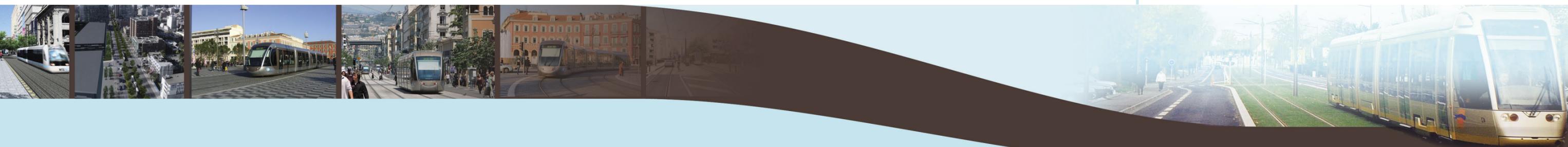




TRAMWAY de Montréal

PHASE 1
Analyse du réseau initial de tramways



PHASE 1 – ANALYSE DU RÉSEAU INITIAL DE TRAMWAYS

Volume C2 – Hypothèses de conception

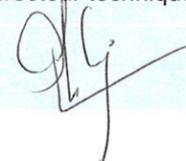
Tramway de Montréal

24 juillet 2009

090802	20	B1	ALL	RAP	CGS	10	2.0
Projet	Phase	Livable	Lieu.	Forme	Émetteur	Numéro	Version



SIGNATURES

	Rédigé par	Vérifié par	Validé par	Approuvé par
Prénom, Nom	Vincent Ermatinger, ing. (OIQ 140097)	Philippe Grisez	Philippe Grisez	Pierre-André Dugas, ing. (OIQ 25694)
Fonction	Responsable pôle planification	Directeur technique	Directeur technique	Directeur de projet
Signature				

VERSIONS

Version	Date	Nature du document
v1.0	2009-04-03	Pour avis
v2.0	2009-07-24	Rapport final

Référence complète

Consortium GENIVAR - SYSTRA (2009) PHASE 1 – ANALYSE DU RÉSEAU INITIAL DE TRAMWAYS,
Volume C2 – Hypothèses de conception
Pour la Ville de Montréal, Montréal, 38 pages et annexes.

P:\Montreal\M1140XX\M114012\01-Structure\20 Phase 1\C Etudes générales\C2 Hypothèses de conception\25-Brouillons\090802_20_C2_ALL_RAP_CGS_00_Hypothèses
concept_v2.0-20090724.doc

SOMMAIRE GÉNÉRAL DES VOLUMES

- VOLUME A – SYNTHÈSE – LE TRAMWAY DE MONTRÉAL – PRÉSENTATION DU PROJET
- B – OBJECTIFS GÉNÉRAUX
 - VOLUME B1 – COÛTS DU PROJET
 - VOLUME B2 – CALENDRIER DU PROJET
 - VOLUME B3 – IDENTIFICATION DES DANGERS
- C – ÉTUDES GÉNÉRALES
 - VOLUME C1 – EXPLOITATION DU SYSTÈME DE TRANSPORT
 - VOLUME C2 – HYPOTHÈSES DE CONCEPTION**
 - C3 – PLANIFICATION DES TRANSPORTS
 - PARTIE I – DIAGNOSTIC DES DÉPLACEMENTS
 - PARTIE II – ORGANISATION DU RÉSEAU INITIAL DE TRAMWAYS
 - PARTIE III – IDENTIFICATION DE LA PREMIÈRE LIGNE
- F – SYSTÈMES
 - VOLUME F1 – MATÉRIEL ROULANT
- Y – ASSISTANCE AU CLIENT
 - VOLUME Y1 – STRATÉGIE D'ACHAT
 - VOLUME Y2 – COMMUNICATION
- Z – GESTION DE PROJET
 - VOLUME Z1 – PLAN DE GESTION DU PROJET
 - VOLUME Z2 – PLAN D'ASSURANCE QUALITÉ

PRÉAMBULE

Ce document constitue le volume C2 – Hypothèses de conception des études de faisabilité du réseau initial de tramway de Montréal.

Il s'insère dans le cadre plus large des études générales (rubrique C), dont il représente l'un des thèmes. Les études générales abordent des problématiques transversales à toutes les disciplines techniques impliquées dans l'élaboration du projet, problématiques qui cadrent le processus de conception.

Le volume C2 rassemble les hypothèses d'études générales applicables à tous les domaines techniques. Les hypothèses spécifiques à un domaine technique sont formulées dans le volume dédié à ce domaine.

Le volume C2 est constitué de 2 parties :

- la 1ère partie – A : "Référentiel normatif de la phase 1 du projet" liste les textes utilisés durant cette phase de conception ;
- la 2ème partie – B : "Données météorologiques" rassemble les informations pertinentes utilisées durant la phase 1, principalement relatives à la neige ;
- la 3ème partie – C : "tracé des voies" énonce les hypothèses de conception du tracé des voies ferrées, en plan et en profil en long, et précise certaines dispositions particulières applicables aux stations, zones de manœuvre, ouvrages d'art, etc. ;
- la 4ème partie – D définit les contraintes liées au gabarit du matériel roulant et le dimensionnement de la plateforme tramway associée : il concerne ainsi tous les domaines impliqués dans l'élaboration de l'insertion.
- la 5ème partie – E : "Gabarits des éléments de voirie" définit les gabarits géométriques des différents éléments constituant la voirie;
- la 6ème partie – F : "Gestion des conflits" définit les principes de la gestion des conflits entre le tramway et la circulation.

SYNTHÈSE

Objet du document

Le volume rassemble les hypothèses d'études générales applicables à tous les domaines techniques. Les hypothèses spécifiques à un domaine technique sont formulées dans le volume dédié à ce domaine.

Référentiel normatif

Le référentiel nord américain est utilisé partout où il est applicable et il est complété en cas de besoins par le dispositif normatif européen ou français.

En phase 1, les thèmes techniques abordés sont très peu nombreux : insertion urbaine / contraintes de déneigement, accessibilité des personnes à mobilité réduite et analyse des risques.

On trouvera les textes appliqués dans le corps du document.

Données météorologiques

Tableau 0.1 Statistiques des précipitations neigeuses

Événement	Nombre annuel d'occasion
Précipitations (cm)	
0.2 – 1.0	23
1.1 – 2.5	7,8
2.6 – 5.0	6,3
5.1 – 10.0	7,7
10.1 – 20.0	4,3
20.0 – 30.0	1,5
30.1 et +	1,7
Moyenne (cm)	265,1
Précipitation / occasion (cm)	4,1
Total du nombre d'occasions	52,3
Verglas	7,7
Chargements de neige	
Minimum	2
Maximum	9
Moyenne	5,3
Températures lors des précipitations	Nombre de jour / an
-1° à -5°	27,1
-6° à -10°	15,1
-11° à -15°	6,5
-16° à -20°	2,1
≤ -20°	0,5

Hypothèses de conception du système**Matériel roulant**

■ Largeur de la caisse :	2,65 m
■ Longueur du véhicule :	45 m
■ Hauteur de plancher:	350 mm
■ Opération des véhicules:	bidirectionnelle
■ Accessibilité des véhicules:	100% accessibles par le PMR
■ Gabarit libre d'obstacle (GLO):	lame d'air de 150 mm en alignement droit
■ Type:	fer

Voies

■ Pente maximale constante:	6 %
■ Pente maximale ponctuelle:	8%
■ Écartement de la voie:	1 435 mm
■ Rayon horizontal minimal:	50 m
■ Alignement droit entre courbe et contre-courbe:	11m
■ Accélération non compensée (confort voyageur):	0,88 m/s ²
■ Secousse:	≤ 0,4 m/s ³
■ Accélération verticale:	≤ 0,2 m/s ²
■ Rayons verticaux minimums:	
■ Concave:	500 m
■ Convexe:	700 m

Station

■ Longueur:	45 m (longueur du véhicule) + rampes pour accès PMR
■ Largeur:	
■ Quai latéral:	3,00 m
■ Quai central:	4,00 m
■ Hauteur du quai:	350 mm
■ Lacune horizontale:	50 mm
■ Pente en station:	≤ 2 % (constante)
■ Rayon minimum en station:	alignement droit

Exploitation

■ Vitesse commerciale cible:	18 km/h
■ Intervalle d'exploitation:	3 à 5 minutes – Proposition 4 minutes
■ Achalandage prévisionnel:	97 000 voy/j
■ Vitesse commerciale actuelle des autobus:	14 km/h (ligne 535)
■ Densité de passager:	4 passagers/m ² pour le confort des usagers

Largeurs de plateforme

En mode guidé et en fonctionnement nominal la trajectoire des véhicules est imposée : ceux-ci ne peuvent pas dévier de leur voie pour éviter un obstacle fixe situé dans le volume qu'ils occupent quand ils passent, d'où l'importance de la notion de gabarit.

Le gabarit limite d'obstacle (GLO) sert à caractériser ce volume critique, qui est naturellement vide en l'absence du véhicule guidé, et donc transparent pour les autres usagers de l'espace public considéré.

En conséquence, le GLO définit l'espace à l'intérieur duquel aucun obstacle fixe ne doit être implanté, à l'exception toutefois du bord du quai, où l'on prend une valeur particulière compte tenu de la vitesse réduite du véhicule en station, de la bonne fondation et bonne liaison du quai avec la voie, limitant les déformations différentielles possibles.

Le GLO se développe ainsi tout au long du tracé de la ligne de transport guidé et il est intrinsèquement lié au véhicule concerné.

