximité) et $V_{consigne} = 28 \text{ km/h} \rightarrow G3$

Nota : la valeur de $V_{consigne}$ à 28 km/h est obtenue en considérant l'accélération du tramway à $1,2 \text{ m/s}^2$ de son point d'arrêt à quai jusqu'à Ag3 (cf. 3.2.4).

Déraillement par bi-voie

Ag2 : présence de risques extérieurs (tiers à proximité) et $V_{consigne} = 30 \text{ km/h} \rightarrow G3$

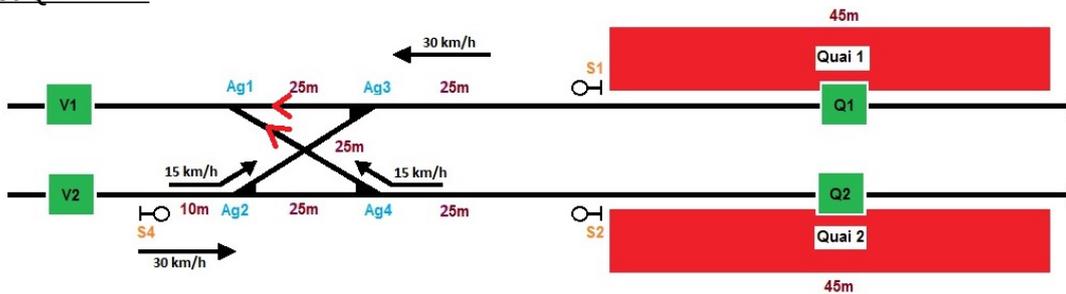
Ag3 : présence de risques extérieurs (tiers à proximité) et $V_{consigne} = 28 \text{ km/h} \rightarrow G3$

Ag4 : présence de risques extérieurs (tiers à proximité) et $V_{consigne} = 15 \text{ km/h} \rightarrow G2$

Nota : la valeur de $V_{consigne}$ à 28 km/h est obtenue en considérant l'accélération du tramway à $1,2 \text{ m/s}^2$ de son point d'arrêt à quai jusqu'à Ag3 (cf. 3.2.4).

Collision par prise en écharpe

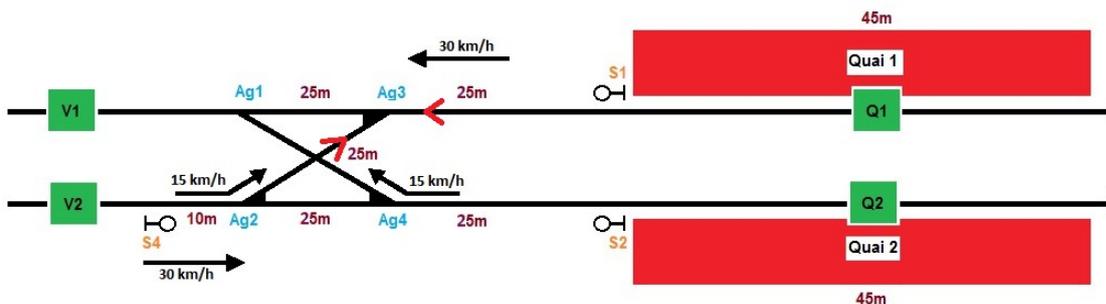
Q2 → V1 et Q1 → V1



L'itinéraire Q2 → V2 n'étant pas autorisé, les tramways se rendent compte qu'ils vont être en conflit au niveau de leurs signaux → $V_{choc} = 0 \rightarrow G1$

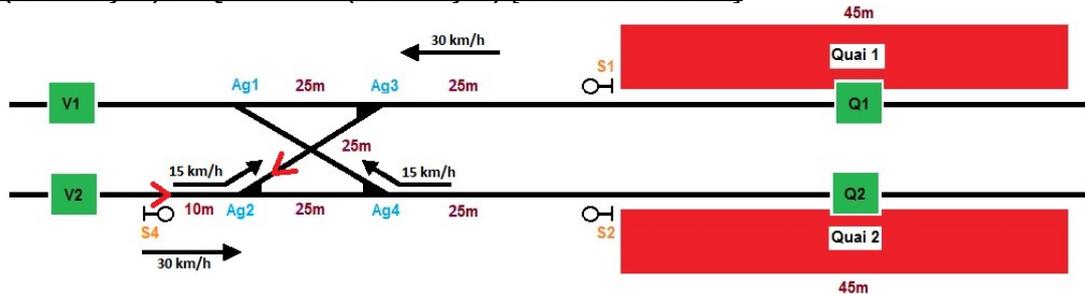
Collision par cisaillement

V2 → Q1 (tramway A) et Q1 → V1 (tramway B) [cas 2 de la fiche]