Figure 0.1 GLO en voie unique en alignement droit

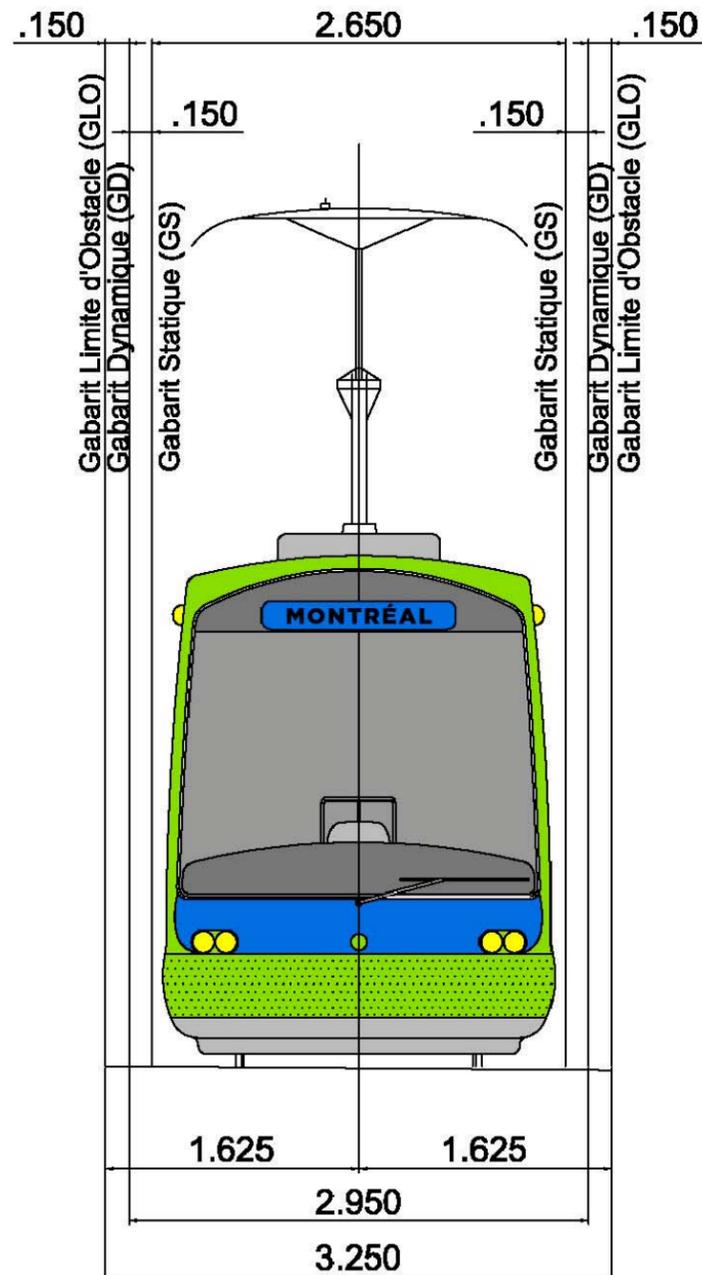


Figure 0.2 GLO en voie double – Alignement droit sans poteaux centraux

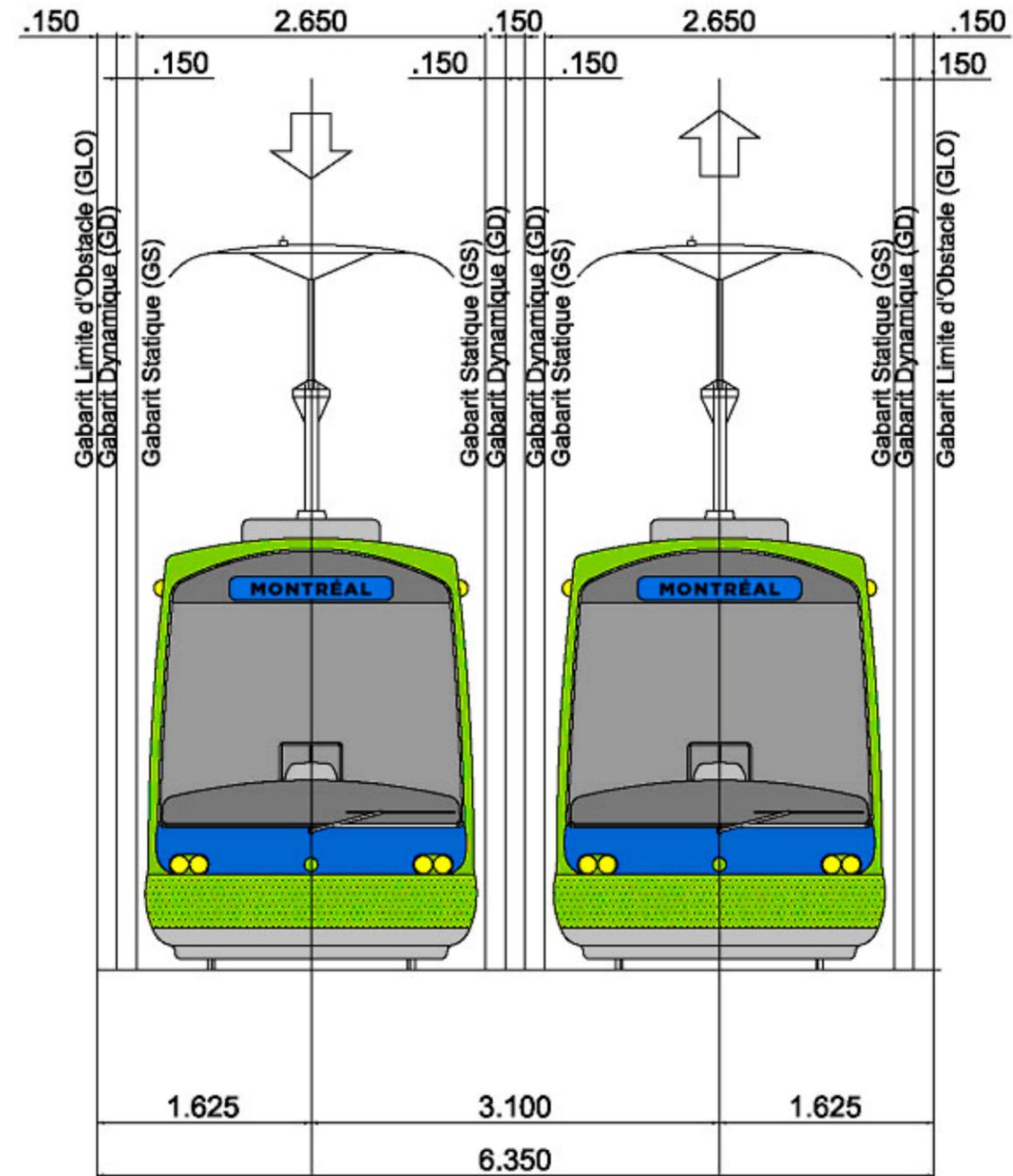
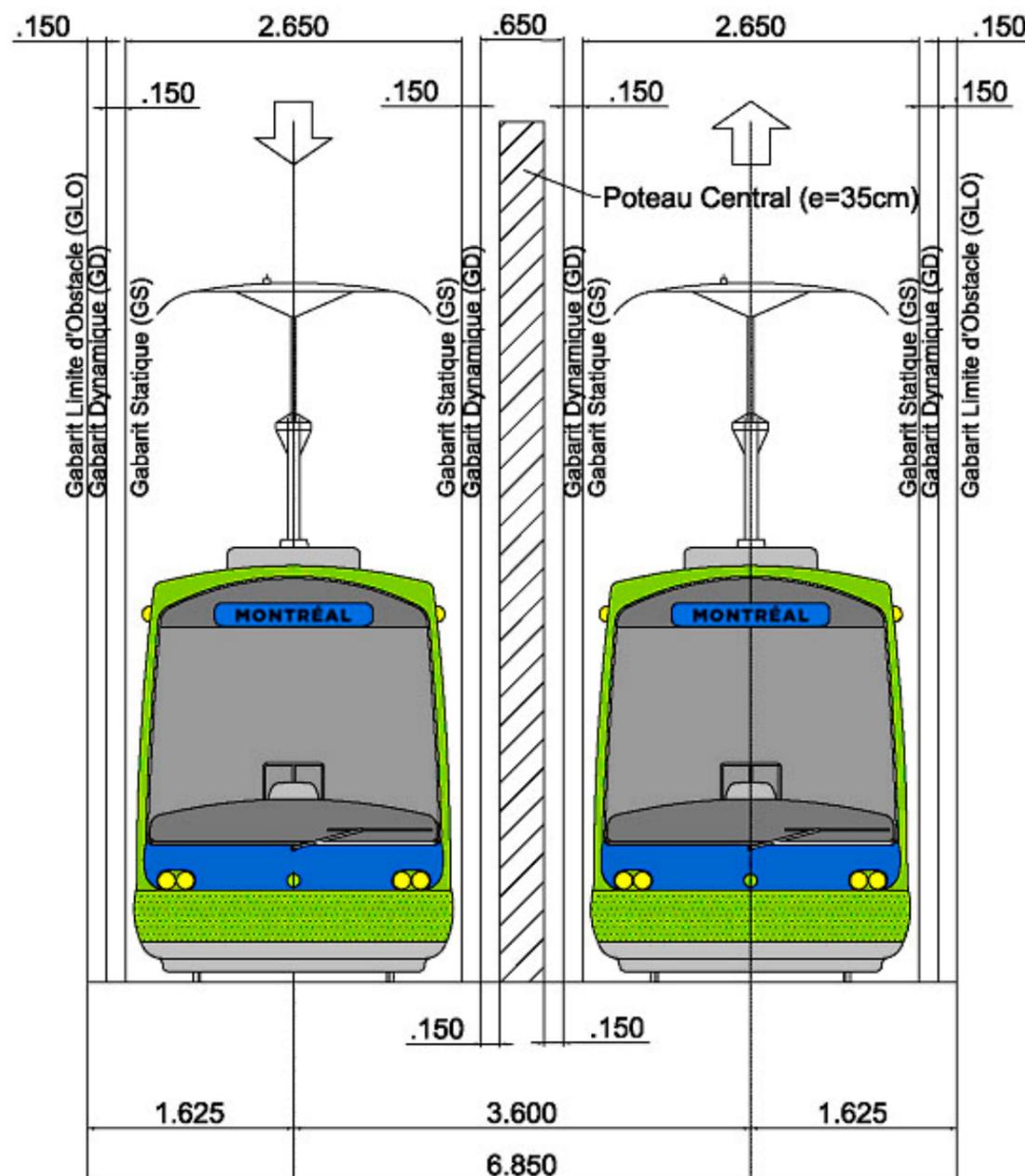


Figure 0.3 GLO en voie double – Alignement droit avec poteaux centraux



Hypothèses relatives à la voirie

Les principaux paramètres de conception géométrique suivants sont proposés pour l'analyse de la préféabilité de l'insertion du tramway en phase 1:

Tableau 0.2 Paramètres de conception géométrique

Élément géométrique	Dimension de base
Deux voies de circulation en sens inverse entre 2 éléments physiques (trottoir, station, terre-plein)	7,00 m
Deux voies de circulation dans la même direction entre le trottoir et la plateforme du tramway (non séparée physiquement)	6,8 m
Une voie de circulation entre 2 éléments physiques (trottoir, station, terre-plein)	5,50 m
Une voie de circulation entre le trottoir et la plateforme du tramway (non séparée physiquement)	4,00 m
Voie de virages à gauche	3,10 m
Voie de virages à droite	3,20 m
Trottoir	1,70 m (+ 1,3m de zone tampon à l'arrière ou en bordure de chaussée pour mobilier urbain et éclairage)
Terre-plein avec émergence (lampadaire, fût pour feux, support de LAC, etc.)	1,20 m
Bordure semi-franchissable	300 mm de large / 100 mm de haut
Refuge piéton	1,80 m
Bande cyclable	1,80 m
Piste cyclable	3,00 m

Note: Le dimensionnement des éléments géométriques est pour fin d'analyse de départ, mais peut être adapté pour tenir compte du type et du caractère de la rue, de l'utilisation du sol et des différentes contraintes qui seront étudiées en Phase 2.