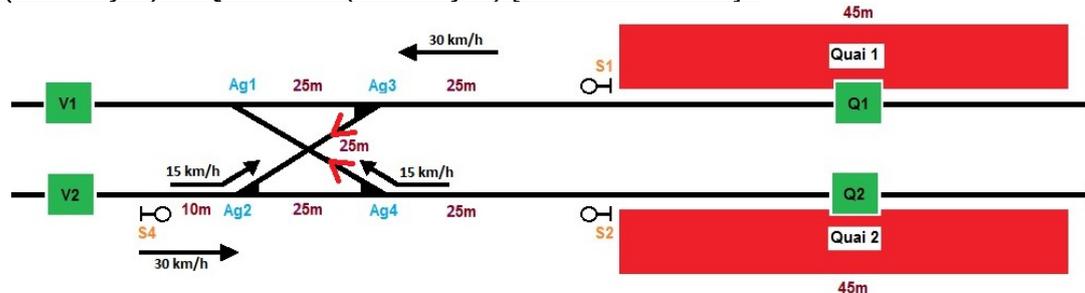
Le tramway A franchit son signal à tort et pense aller en voie directe. Compte tenu de la vitesse de consigne de 30 km/h, il déraile sur Ag2 → ce scénario est traité par l'accident potentiel déraillement par survitesse sur Ag2 → G3.

V2 → Q2 (tramway B) et Q1 → V2* (tramway A) [cas 2 de la fiche]



Le tramway A est positionné sur Ag3 et le tramway B positionné au niveau du point de conflit (sur Ag2). Dans ce cas, c'est le tramway A qui est considéré comme arrivant le dernier au point de conflit et entrant en collision avec le tramway B. La vitesse de choc se calcule donc à partir de $V_{\text{consigne}} = 28 \text{ km/h}$ (vitesse du tramway A sur Ag3 en considérant une accélération de $1,2 \text{ m/s}^2$), ce qui donne $V_{\text{choc}} = 10,5 \text{ km/h}$ en prenant en compte le porte-à-faux du tramway A (4m) au moment où il enclenche son freinage → G3.

Q2 → V1 (tramway A) et Q1 → V2* (tramway B) [cas 1 de la fiche] :



Le tramway A est positionné en S2 et le tramway B est positionné en S1. Comme ils sont localisés en station, ils détectent immédiatement la situation dangereuse → $V_{\text{choc}} = 0$ → G1

Nota : le cas symétrique (en inversant tramway A et B serait à étudier), mais la configuration étant symétrique d'un point de vue des distances, l'étude d'un seul cas suffit.

Collision par nez-à-nez

En l'absence de perte de visibilité à distance de freinage sur zone et compte tenu de la vitesse de consigne égale à 30km/h le niveau de gravité est G1.

Étape 4 - détermination des niveaux de sécurité pour les dispositifs de signalisation dynamique

(cf. 7. Spécifications de besoins sur le plan de la sécurité pour les zones équipées d'un dispositif de signalisation dynamique)

Signalisation dynamique de gestion des aiguilles (SGA)

Vis-à-vis de Ag2 et Ag3, l'accident potentiel déraillement par survitesse induit un niveau SIL3 pour les fonctions de sécurité associées, de même pour l'accident potentiel déraillement par bi-voie.

Vis-à-vis de Ag4, l'accident potentiel déraillement par bi-voie induit un niveau SIL2 pour les fonctions de sécurité associées.

Sur la zone de manœuvre étudiée, le niveau de sécurité à atteindre pour les fonctions FS1 (gérer le mouvement des aiguilles) et FS3 (gérer l'affichage de la position des aiguilles) est SIL3.