Gestion des conflits tramway - Circulation

En raison de l'absence actuelle de tramway au Québec, les normes de conception des feux de circulation ne tiennent pas compte de ce cas spécifique. Pour la suite du projet, il sera donc indispensable de présenter les différents principes de gestion des conflits proposés dans la présente étude à la commission ad hoc du MTQ, afin de les faire valider et de les inclure aux futures normes. Le chapitre 10 *Traffic Controls for Highway-Light Rail Transit Grade Crossings* du *Manual of Uniform Traffic Control Devices* du FHWA des États-Unis a été pris comme source de référence pour les principes de gestion et le type de signalisation statique, dynamique et lumineuse (véhiculaire et tramway) en prenant compte le contexte Québécois.

Par rapport aux usages habituels, la spécificité des feux montréalais (avance flèche) permet de diminuer les impacts sur la circulation d'une implantation du tramway en site latéral ou bilatéral.

TABLE DES MATIÈRES

A.	Référentiel normatif de la phase 1 du projet	1
1.0	Objet	2
2.0	Définitions et glossaire	2
3.0	Cadre législatif et réglementaire	2
4.0	Liste prévisionnelle des normes techniques en matière de sécurité et de qualité (conception-réalisation)	2
4.1	Normes, Guides et Règlements spécifiques aux aménagements de voirie et aux stations	2
4.2	Normes et Règlements spécifiques à l'accessibilité des PMR	3
B.	Données météorologiques	4
5.0	Objet	5
6.0	Statistiques météorologiques	5
6.1	Neige	5
6.2	DONNÉES CLIMATOLOGIQUES.....	6
C.	Tracé des voies	8
7.0	Objet	9
8.0	Tracé en plan	9
8.1	Vitesse à prendre en compte	9
8.2	Rayon minimal en plan.....	9
8.3	Limites d'accélération transversale	9
8.4	Tracé sans dévers.....	10
8.5	Sur écartement des voies en alignement droit.....	11
8.6	Équivalence rayon / rampe	11
9.0	Tracé en profil en long	11
9.1	Généralités	11
9.2	Valeurs limites des déclivités	11
9.3	Raccordement des déclivités	12
9.4	Valeurs minimales des rayons paraboliques.....	12
9.5	Combinaison d'un raccordement parabolique et d'une courbe en plan.....	12
9.6	Combinaison d'une déclivité (rampe ou pente) et d'une courbe en plan.....	12
10.0	Dispositions particulières.....	12
10.1	Stations.....	12
10.2	Appareils de voie.....	13
10.3	Voies de manœuvre et terminus	13
10.4	Ouvrages d'art.....	13
D.	Largeurs de plateformes	14
11.0	Objet	15
12.0	Définitions et Glossaire.....	15
13.0	Gabarits ferroviaires.....	15
13.1	Gabarit statique des véhicules de tramway	15

13.2	Gabarit dynamique des véhicules de tramway.....	15
14.0	Gabarit limite d'obstacle (GLO)	15
14.1	Règles de calcul	16
14.2	Valeurs.....	16
15.0	Dimensionnement de la plateforme	16
15.1	Voies courantes.....	16
15.2	Sur hauteurs dues au profil en long	17
16.0	Coupes type du gabarit libre d'obstacle (GLO)	17
E.	Gabarits des éléments de voirie	20
17.0	Normes et usages	21
18.0	Paramètres de conception géométrique proposés.....	21
F.	Gestion des conflits	24
19.0	Objet.....	19-25
20.0	Principes de gestion des conflits avec la circulation	26
20.1	Typologie des carrefours sur le tracé du tramway	26
20.2	Typologie d'exploitation des conflits en virage à gauche et effets	27
20.3	Typologie d'exploitation des conflits en virage à droite et effets	28
20.4	Typologie d'exploitation des conflits transversaux et effets	29

LISTE DES FIGURES

Figure 14.1	Gabarit dynamique et GLO	16
Figure 15.1	Définition de la largeur de plateforme, GLO et entraxes	16
Figure 16.1	Voie unique en alignement droit	17
Figure 16.2	Voie double en alignement droit sans poteaux centraux	18
Figure 16.3	Voie double en alignement droit avec poteaux centraux	18
Figure 16.4	En station à quais latéraux, sans poteaux centraux	19
Figure 16.5	En station à quais latéraux, avec poteaux centraux	19
Figure 18.1	Exemple d'application des paramètres de conception géométriques (1)	22
Figure 18.2	Exemple d'application des paramètres de conception géométriques (2)	23

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 3.1	Références réglementaires pour la phase 1 du projet.....	2
Tableau 4.1	Normes, guides et règlements spécifiques aux aménagements de voirie et aux stations	2
Tableau 6.1	Statistiques des précipitations neigeuses	5
Tableau 6.2	Statistiques des données météorologiques	6
Tableau 7.1	Définitions et glossaire	9
Tableau 15.1	Valeurs de sur hauteur dû au profil en long	17
Tableau 18.1	Paramètres de conception géométriques	21

A. RÉFÉRENTIEL NORMATIF DE LA PHASE 1 DU PROJET

1.0 OBJET

Cette partie précise les éléments du référentiel normatif (législatif, réglementaire et technique) qui ont été pris en compte à ce stade du projet.

2.0 DÉFINITIONS ET GLOSSAIRE

ATC : Association des transports du Canada. Association d'envergure nationale dont la mission est de promouvoir la sécurité, la sûreté, l'efficacité et le respect de l'environnement dans le cadre de la prestation de services financièrement durables de transport, le tout à l'appui des objectifs sociaux et économiques du Canada.

MTQ : Ministère des Transports du Québec. Organisme en charge de la normalisation des éléments liés à la voirie, à la signalisation, au marquage aux feux de circulation et à la sécurité routière d'une manière générale.

FHWA : Federal Highway Administration. Agence à compétence nationale américaine rattaché au département des transports, qui constitue le pôle de compétence et d'administration en matière de gestion des routes.

TCRP : Transit Cooperative Research Program, Centre de recherches américain rattaché au Transportation Research Board qui a pour mission de conduire des études dans le domaine des transports collectifs.

CERTU : Centre d'Études sur les Réseaux, les Transports, l'Urbanisme et les constructions publiques. Organisme français public créé en 1994 qui a pour mission de conduire des études dans le domaine des réseaux urbains, des transports, de l'urbanisme et des constructions publiques, pour le compte de l'État ou au bénéfice des collectivités locales, établissements publics ou entreprises chargés de missions de service public ou des professions en cause.

STRMTG : Service Technique des Remontées Mécaniques et des Transports Guidés. Service à compétence nationale française rattaché à la Direction des Transports Terrestres, créé en 1979, qui constitue le pôle de compétence de l'administration française en matière de sécurité des remontées mécaniques et des transports guidés.

3.0 CADRE LÉGISLATIF ET RÉGLEMENTAIRE

Ce chapitre présente le référentiel législatif et réglementaire que le maître d'œuvre se propose d'appliquer sur le projet au cours de la phase 1.

Tableau 3.1 Références réglementaires pour la phase 1 du projet

Guide d'application du STRMTG	Liste « générique » des Événements redoutés de niveau système Version 1 du 28 juin 2006
Guide d'application du STRMTG	Guide d'accessibilité des secours sur les sites de tramways Version 1 du 18 décembre 2007

4.0 LISTE PRÉVISIONNELLE DES NORMES TECHNIQUES EN MATIÈRE DE SÉCURITÉ ET DE QUALITÉ (CONCEPTION-RÉALISATION)

4.1 NORMES, GUIDES ET RÈGLEMENTS SPÉCIFIQUES AUX AMÉNAGEMENTS DE VOIRIE ET AUX STATIONS

Tableau 4.1 Normes, guides et règlements spécifiques aux aménagements de voirie et aux stations

Référence	Titre
Guide d'aménagement de voirie pour les transports collectifs -CERTU -Janvier 2000	relative à l'implantation, l'aménagement, au fonctionnement, à l'utilisation des voies de circulation en site propre des tramways urbains. Bien que n'ayant pas de portée réglementaire ou normative, ce guide constitue la référence des aménagements de voirie pour les transports collectifs
Guide canadien de conception géométrique des routes – ATC – 1999	
Tome I – Conception routière – Transports Québec – 2008	
Les transports collectifs de surface en site propre – étude de cas en France et à l'étranger – CERTU – 1995	
Integration of Light Rail Transit Into City Streets – TCRP – 1996	
Light Rail Service: Vehicular and Pedestrian Safety – TCRP – 1999	
NFPA 130 – Protection incendie	NFPA 130-Standard for Fixed Guideway Transit and Passenger Rail Systems, National Fire Protection Association

4.2 NORMES ET RÈGLEMENTS SPÉCIFIQUES À L'ACCESSIBILITÉ DES PMR

Les États-Unis ont adopté une loi en 1990, afin d'assurer l'accessibilité pour tous. Cette loi, *the Americans with Disabilities Act (ADA)* a permis de créer des normes pour les édifices, les aménagements urbains, les stations de train et les véhicules de transport collectifs. Ces normes sont strictement applicables aux États-Unis pour tous projets, incluant les systèmes de transport collectifs. Au Canada, les éléments de design de ces normes sont souvent appliqués même s'ils n'ont pas force légale.

Au-delà de la stricte application des normes, des règlements et des recommandations des organismes spécialisés, (par exemple, en France, COLIAC anciennement COLITRAH), qui assure le minimum fonctionnel requis, la démarche conceptuelle consiste à exploiter l'esprit et les principes qui sous-tendent les normes et règlements pour améliorer la qualité des aménagements (en termes de confort, de convivialité, de fonctionnalité).

Ainsi pour le tramway de Montréal, la référence en matière de normes d'accessibilité aux PMR sera la suivante:

- ADA Standards for Accessible Design – 1994 – US Department of Justice

B. DONNÉES MÉTÉOROLOGIQUES

5.0 OBJET

Cette partie a pour objet la définition des hypothèses générales d'ordre climatique qui seront exploitées et déclinées par chaque système dans le cadre des études ultérieures : ouvrages, voies ferrées, Ligne Aérienne de Contact, etc.

Il est à souligner que Montréal se situe dans un contexte climatique particulier avec des étés chauds et humides et des hivers rigoureux et enneigés, soumis à de fréquents cycles gel / dégel ainsi qu'à certains cas épisodiques de verglas.

6.0 STATISTIQUES MÉTÉOROLOGIQUES

6.1 NEIGE

Le résumé des statistiques obtenues de la Ville de Montréal en matière de précipitations neigeuses sur les 15 hivers passés donne les principaux éléments suivants:

Tableau 6.1 Statistiques des précipitations neigeuses

Événement	
Précipitations (cm)	Nombre annuel d'occasion
0.2 – 1.0	23
1.1 – 2.5	7,8
2.6 – 5.0	6,3
5.1 – 10.0	7,7
10.1 – 20.0	4,3
20.0 – 30.0	1,5
30.1 et +	1,7
Moyenne (cm)	265,1
Précipitation / occasion (cm)	4,1
Total du nombre d'occasions	52,3
Verglas	7,7
Chargements de neige	
Minimum	2
Maximum	9
Moyenne	5,3
Températures lors des précipitations	Nombre de jour / an
-1° à -5°	27,1
-6° à -10°	15,1
-11° à -15°	6,5
-16° à -20°	2,1
≤ -20°	0,5

Source: Ville de Montréal

6.2 DONNÉES CLIMATOLOGIQUES

Le résumé des statistiques obtenues par Environnement Canada à la station de l'aéroport Pierre-Elliott Trudeau sont les suivantes:

Tableau 6.2 Statistiques des données météorologiques

TEMPÉRATURES	janv.	févr.	mars	avr.	mai	juin	juil.	août	sept.	oct.	nov.	déc.
Moyenne quotidienne (°C)	-10,2	-8,4	-2,3	5,7	13,4	18,2	20,9	19,6	14,6	8,1	1,6	-6,3
Écart type	2,9	3	2,3	1,7	1,7	1,2	1	1,1	1,4	1,6	1,6	3,2
Maximum quotidien (°C)	-5,7	-3,9	2,2	10,7	19	23,6	26,2	24,8	19,7	12,7	5,3	-2,2
Minimum quotidien (°C)	-14,7	-12,9	-6,7	0,6	7,7	12,7	15,6	14,3	9,4	3,4	-2,1	-10,4
Maximum extrême (°C)	13,9	15	25,6	30	33,9	35	35,6	37,6	33,5	28,3	21,7	18
Date (aaaa/jj)	1950/25	1981/22	1945/28	1990/27	1962/19	1964/30	1953/17+	1975/01	1999/04+	1968/02	1948/06	2001/06
Minimum extrême (°C)	-37,8	-33,9	-29,4	-15	-4,4	0	6,1	3,3	-2,2	-7,2	-19,4	-32,4
Date (aaaa/jj)	1957/15	1943/15	1950/04	1954/04	1974/02	1995/05	1982/03	1957/28+	1951/30	1972/20	1949/27	1980/25
PRÉCIPITATION	janv.	févr.	mars	avr.	mai	juin	juil.	août	sept.	oct.	nov.	déc.
Chutes de pluie (mm)	27,2	19,8	35,8	63,9	76,1	83,1	91,3	92,7	92,6	75,4	71,2	35,1
Chutes de neige (cm)	52,5	43,3	36	13,1	0,2	0	0	0	0	2,2	21,9	48,3
Extrême quot. de pluie (mm)	46,6	31,5	32,4	48,2	45,6	66,5	63,6	73,8	81,9	80,5	93,5	51,2
Date (aaaa/jj)	2006/18	1961/25	1998/09	2006/23	2006/19	1997/21	mai-05	2005/31	1979/14	juin-95	août-96	nov-03
Extrême quot. de neige (cm)	35,8	39,4	43,2	33,9	21,8	0	0	0	6,1	21,2	30,5	41,2
Date (aaaa/jj)	1999/15	1954/16	1971/04	2000/09	1963/10				1946/30	1988/22	1944/30	2005/16
VENT	janv.	févr.	mars	avr.	mai	juin	juil.	août	sept.	oct.	nov.	déc.
Vitesse horaire moyenne du vent	16,6	15,4	15,9	15,8	14,2	13,2	12,2	11,3	12,2	13,8	15,3	15,4
Direction dominante du vent	W	SW	N	N	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW
Vitesse extrême du vent	90	80	74	70	72	66	58	55	65	72	76	72
Date (aaaa/jj)	1959/22	1961/26	1971/04+	1977/03	1964/09	1972/22	1956/11	1965/06	2005/29	1979/06	1975/10	2000/18
Direction de la vitesse extrême du vent	SW	N	NE	W	SW	NE	SW	NW	NE	SW	SW	W
Vit. extrême des rafales de vent	117	138	161	106	103	111	126	105	97	117	113	103
Date (aaaa/jj)	1959/22	1956/25	1964/05	1975/19	1956/14	1957/29	1975/02	1966/09	1956/06	1979/06	1989/16	1971/11+
Direction des rafales de vent extrême	SW	SW	S	SW	SW	S	W	S	SW	SW	S	SW
Journées avec vitesse des rafales de vent >= 52 km/h	2,5	1,2	1,6	1	0,8	0,5	0,7	0,4	0,3	0,9	1,7	2
Journées avec vitesse des rafales de vent >= 63 km/h	0,6	0,2	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,1	0	0,1	0,6	0,4
DEGRÉS-JOURS	janv.	févr.	mars	avr.	mai	juin	juil.	août	sept.	oct.	nov.	déc.
Au-dessus 24 °C	0	0	0	0	0,1	2	6,1	3,2	0,5	0	0	0
Au-dessus 18 °C	0	0	0	0,4	10,6	46,3	97,1	70,6	16,1	0,4	0	0
Au-dessus 15 °C	0	0	0	2,2	32,7	106,1	182,9	146,1	45,5	3,4	0	0
Au-dessus 10 °C	0	0	0,5	15,7	117,8	244	337,2	297,5	146,5	30,9	2,8	0
Au-dessus 5 °C	0,2	0,8	7	68,3	257,7	393,5	492,2	452,5	289,1	113,3	22,7	1,1
Au-dessus 0 °C	5,6	8,3	43,6	179,4	411,8	543,5	647,2	607,5	438,9	250,9	88,3	13,3
Au-dessous 0 °C	322,4	246,8	113,8	7,7	0	0	0	0	0	0,5	40,4	208,9
Au-dessous 5 °C	472	380,7	232,3	46,7	0,9	0	0	0	0,1	17,9	124,9	351,7
Au-dessous 10 °C	626,8	521,2	380,8	144	16	0,5	0	0,1	7,6	90,5	255	505,5
Au-dessous 15 °C	781,8	662,5	535,3	280,6	85,9	12,6	0,7	3,6	56,5	218	402,2	660,5
Au-dessous 18 °C	874,8	747,3	628,3	368,8	156,7	42,8	7,9	21,1	117,2	308	492,2	753,5

INSOLATION EFFECTIVE	janv.	févr.	mars	avr.	mai	juin	juil.	août	sept.	oct.	nov.	déc.
Total d'heures	101,6	123,9	158,9	173,3	229,7	245,5	274,3	240,5	174,6	140	86,1	80,2
Journées avec	21,3	21,9	24,9	25,3	28,4	28,2	30,2	29,4	26,6	26,2	20,9	20,3
% d'heures d'ensoleillement probable	35,8	42,4	43,1	42,8	49,8	52,4	57,9	55	46,3	41,1	30	29,5
Extrême quotidien	9,1	10,7	11,8	13,5	14,4	14,9	14,8	14,2	12,7	10,9	9,8	8,5
Date (aaaa/jj)	1972/31+	1978/28	1971/31+	1982/30	1990/25+	1987/06	1994/11	1987/01	1986/01+	oct-83	1987/02	1980/04+
HUMIDITÉ	janv.	févr.	mars	avr.	mai	juin	juil.	août	sept.	oct.	nov.	déc.
Pression de vapeur moyenne (kPa)	0,3	0,3	0,4	0,6	1	1,5	1,8	1,7	1,3	0,9	0,6	0,3
Humidité relative moyenne - 0600LST (%)	73,9	73,7	74,8	75	75,2	78,9	81,9	86,2	87,3	83,6	80,9	78,2
Humidité relative moyenne - 1500LST (%)	68,1	64	61	54	52	56,2	56,3	58,2	61,5	62,1	68,7	71
RAYONNEMENT	janv.	févr.	mars	avr.	mai	juin	juil.	août	sept.	oct.	nov.	déc.
Global extrême (RF1)	11,2	16,8	22,9	27,7	31,1	31,7	30,5	27,3	23,4	17,7	11,9	8,3
Date (aaaa/jj)	1994/31	1992/29	1994/30	1992/26	1997/27	1994/10	1993/01	août-95	févr-92	1995/01	1993/02	1989/01
Diffus extrême (RF2)	6	8,6	13	14,5	13,7	14,5	15	12,6	10,7	8,1	5,2	4,3
Date (aaaa/jj)	1993/29	1990/25	1998/23	1989/24	1997/29	1992/05	1993/05	nov-89	1990/21	1993/05	1990/13	1992/27

Source: Environnement Canada

C. TRACÉ DES VOIES

7.0 OBJET

Cette partie a pour objet de définir les hypothèses de conception du tracé en plan et en profil en long des voies ferrées du tramway.

La conception du tracé des voies est compatible avec des tramways modernes standards, tels que ceux présentés dans le volume F1 Matériel roulant.

La prise en compte de matériels roulants non standards peut impacter les phases ultérieures de l'étude. En effet, du tracé découle fortement la structuration de l'espace et des aménagements associés à la plateforme tramway.

Tableau 7.1 Définitions et glossaire

Abréviations	Définition
MR	Matériel Roulant
Pk / PM	Point kilométrique / Point Métrique
PMR	Personne à Mobilité Réduite
t	Temps en seconde (s)
\mathcal{G}	Vitesse longitudinale en mètre par seconde (m/s)
V	Vitesse en kilomètre par heure (km/h)
L	Longueur en mètre (m)
R	Rayon en mètre (m)
ρ	Courbure (1/m)
γ_T	Accélération transversale en mètre par seconde carré (m/s ²)
γ_d	Accélération transversale compensée par dévers (m/s ²)
γ_{nc}	Accélération transversale non compensée (m/s ²)
d	Dévers en millimètre (mm)
i	Insuffisance de dévers en millimètre (mm)
e	Excès de dévers
d _{th}	Dévers théorique en millimètre (mm)
d _p	Dévers pratique en millimètre (mm)
g	Gauche en millimètre par mètre (mm/m)

8.0 TRACÉ EN PLAN

8.1 VITESSE À PRENDRE EN COMPTE

La vitesse est un paramètre essentiel dans les calculs d'implantation des voies.

Les vitesses à prendre en compte sont essentiellement fonction :

- du confort des voyageurs : limitation de l'accélération transversale non compensée en courbe, de sa variation dans le temps,...
- des conditions d'insertion du tramway dans l'environnement urbain : rue piétonnière, visibilité réduite du conducteur, proximité de carrefours ou de stations...

8.2 RAYON MINIMAL EN PLAN

Sur les voies commerciales sans contrainte particulière d'insertion, il est préconisé d'utiliser un rayon qui ne conduise pas à une limitation de vitesse qui n'aurait pas été nécessaire par ailleurs. Afin de minimiser les limitations de vitesse imputables au tracé de voie ferrée, il est donc préconisé d'éviter l'implantation de courbes de faible rayon.