Signalisation dynamique de gestion des circulations (SGC)

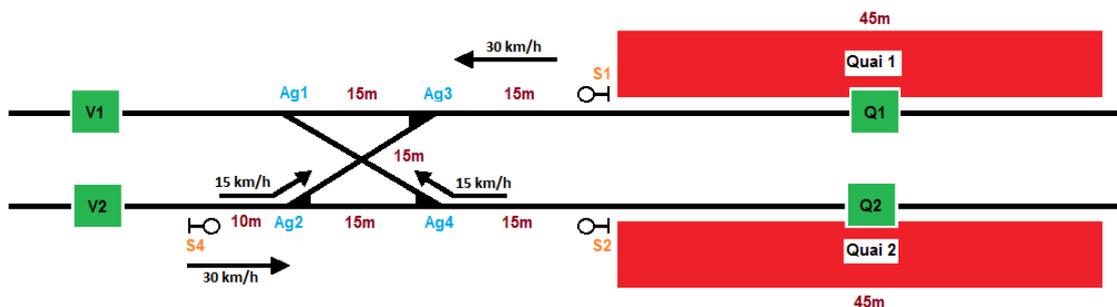
Les accidents potentiels de type collision par cisaillement induisent un niveau SIL1 ou SIL3 pour les fonctions de sécurité associées (suivant les rames en conflit étudiées).

L'accident potentiel collision par prise en écharpe induit un niveau SIL1 pour les fonctions de sécurité associées.

L'accident potentiel collision par nez-à-nez induit un niveau SIL1 pour les fonctions de sécurité associées.

Sur la zone de manœuvre étudiée, le niveau de sécurité à atteindre pour la fonction FS6 (gérer l'affichage des autorisations de mouvement des tramways) est SIL3.

Étape 5 - détermination des mesures de prévention/rattrapage



Déraillement par survitesse

Ag2 : présence de risques extérieurs (tiers à proximité) et $V_{\text{consigne}} = 30 \text{ km/h}$ → mesure de type A1 + autre (ex. : commande automatique Ag2 voie directe + retour automatique Ag2 en voie directe)

Ag3 : présence de risques extérieurs (tiers à proximité) et $V_{\text{consigne}} = 28 \text{ km/h}$ → mesure de type A1 + autre (ex. : commande automatique Ag3 voie directe + retour automatique Ag3 en voie directe)

Déraillement par bi-voie

Ag2 : présence de risques extérieurs (tiers à proximité) et $V_{\text{consigne}} = 30 \text{ km/h}$ → pas de mesure

Ag3 : présence de risques extérieurs (tiers à proximité) et $V_{\text{consigne}} = 28 \text{ km/h}$ → pas de mesure

Ag4 : présence de risques extérieurs (tiers à proximité) et $V_{\text{consigne}} = 15 \text{ km/h}$ → pas de mesure

Collision par prise en écharpe

$Q2 \rightarrow V1$ et $Q1 \rightarrow V1$

L'itinéraire $Q2 \rightarrow V2$ n'étant pas autorisé, les tramways se rendent compte qu'ils vont être en conflit au niveau de leurs signaux → $V_{\text{choc}} = 0$ → pas de mesure

Collision par cisaillement

$V2 \rightarrow Q1$ (tramway A) et $Q1 \rightarrow V1$ (tramway B) [cas 2 de la fiche] :

Ce scénario est traité par l'accident potentiel déraillement par survitesse sur Ag2 → mesure de type A1 + autre (ex. : commande automatique Ag2 voie directe + retour automatique Ag2 en voie directe)

$V2 \rightarrow Q2$ (tramway B) et $Q1 \rightarrow V2^*$ (tramway A) [cas 2 de la fiche] :

$V_{\text{consigne}} = 30 \text{ km/h}$ et $V_{\text{choc}} = 10,5 \text{ km/h}$ → mesure de type A2 (ex. : retour automatique Ag3 en voie directe).

$Q2 \rightarrow V1$ (tramway A) et $Q1 \rightarrow V2^*$ (tramway B) [cas 1 de la fiche] :

$V_{\text{consigne}} = 30 \text{ km/h}$ et $V_{\text{choc}} = 0$ → pas de mesure

Annexe C – Glossaire

Accident : événement ou série d'événements conduisant au décès ou à des blessures, à la perte d'un système ou d'un service, ou à des dommages à l'environnement. (Ref. : norme EN 50126-1 : 2017)
Dans le présent guide, on retiendra la définition suivante limitée aux enjeux STPG : événement ou série d'événements conduisant au décès ou à des blessures parmi les personnes transportées ou les tiers.

Accident potentiel : accident ou quasi-accident.

Aiguillage, aiguille ou appareil de voie : élément de voie qui permet d'assurer le support et le guidage d'un véhicule sur un itinéraire donné, lorsque d'autres itinéraires en divergent ou le traversent (NF EN 13232).

Dans le présent guide, sont dénommés sous le terme « appareil de voie » ou « aiguillage », les appareils de voie de type « branchement » permettant le passage du matériel roulant suivant 2 itinéraires à partir d'une branche commune.

Aiguillage talonnable : un aiguillage est dit talonnable lorsqu'il est franchissable dans le sens talon-pointe même si l'aiguille n'est pas disposée dans la bonne direction.

Aiguillage talonnable non renversable : aiguillage talonnable, qui revient dans sa position initiale après talonnage par le tramway.

Aiguillage talonnable renversable : aiguillage talonnable, qui reste dans la position imposée par le passage du tramway par le talon.

Conduite à vue : principe de conduite adopté par le conducteur de tramway, qui adapte sa vitesse et conditionne son rythme de conduite à ce qu'il voit.

Danger : condition pouvant conduire à un accident. (Ref.: norme EN 50126-1:2017)

Exploitation en situation normale (mode nominal) : l'exploitation du système de transport dans les conditions normales prévues par le règlement de sécurité de l'exploitation (cf article 1 de l'arrêté du 23 mai 2003 modifié relatif aux dossiers de sécurité des systèmes de transport public guidés urbains).

Exploitation en situation particulière (mode particulier) : l'exploitation du système de transport lorsque, à la suite d'une action volontaire et planifiée de l'exploitant, une ou plusieurs des conditions nominales prévues au règlement de sécurité de l'exploitation ne sont pas remplies (cf article 1 de l'arrêté du 23 mai 2003 modifié relatif aux dossiers de sécurité des systèmes de transport public guidés urbains).

Exploitation en situation dégradée (mode dégradé) : l'exploitation pour une courte durée du système de transport dont un ou plusieurs équipements de sécurité sont indisponibles (cf article 1 de l'arrêté du 23 mai 2003 modifié relatif aux dossiers de sécurité des systèmes de transport public guidés urbains).

Garage franc ou croisement bon : point sur la voie au-delà duquel 2 tramways ne peuvent être simultanément sur 2 voies sécantes ou se rejoignant sur une branche commune sans entrer en collision (engagement du GLO).

Placage de l'aiguille : absence d'entrebâillement (jeu) entre aiguille et contre-aiguille au droit de la pointe de l'aiguille.

Quasi-accident : événement ou série d'événements qui aurait pu dans d'autres circonstances conduire au décès ou à des blessures parmi les personnes transportées ou les tiers.

Risque : combinaison de la fréquence attendue d'une perte et du degré de gravité attendu de cette perte. (Ref. : norme EN 50126-1:2017)

Au sens du présent guide, les pertes prises en compte sont celles pouvant impliquer des dommages aux personnes transportées ou aux tiers.

Verrouillage de l'aiguille : système s'opposant à tout déplacement non voulu des parties mobiles de l'appareil de voie au passage du tramway.

Zone de manœuvre : portion de voies présentant une aiguille, une traversée d'une autre voie tramway, une exploitation à double sens sur voie unique ou voies entrelacées ou une perte de visibilité à distance de freinage (incluant les configurations pour lesquelles le seuil de conduite à vue n'est plus crédible).