Le rayon minimal préconisé en plan pour une pose béton est de 50 m sur la ligne (25 m exceptionnellement) et de 25 m sur le site du centre d'entretien et d'exploitation (CdEE).

Le développement minimal de pleine courbe est de 10 m sur les voies en exploitation.

Le tracé peut comporter une courbe et une contre courbe séparées par un alignement droit tel que le matériel roulant s'y inscrive normalement, c'est-à-dire d'une longueur au moins égale à la distance entre 2 bogies successifs. Pour les études de faisabilité, on prendra 11 m comme valeur de dimensionnement de cet alignement droit. Cette valeur sera éventuellement ajustée plus finement au matériel roulant dans les phases ultérieures d'étude.

8.3 LIMITES D'ACCÉLÉRATION TRANSVERSALE

Les règles générales d'établissement d'un tracé géométrique de voie ferrée ont pour but de supprimer, ou de limiter à des valeurs acceptables, les effets de la force centrifuge sur les voyageurs et les équipements lors du franchissement d'une courbe.

En effet, tout point de masse "m" animé d'une vitesse " \mathcal{G} " sur une trajectoire circulaire de rayon "R", subit une accélération perpendiculaire à sa trajectoire de valeur :

$$\gamma_T = \frac{\mathcal{G}^2}{R}$$

Une partie de cette accélération, " γ_d ", peut être compensée par l'inclinaison de la surface de roulement (mise en dévers de la voie). Le complément $\gamma_{nc} = \gamma_T - \gamma_d$ constitue l'accélération non compensée ressentie par les voyageurs.

Les valeurs limites retenues pour le calcul du tracé des voies concernant l'accélération transversale ressentie par les voyageurs, c'est-à-dire l'accélération non compensée par le dévers, ainsi que sa variation dans le temps ("secousse" ou "jerk"), doivent être respectivement inférieures ou égales à :

- $\gamma_{nc} \leq 0,88 \text{ m/s}^2$
- $\frac{d\gamma_{nc}}{dt} \leq 0,4 \text{ m/s}^3$

Note : l'utilisation de ces deux valeurs permet également de limiter les phénomènes physiques suivants, qui ont tous un impact négatif sur le confort des voyageurs et la pérennité des infrastructures et systèmes :

- l'inclinaison des véhicules ;
- les efforts latéraux sur les rails ;
- la torsion des caisses formant le véhicule ;
- l'articulation et les débattements des essieux de bogie.

8.4 TRACÉ SANS DÉVERS

En absence de dévers ($\gamma_d = 0$), l'accélération non compensée ressentie par les voyageurs γ_{nc} est égale à l'accélération transversale γ_T .

8.4.1 Limitation de la vitesse ou du rayon

L'absence de dévers dans une courbe conduit à limiter soit la vitesse soit le rayon. Sachant que l'accélération non compensée γ_{nc} doit être inférieure ou égale à $0,88 \text{ m/s}^2$ nous devons avoir :

$$v \leq 0,938\sqrt{R} \quad (v \text{ en m/s, } R \text{ en m})$$

En exprimant la vitesse V en km/h, le rayon R étant toujours exprimé en m, cela donne :

$$V \leq 3,377 \sqrt{R}$$

$$R \geq 0,088 V^2$$

Si la topographie (ou les conditions d'insertion en général) impose le rayon, c'est le tracé qui limite la vitesse dans la zone considérée pour permettre de rester dans les limites de confort.

8.4.2 Définition de la clothoïde de raccordement

L'accélération transversale étant directement proportionnelle à la courbure ($\gamma_T = \gamma_{nc} = v^2/R = \rho v^2$), le confort des voyageurs n'admet pas que l'on passe sans transition d'une courbure nulle (alignement droit) à une courbure finie (courbe de rayon R). La limitation de la variation d'accélération transversale impose donc une variation progressive de la courbure entre un alignement droit et un arc de cercle.

Cette variation progressive est obtenue en intercalant un arc de clothoïde (de longueur L) entre un alignement droit et un cercle (de rayon R). La clothoïde est une courbe dont la courbure croît linéairement par rapport à l'abscisse curviligne, de l'alignement droit ($\rho = 0$) jusqu'à la pleine courbe qui lui est

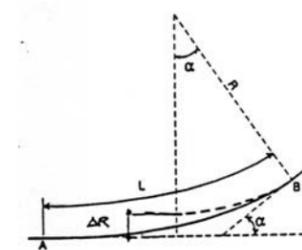
¹ Il existe en réalité plusieurs valeurs de confort selon, d'une part, la position du passager dans la rame (assis ou debout) et, d'autre part, le niveau de confort ressenti (de « très bon » à « très mauvais »). La valeur proposée ici, conforme aux pratiques courantes en tramway, est très confortable pour les voyageurs assis et confortable pour les voyageurs debout. Si l'exploitant veut encore améliorer les conditions de confort, il peut exploiter la ligne à une vitesse plus faible que celle permise par le tracé : c'est le cas de l'agglomération nantaise, où le dimensionnement des voies est effectué pour $\gamma_{nc} = 1,00 \text{ m/s}^2$ mais où les consignes d'exploitation sont calées sur une contrainte plus forte, $\gamma_{nc} = 0,68 \text{ m/s}^2$

consécutives ($\rho = \frac{1}{R}$). La clothoïde assure ainsi une variation linéaire de l'accélération transversale, et donc un jerk constant.

L'équation intrinsèque de la clothoïde est : $L \times R = A^2$, c'est-à-dire que, pour le paramètre choisi A , le produit de la longueur L et du rayon R est constant. Le paramètre A définit sans ambiguïté les dimensions de la clothoïde.

L'introduction du raccordement constitué par l'arc de clothoïde fait que le cercle n'est pas tangent à la droite mais décalé d'une longueur ΔR telle que :

$$\Delta R = \frac{L^2}{24R} \text{ à } 0,5 \% \text{ près}$$



La limitation de la variation dans le temps de l'accélération transversale non compensée $\frac{d\gamma_{nc}}{dt}$ impose une

longueur minimale de clothoïde, satisfaisant à l'équation : $L \geq 2,5 \frac{v^3}{R}$

Démonstration : la variation linéaire de la courbure par rapport à l'abscisse curviligne ($\frac{d\rho}{ds} = K_1$) et la

constance de la vitesse longitudinale ($v = K_2 = \frac{L}{t}$, t étant l'intervalle de temps nécessaire pour parcourir la clothoïde de longueur L à la vitesse constante v .) entraînent une variation linéaire de la courbure par rapport au temps ($\frac{d\rho}{dt} = \frac{d\rho}{ds} \cdot \frac{ds}{dt} = K_1 \cdot K_2$), d'où, par intégration : $\rho = \frac{d\rho}{dt} \cdot t$.

L'inégalité $\frac{d\gamma_{nc}}{dt} \leq 0,4$, s'écrit aussi $v^2 \cdot \frac{d\rho}{dt} \leq 0,4$, soit encore $t \geq 2,5 \rho v^2$, soit enfin $t \geq 2,5 \frac{v^2}{R}$.

En remplaçant t par sa valeur $\frac{L}{v}$, on obtient l'équation annoncée.

L'équation $L \geq 2,5 \frac{v^3}{R}$ permet de construire la clothoïde de plus courte longueur compatible avec le confort des passagers.

De manière générale et pour des raisons de mise en œuvre, la longueur minimale de la clothoïde sera de 12 m, sauf condition particulièrement difficile d'insertion, auquel cas on pourra être amené à mettre en œuvre la longueur réelle calculée qui peut être inférieure à 12 m : pour une courbe de 25 m de rayon, la longueur minimale de clothoïde descend à 7 m.

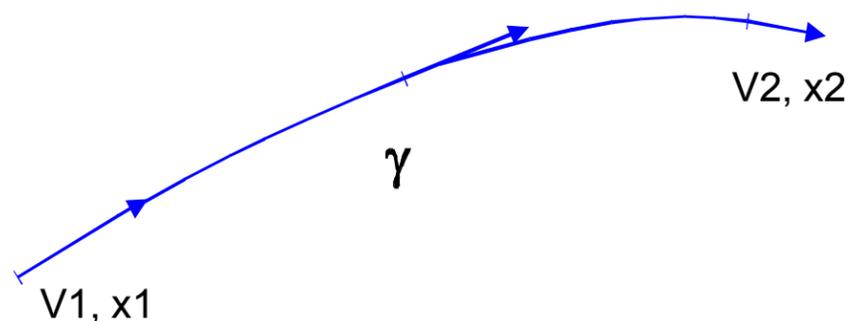
8.4.3 Tableau des vitesses maximales et des longueurs minimales de clothoïde

On trouvera ci-dessous le tableau des vitesses maximales et des longueurs minimales de clothoïde pour des voies non déversées.

Rayon R	Vitesse maximale		Longueur minimale Clothoïde L _{min} (m)	Paramètre A
	R(m)	V _{MAX} (m/s)		
25,0	4,7	16,9	12,0	17,3
50,0	6,6	23,9	14,6	27,0
75,0	8,1	29,2	17,9	36,6
100,0	9,4	33,8	20,6	45,4
125,0	10,5	37,8	23,1	53,7
150,0	11,5	41,4	25,3	61,6
175,0	12,4	44,7	27,3	69,1
200,0	13,3	47,8	29,2	76,4
250,0	14,8	53,4	32,6	90,3
300,0	16,2	58,5	35,7	103,6
350,0	17,5	63,2	38,6	116,2
400,0	18,8	67,5	41,3	128,5
429,6	19,4	70,0	42,8	135,6
500,0	19,4	70,0	36,8	135,6
1 000,0	19,4	70,0	18,4	135,6
1 500,0	19,4	70,0	12,3	135,6
1 531,6	19,4	70,0	12,0	135,6

8.4.4 Limitation de l'accélération tangentielle

La longueur L de la clothoïde doit également permettre, quand cela est nécessaire, de faire varier la vitesse du véhicule entre l'alignement droit (vitesse haute V1) et la courbe (vitesse basse V2).



L'accélération longitudinale moyenne du matériel roulant est de l'ordre de 0,8 m/s², la décélération étant de l'ordre de 1 m/s², ce qui donne des longueurs théoriques de clothoïde de :

- $L = 0,050 | V1^2 - V2^2 |$ en accélération (V1 et V2 en km/h)
- $L = 0,039 | V2^2 - V1^2 |$ en décélération (V1 et V2 en km/h)

Rappelons que cette longueur théorique est difficile à respecter en zone urbaine. Dans le cas de non respect, on se reportera aux principes ci-dessous :

- éviter les clothoïdes trop courtes limitant l'exploitation à des vitesses inférieures aux vitesses admissibles en cercle ;
- la vitesse à prendre en compte pour le calcul de la clothoïde sera déterminée pour $\square T = 0.88 \text{ m/s}^2$;
- lorsque la sortie de courbe incite à l'accélération immédiate, la vitesse de calcul de la clothoïde sera prise égale à la vitesse en cercle augmentée d'une accélération de 0,8 m/s² sur une distance de 20 m, ce qui revient à augmenter d'environ 20 % la vitesse en cercle.

8.5 SUR ÉCARTEMENT DES VOIES EN ALIGNEMENT DROIT

Afin de maintenir la lame d'air du Gabarit Limite d'Obstacle (GLO) sur toute la longueur des clothoïdes, il est nécessaire de sur écarter les voies pour des rayons inférieurs à 1000 m.

Le retour à l'entraxe nominal s'effectue par une courbe en S pour les grandes différences d'entraxes ou par une clothoïde plus longue pour des écarts moindres.

8.6 ÉQUIVALENCE RAYON / RAMPE

En roulement fer/fer, la résistance à l'avancement est augmentée dans les courbes. On peut comparer le rayon d'une courbe à la rampe qui produirait la même augmentation de résistance.

La rampe en ‰ équivalente à une valeur de rayon R est généralement définie, de manière empirique, par la formule 500/R avec R en m. Ainsi, par exemple, une courbe de 500 m de rayon équivaut à une rampe de 1‰, une courbe de 250 m de rayon équivaut à une rampe de 2‰, etc.

En courbe, la pente maximale sera ainsi fixée par la relation :

$$P_{MAX} \text{ en courbe} = P_{MAX} \text{ (alignement droit)} + \frac{500}{R}$$

9.0 TRACÉ EN PROFIL EN LONG

9.1 GÉNÉRALITÉS

Le profil en long sera réalisé sur l'axe de la voie 1 (voie de référence) au niveau du plan de référence (rail bas).

La voie 1 est celle des Pk croissants dans le sens de la marche normale.

Le Pk 0,000 est le milieu d'une station terminus.

9.2 VALEURS LIMITES DES DÉCLIVITÉS

Au niveau des études de faisabilité, partout où cela est possible, la pente maximale en ligne sera limitée à 6%.

La présence de fortes pentes du terrain naturel sur le chemin de la côte des neiges imposent cependant de pousser plus avant la réflexion sur les pentes maximales autorisées. De nombreuses possibilités existent en réalité selon les caractéristiques propres du matériel roulant et son taux de motorisation (capacité motrice, d'adhérence, de démarrage en rampe, de freinage en pente et de fonctionnement en mode dégradé) : de 8 à 8,5 % sur 100, 200 ou 300 m, jusqu'à 10 % sur 200 m pour du tram-train.

Il est habituellement préconisé que la pente maximale en station, voies de manœuvre et terminus soit inférieure ou égale à 2 % pour éviter la dérive d'un véhicule dont les freins ne sont pas bloqués.

Afin d'assurer un drainage correct de la voie, il est préconisé que la pente longitudinale ne soit pas inférieure à 1 % et, de manière exceptionnelle, à 0,5 % (des dispositions particulières complémentaires seraient à prendre dans ce cas en terme d'assainissement : pentes transversales, caniveaux transversaux supplémentaires,...).

Le profil en long prendra en compte certains passages difficiles comme les éventuels franchissements d'ouvrage.

Le profil en long de la plate-forme étant conditionné par le nivellement de la voirie l'accompagnant, c'est ce dernier qui définit en première itération la pente longitudinale du profil en long de la plateforme.

Les points bas du profil en long sont placés hors traversées routières et passages piétons.

9.3 RACCORDEMENT DES DÉCLIVITÉS

Pour raccorder deux déclivités, il faut considérer deux éléments : la vitesse du véhicule et la différence p des déclivités.

Si R est le rayon de raccordement de deux pentes de sens contraire, l'accélération centrifuge verticale sur cette courbe est :

$$\gamma = \frac{v^2}{R}$$

Cette accélération s'ajoute dans un creux ou se retranche dans une bosse à l'accélération de la pesanteur;

la logique dicte de limiter le rapport $\frac{\gamma}{g}$. L'accélération γ est limitée à 0,2 m/s².

$$\frac{v^2}{R} \leq 0,2 \Rightarrow R \geq 5 v^2$$

La courbe utilisée en raccordement de profil en long est la parabole de rayon de courbure au sommet R et définie par l'équation :

$$y = \frac{x^2}{2R}$$

9.4 VALEURS MINIMALES DES RAYONS PARABOLIQUES

La limitation de l'accélération verticale en ligne commerciale impose les rayons de raccordement R minimaux suivants :

- 1 890 m pour une vitesse de 70 km/h ;
- 1 630 m pour une vitesse de 65 km/h ;
- 1 389 m pour une vitesse de 60 km/h ;
- 1 167 m pour une vitesse de 55 km/h ;
- 965 m pour une vitesse de 50 km/h ;
- 700 m pour une vitesse de 43 km/h ;
- 500 m pour une vitesse de 36 km/h.

On s'efforcera de ne pas descendre en dessous de 1000 m dans les cas courants.

Les rayons doivent également être compatibles avec l'inscription du matériel roulant sur l'arc de parabole. Les rayons de raccordement pour une pose béton sont ainsi réduits au minimum à :

- 500 m pour un rayon en creux (concave)² ;
- 700 m pour un rayon en bosse (convexe)³.

La longueur des raccordements ne sera pas inférieure à 10 m dans la mesure du possible pour la pose béton.

9.5 COMBINAISON D'UN RACCORDEMENT PARABOLIQUE ET D'UNE COURBE EN PLAN

Pour des raisons d'adhérence, de puissance installée et de confort de voyageurs, on évite dans la mesure du possible d'implanter des raccordements paraboliques en profil dans les zones de raccordement circulaires et de clothoïdes. De plus, la mise en place des voies est très délicate dans ces conditions.

En cas de combinaison d'une pente et d'une courbe en plan, on considèrera la relation suivante entre la déclivité p et le rayon R :

$$p + \frac{500}{R} \leq \text{Pente maxi autorisée par le matériel roulant}$$

9.6 COMBINAISON D'UNE DÉCLIVITÉ (RAMPE OU PENTE) ET D'UNE COURBE EN PLAN

Dans ce cas de figure, il sera porté une attention particulière au phénomène de création normal d'un dévers induit, et à l'analyse en fonction des valeurs respectives de la déclivité et du rayon de la nécessité de mise en œuvre d'un contre dévers.

10.0 DISPOSITIONS PARTICULIÈRES

10.1 STATIONS

La longueur des quais hors rampes d'accès dépend de celle du matériel roulant et des contraintes d'environnement, notamment en milieu urbain dense. Selon l'importance des contraintes d'environnement, la longueur du quai peut correspondre à la longueur totale de la rame ou à sa longueur utile. La longueur utile est la distance entre les nus extérieurs des portes extrêmes de la rame, augmentée des marges d'arrêt de l'ordre de $\pm 0,70$ m :

$$\text{Longueur utile de la rame} = \text{distance entre nus extérieurs des portes extrêmes} + 1,40 \text{ m.}$$

La longueur des rampes est fonction de la hauteur des quais et du profil en long de l'aménagement ainsi que des conditions d'insertion.

La largeur des quais est calculée en fonction du flux de voyageurs sur la base d'une densité définie conformément aux règles de dimensionnement du CERTU. Cependant, les largeurs minimales recommandées sont précisées ci-dessous :

² En réalité, selon les types de matériel roulant, le rayon minimum en creux se situe dans la fourchette 350 m à 500 m. La valeur utilisée pour les études de faisabilité est donc conservative.

³ En réalité, selon les types de matériel roulant, le rayon minimum en bosse se situe dans la fourchette 450 m à 700 m. La valeur utilisée pour les études de faisabilité est donc conservative.

- 3 m pour un quai latéral, même en cas de faibles flux. Du côté où la station est longée par une chaussée, il est prévu, en plus de la largeur minimale ainsi fixée, une bande séparatrice de l'ordre de 50 cm de large et de hauteur équivalente à celle d'un trottoir, servant de chasse-roue ;
- 4 m pour un quai central.

Pour assurer la sécurité du mouvement des voyageurs et permettre l'accès des personnes à mobilité réduite (PMR), la hauteur finie des quais est définie en fonction de la hauteur de plancher du matériel roulant. En première approche la valeur de 0,30 m sera retenue.

Les stations seront implantées sur un tracé en alignement droit ou exceptionnellement sur des courbes de grand rayon ($R > 1000$ m) sans dévers.

Un alignement droit de 10 m minimum de part et d'autre des quais sera réservé, dans la mesure du possible, afin d'éviter les rescindements de quai qui augmentent la lacune horizontale entre nez de quai et matériel. En tout état de cause, la partie biseautée d'un quai ne doit pas atteindre le niveau de la première porte d'accès au véhicule. Pour des questions de coût et d'esthétique, il est autant que possible souhaitable d'éviter les extrémités de quai en biseau.

Le profil en long des quais est souhaité horizontal. En cas d'impossibilité, les stations seront implantées sur une pente constante ou en rayon parabolique de 1000 m au minimum.

Il est habituellement préconisé que la pente longitudinale maximale en station ne dépasse pas 2% pour éviter la dérive d'un véhicule dont les freins ne sont pas bloqués. Pour tenir compte de contraintes d'insertion urbaine sans nuire outre mesure à l'accessibilité PMR, une pente de 4% sera admise, et une pente de 6% sera tolérée à titre exceptionnel. Dans ces conditions de pente limite (6%), l'accessibilité PMR ne peut être assurée.

Au niveau des études de faisabilité, l'accessibilité quai – véhicule est définie par les valeurs suivantes :

- lacune horizontale entre le matériel roulant et le nez de quai inférieure à 50 mm⁴.
- lacune verticale entre le matériel roulant et le nez de quai inférieure à 30 mm⁵.

10.2 APPAREILS DE VOIE

Les appareils de voie seront implantés en alignement droit et en pente constante : en rampe ou en plateau. La pente maximale des appareils de voie en ligne est limitée à 4%⁶.

Le joint de pointe de l'appareil de voie peut être implanté au point d'origine de la clothoïde si le tracé comporte une courbe de même sens que celui de l'appareil. Dans le cas d'une courbure inverse, le joint de pointe sera implanté à 11 m minimum de l'origine de la clothoïde.

La distance minimale entre les joints d'appareils sera de 4 m.

La mise en place des équipements liés à la signalisation ferroviaire peut amener à respecter des conditions de distances minimum entre appareils de voies.

10.3 VOIES DE MANŒUVRE ET TERMINUS

La pente maximale dans les zones de manœuvre et en terminus doit être inférieure ou égale à 2% pour éviter la dérive d'un véhicule dont les freins ne sont pas bloqués (sécurité d'exploitation). Avec une pente

⁴ Cette valeur est en effet encadrée par les exigences plus strictes du COLIAC (20 mm) et celles plus souples du COLITRAH (75 mm).