Annexe D – Principaux sigles utilisés

AdV : Appareil de voie

AOM : Autorité organisatrice de la mobilité

CDM : Centre de maintenance

DAAT : Dispositif d'arrêt automatique du train

EPE : Enregistreur des paramètres d'exploitation

FNS : Freinage normal de service (défini selon les spécifications de la norme NF EN 13452-1)

FU : Freinage d'urgence (défini selon les spécifications du FU3 de la norme NF EN 13452-1)

GAME : Globalement au moins équivalent (au sens de l'article 3 du décret n°2017-440 modifié)

GLO : Gabarit limite d'obstacle

INDIR : Indicateur de direction (position de l'aiguille)

MOA : Maîtrise d'ouvrage

MOE : Maîtrise d'œuvre

OA : Ouvrage d'art

OQA : Organisme qualifié agréé ou accrédité

R17/R18 : Signaux pour véhicules de services réguliers de transport en commun (selon 6^{ème} partie de l'instruction interministérielle sur la signalisation routière)

PCC : Poste de commande centralisé

REX : Retour d'expérience

RSE : Règlement de sécurité de l'exploitation

SAP : Signal d'autorisation de parcours

SGA : Signalisation dynamique de gestion des aiguilles

SGC : Signalisation dynamique de gestion des circulations

SGE : Signalisation dynamique de gestion de l'espacement

SIL : Safety integrity level

SigF : Signalisation ferroviaire

SLT : Signalisation lumineuse de trafic

STPG : Sécurité des transports publics guidés

STRMTG : Service technique des remontées mécaniques et transports guidés

THR : Tolerable hazard rate, taux d'occurrence d'une défaillance dangereuse

TIV : Tableau indicateur de vitesse

Annexe E – 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.

La version 1 du présent document a été élaborée par le groupe de travail national conception des zones de manœuvre mis en place par le STRMTG.

Pilotes : A. De Labonnefon – STRMTG – Bureau Sud-Est
A. Guesset – STRMTG – Division Tramways
M. Blancheton – STRMTG – Division Tramways

Secrétaires : M. Blancheton – STRMTG – Division Tramways
G. Santarromana – STRMTG – Bureau Sud-Est

M.	Abkoui El-Mehdi	BUREAU VERITAS
M.	Blachet Thierry	RATP
M.	Boucault Julien	STRMTG-BNO/DSTG
Mme	Bouchereau Ana-Paula	CERTIFER
M.	Bouille Jocelyn	SECTOR
M.	Brion Emmanuel	SEMITAG
M.	Brunet Stéphane	TWISTO
M.	Chauvin Benoît	GART
M.	Chokomert Philippe	UTP
Mme	Chrun Sandrine	SETEC ITS
M.	Colignon Pierre	RATP
M.	Cronier Olivier	RLA
M.	Cruz François	KEOLIS LYON
M.	Dadou Frédéric	SYTRAL
M.	De Sainte Maresville Vincent	KEOLIS
M.	Denepoux Claude	LIGERON
M.	Dupont Jean-Michel	TWISTO
Mme	Escargueil Marion	STRMTG-BNO/DSTG
M.	Farizon Gérard	EGIS RAIL
M.	Gaufreteau Philippe	EGIS RAIL
M.	Gibard Philippe	INGEROP
M.	Giraud Alain	TAM
M.	Gomas Antoine	EDEIS
M.	Grattard Régis	UTP
M.	Gratton Eric	EDEIS
M.	Grelier Thibault	EDEIS
Mme.	Guesdon Sylvie	RATP
Mme	Jegu Stéphanie	UTP
M.	Juteau Guillaume	SYSTRA
M.	Larnicol Olivier	SEMITAN

M.	Leclere Philippe	CTS
M.	Mesnager Renaud	CERTIFER
M.	Miglioretti Gérard	LIGERON
M.	Montedori Alain	SEMITAG
M.	Negrier Philippe	SYTRAL
M.	Paysan Sébastien	STIF
M.	Ponton Julien	STRMTG-BNO/DSTG
M.	Ricci Yvan	RLA
M.	Rohr Guillaume	STRMTG-BSO
M.	Sautel Christian	STIF
Mme	Scaglione Barbara	BUREAU VERITAS
M.	Seimbille Denis	SETEC ITS
M.	Silvestre Christophe	RLA
M.	Wajs Jérémie	SYSTRA
Mme	Zhao Linda	SECTOR



**Service Technique des Remontées Mécaniques et des Transports Guidés
STRMTG**

1461 rue de la piscine - Domaine Universitaire
38400 Saint Martin d'Hères
Tél : 33 (04) 76 63 78 78
strmtg@developpement-durable.gouv.fr



www.strmtg.developpement-durable.gouv.fr



**MINISTÈRE
CHARGÉ
DES TRANSPORTS**

*Liberté
Égalité
Fraternité*