⁵ Cette valeur est en effet encadrée par les exigences plus strictes du COLIAC (10 mm) et celles plus souples du COLITRAH (50 mm).

⁶ Une pente exceptionnelle de 6%, et exclusivement pour des appareils de service provisoire, pourra être envisagée au-delà des études de faisabilité si des difficultés d'insertion majeure apparaissent.

de 2%, il est préconisé de positionner une cale à manche sous une roue de la rame lors d'un stationnement prolongé.

En étude de faisabilité, la pente dans les zones de manœuvre et en terminus sera limitée à 0,5%.

10.4 OUVRAGES D'ART

Au droit des ouvrages d'art, il doit être privilégié, en termes de tracé, la mise en place d'alignement droit, notamment de part et d'autre des culées pour permettre la pose éventuelle d'appareils de dilatation de rails (10 m minimum nécessaire). Pour les mêmes raisons, le profil en long doit être en déclivité constante au droit des culées.

Dans la mesure du possible, le point haut sera mis en place en axe de l'ouvrage pour minimiser les canalisations d'assainissement.

D. LARGEURS DE PLATEFORMES

11.0 OBJET

Cette partie définit les largeurs d'emprises de la plateforme ferroviaire compte tenu des contraintes de gabarit du matériel roulant fournies dans le *Volume F1 Matériel roulant*.

12.0 DÉFINITIONS ET GLOSSAIRE

Sauf indications spécifiques, les définitions ci-dessous sont extraites du guide *Matérialisation du GLO des transports guidés urbains* [CERTU⁷, novembre 2006].

Gabarit ferroviaire : contour de référence transversal d'un véhicule ferroviaire, rapporté aux axes de coordonnées normaux, définissant l'enveloppe à l'intérieur de laquelle doit se situer le véhicule ferroviaire :

- le gabarit statique correspond à l'espace occupé par le véhicule ferroviaire à l'arrêt ;
- le gabarit dynamique correspond à l'espace occupé par le véhicule ferroviaire en mouvement : il tient compte des déplacements géométriques et dynamiques liés à la souplesse des suspensions du véhicule (inclinaisons et déports de caisse) et, le cas échéant, à certains défauts de l'infrastructure (tolérances d'exécution, dégradations associées au vieillissement, etc.).

Gabarit Limite d'Obstacle (GLO) : contour rapporté aux axes de coordonnées normales de la voie, à l'intérieur duquel aucun obstacle ne doit pénétrer, malgré les déplacements élastiques ou non de la voie [Source : norme NF F 51 501].

Obstacle fixe : tout élément rigide d'une hauteur, par rapport au plan de roulement des véhicules routiers, supérieure à 20 cm présentant un couple résistant supérieur à 570 daNm⁸ [Source : Guide technique du STRMTG⁹, GT3-DTW-Obstacles Fixes].

Lame d'air : interface de sécurité entre le gabarit dynamique et le GLO.

13.0 GABARITS FERROVIAIRES

Le matériel roulant n'étant pas encore défini, les valeurs des gabarits statique et dynamique seront des valeurs enveloppe.

La largeur de la rame considérée est de 2,65 m.

⁷ Centre d'études sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions publiques

⁸ Valeur issue du guide technique du Service Technique des Routes et Autoroutes (SETRA) intitulé : « Traitement des obstacles latéraux sur les routes principales hors agglomération » (édition 2002)

⁹ Service Technique des Remontées Mécaniques et des Transports Guidés

13.1 GABARIT STATIQUE DES VÉHICULES DE TRAMWAY

Le gabarit "statique" en alignement droit est égal au gabarit nominal du véhicule, c'est-à-dire 2,65 m.

Le gabarit "statique" en courbe est calculé à partir des données géométriques de la voie et en considérant que les axes des essieux des bogies sont sur l'axe de la voie. Ces valeurs ne prennent pas en compte les différents jeux et usures du matériel roulant et les jeux entre les roues et les rails.

Le gabarit "statique" ainsi défini caractérise l'influence des rayons des courbes sur les gabarits en général, et sur le gabarit limite d'obstacle (GLO) en particulier.

13.2 GABARIT DYNAMIQUE DES VÉHICULES DE TRAMWAY

Les valeurs de gabarit dynamique dépendent uniquement du type de matériel et des conditions dans lesquelles il est utilisé (caractéristiques géométriques de la voie essentiellement sur un plan théorique, hors défauts d'infrastructure). Elles sont élaborées sur la base des données des constructeurs de matériel à partir d'hypothèses de tracé et de modalités d'exploitation prédéfinies (rayons, vitesses, dévers éventuel, etc.).

Le gabarit dynamique est déduit du gabarit "statique" (gabarit nominal du matériel posé à vide sur la voie) en ajoutant les jeux, les usures et les déplacements dynamiques :

- déplacements de la caisse par rapport aux bogies ;
- déplacements du bogie par rapport à la voie ;
- usures des organes de liaison : suspensions, roues, etc.

à ce stade de l'étude, le calcul est simplifié, en ajoutant une valeur fixe de déplacement dynamique aux sur-largeurs géométriques, quelle que soit la valeur du rayon de la courbe. Le déplacement dynamique appliqué pour les différents véhicules est de 0,15 m.

Le gabarit "dynamique" en alignement droit est ainsi égal à 2,95 m (2,65 + 2*0,15).

14.0 GABARIT LIMITE D'OBSTACLE (GLO)

En mode guidé et en fonctionnement nominal la trajectoire des véhicules est imposée : ceux-ci ne peuvent pas dévier de leur voie pour éviter un obstacle fixe situé dans le volume qu'ils occupent quand ils passent, d'où l'importance de la notion de gabarit.

Le gabarit limite d'obstacle (GLO) sert à caractériser ce volume critique, qui est naturellement vide en l'absence du véhicule guidé, et donc transparent pour les autres usagers de l'espace public considéré.

En conséquence, le GLO définit l'espace à l'intérieur duquel aucun obstacle fixe ne doit être implanté, à l'exception toutefois du bord du quai, où l'on prend une valeur particulière compte tenu de la vitesse réduite du véhicule en station, de la bonne fondation et bonne liaison du quai avec la voie, limitant les déformations différentielles possibles.

Le GLO se développe ainsi tout au long du tracé de la ligne de transport guidé et il est intrinsèquement lié au véhicule concerné.

14.1 RÈGLES DE CALCUL

Le GLO est déterminé à partir du gabarit dynamique du véhicule fourni par le constructeur augmenté de lames d'air de sécurité (M), pour tenir compte des tolérances de pose des voies et de déformations des voies (M1) et d'une marge de sécurité (M2).

Les lames d'air correspondent à un complément de gabarit beaucoup moins bien maîtrisé que le gabarit dynamique (coefficient d'ignorance en quelque sorte). Pour une pose béton, elles sont fixées généralement à $M = 150$ mm en intérieur des courbes, extérieur des courbes, alignement droit et entre deux voies sans poteaux.

Ces valeurs ont été acquises par l'expérience et restent très théoriques. Elles tiennent compte :

- de toutes les tolérances d'exécution, comme par exemple les tolérances de positionnement de l'axe des voies généralement situées dans un fuseau de ± 4 mm ;
- des usures de rail (usure latérale maximale : 5 mm) ;
- des déplacements / affaissements de la voie en exploitation engendrés par les efforts roue / rail ;
- des risques de mouvement des installations fixes : supports de ligne, des candélabres, poteaux de signalisation, etc.

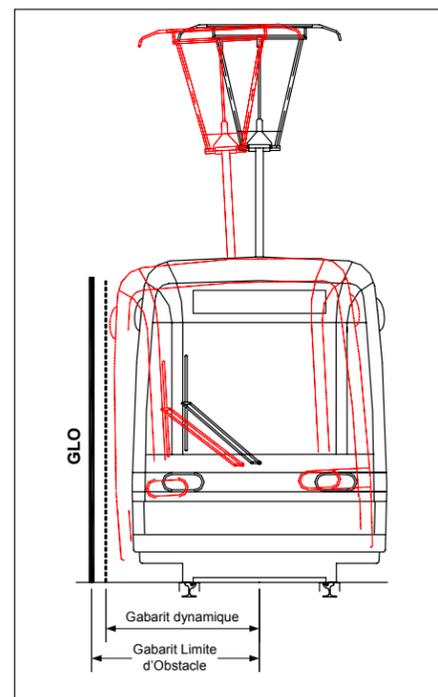
Cette valeur de lame d'air M est plutôt conservative (on peut descendre jusqu'à 100 à 120 mm).

14.2 VALEURS

La valeur du GLO intérieur courbe est ainsi égale à : $GLO\ int = Gabarit\ dynamique\ intérieur + 150\ mm.$

La valeur du GLO extérieur courbe est ainsi égale à : $GLO\ ext = Gabarit\ dynamique\ extérieur + 150\ mm.$

Figure 14.1 Gabarit dynamique et GLO

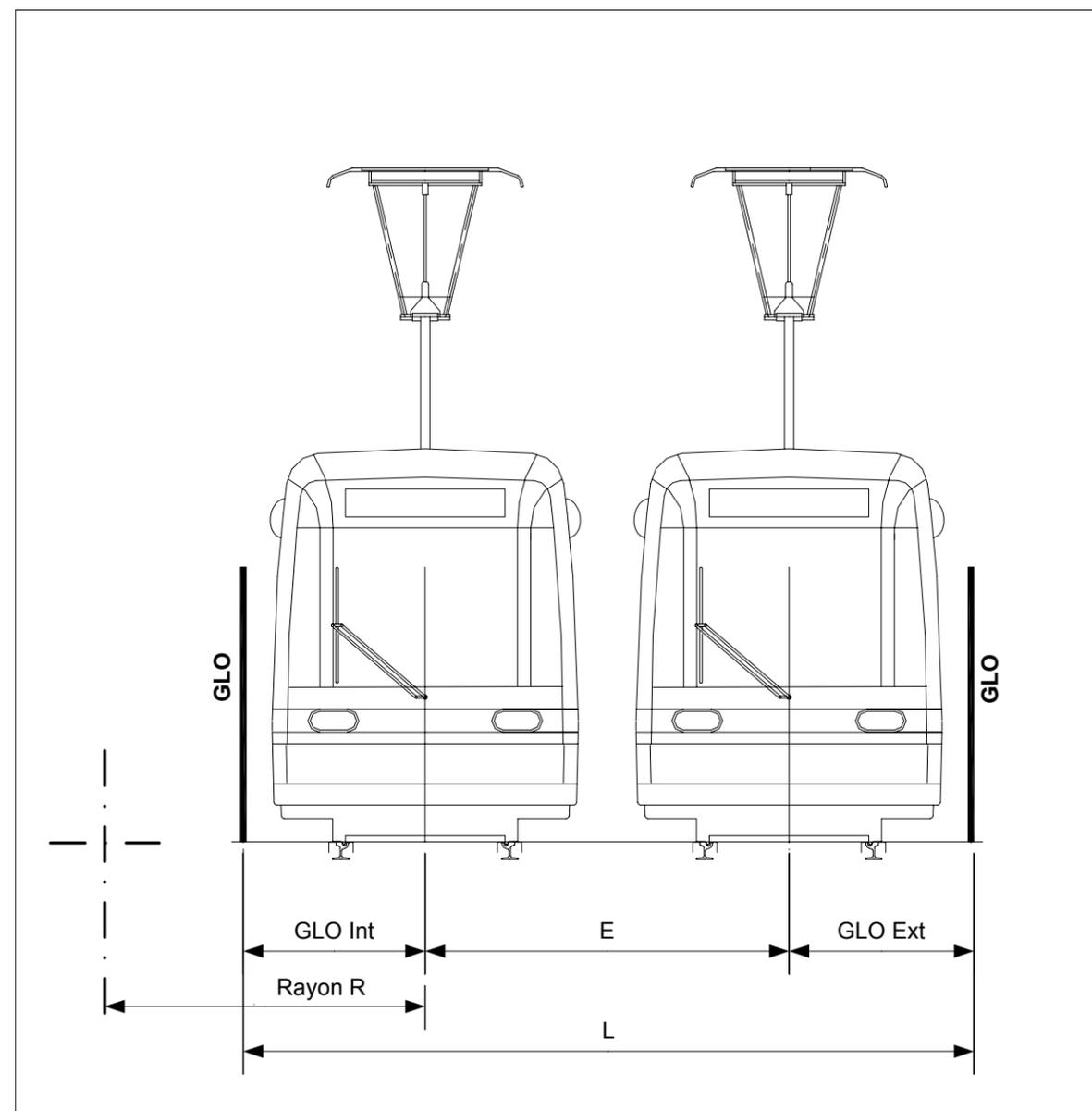


15.0 DIMENSIONNEMENT DE LA PLATEFORME

15.1 VOIES COURANTES

Les dimensions de la plate-forme sont définies en fonction du GLO, de la position des supports de la Ligne Aérienne de Contact (LAC) et de la dimension de ces supports (en cas de poteaux centraux).

Figure 15.1 Définition de la largeur de plateforme, GLO et entraxes



La dimension des supports de LAC dépend de leur forme (en H ou cylindro-conique) et des contraintes météorologiques (force du vent, poids de neige et de verglas, etc.). Nous retiendrons ici une valeur de 350 mm qui couvre les différents types de supports courants.

Les poteaux d'effort (courbes de faible rayon, rappel, ancrage), qui présentent une largeur plus importante (jusqu'à 500 mm selon le type), seront implantés de préférence à l'extérieur de la plateforme. De plus, les poteaux centraux ne sont pas installés en courbe pour des rayons inférieurs à 150 m.

L'entraxe des voies avec supports de LAC latéraux ($E_{LAC_Latérale}$), en courbe et en alignement droit, est la somme de 3 termes :

- le gabarit dynamique intérieur ;
- 1 lame d'air (150 mm) ;
- le gabarit dynamique extérieur.

L'entraxe des voies avec poteaux de LAC centraux ($E_{LAC_Centrale}$) est la somme de 4 termes :

- le gabarit dynamique intérieur ;
- 2 lames d'air (300 mm) ;
- la largeur du poteau (350 mm) ;
- le gabarit dynamique extérieur.

15.2 SUR HAUTEURS DUES AU PROFIL EN LONG

La sur hauteur due au profil en long, dans les raccordements de déclivités convexes ou concaves, est calculée en fonction du rayon de la parabole et des caractéristiques du matériel roulant.

Cette sur hauteur, noté Sh , est à prendre en compte uniquement dans les cas d'ouvrages souterrains et pour les passages sous ouvrages d'art.

Tableau 15.1 Valeurs de sur hauteur dû au profil en long

R(m)	Sh (m)	
	Raccordement convexe	Raccordement concave
350	0,037	0,046
450	0,029	0,035
500	0,026	0,032
1 000	0,013	0,016
1 500	0,009	0,010
2 000	0,007	0,008
5 000	0,005	0,006

16.0 COUPES TYPE DU GABARIT LIBRE D'OBSTACLE (GLO)

Figure 16.1 Voie unique en alignement droit

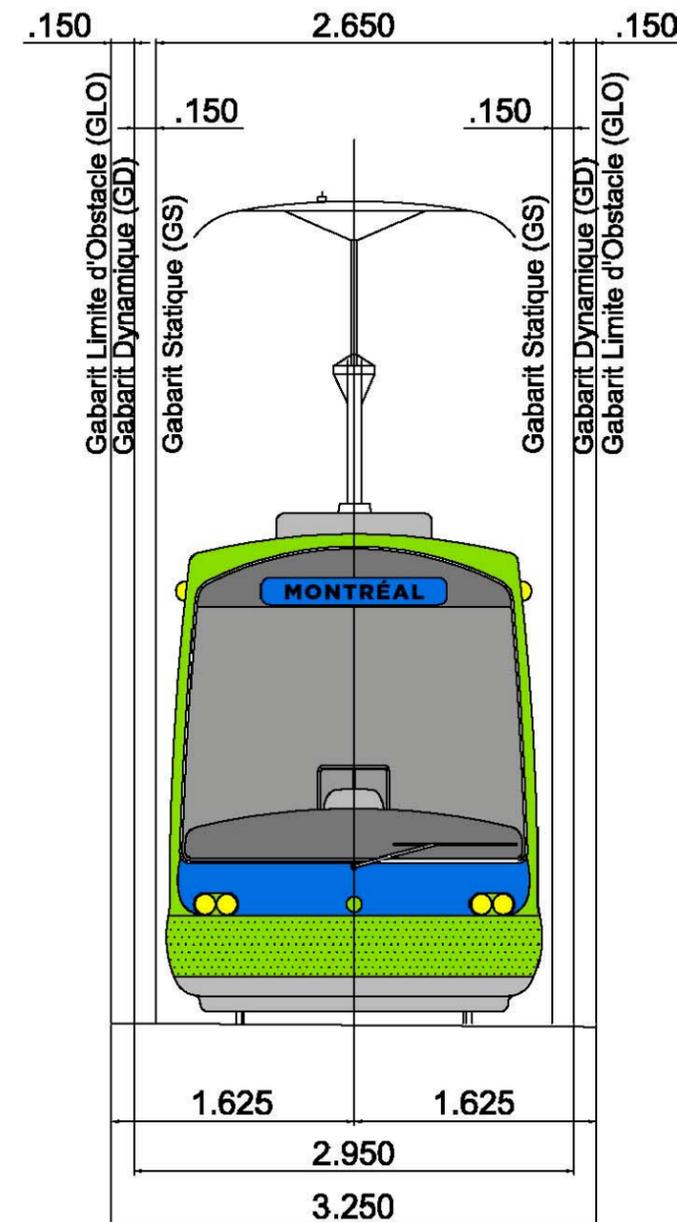


Figure 16.2 Voie double en alignement droit sans poteaux centraux

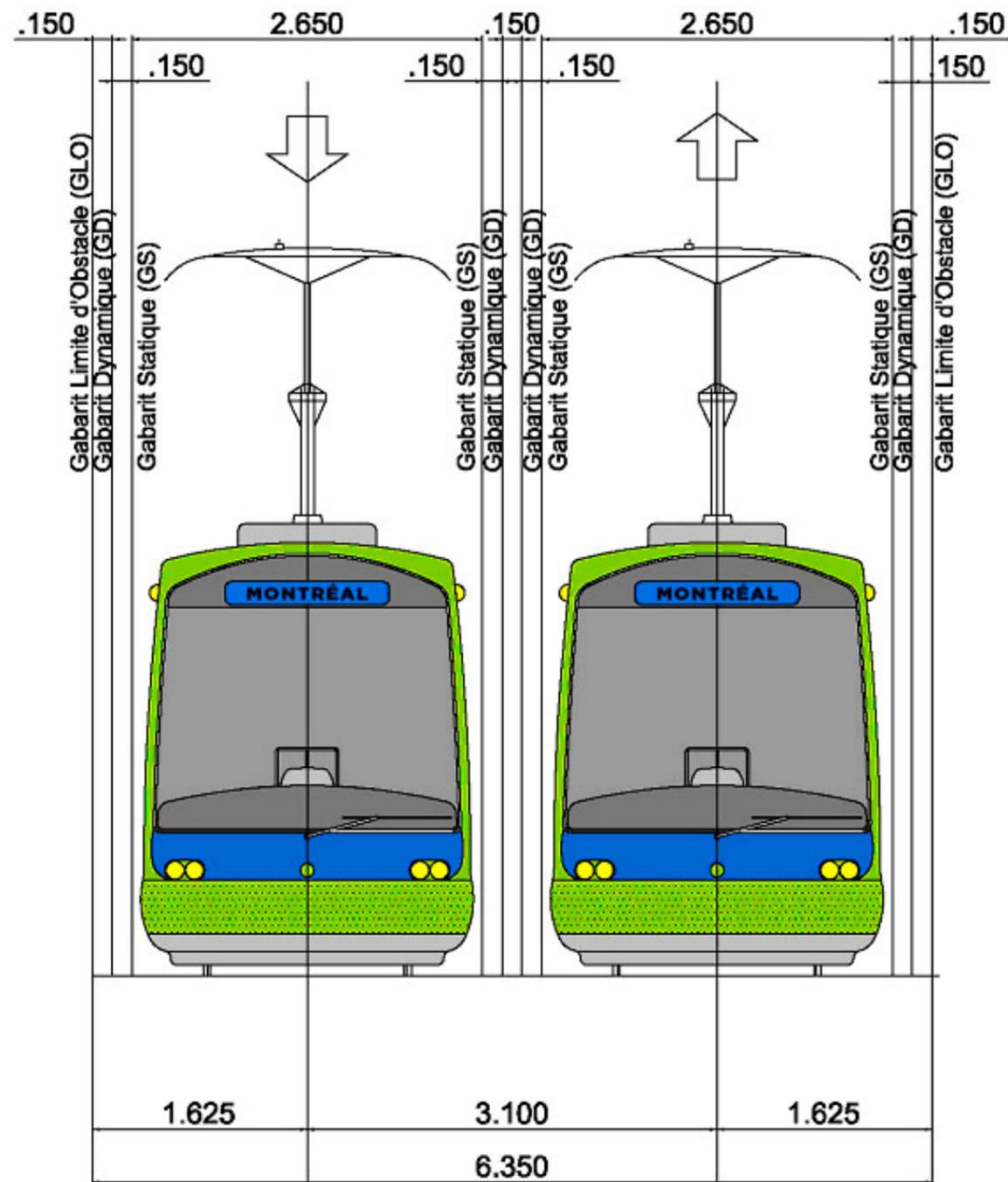


Figure 16.3 Voie double en alignement droit avec poteaux centraux

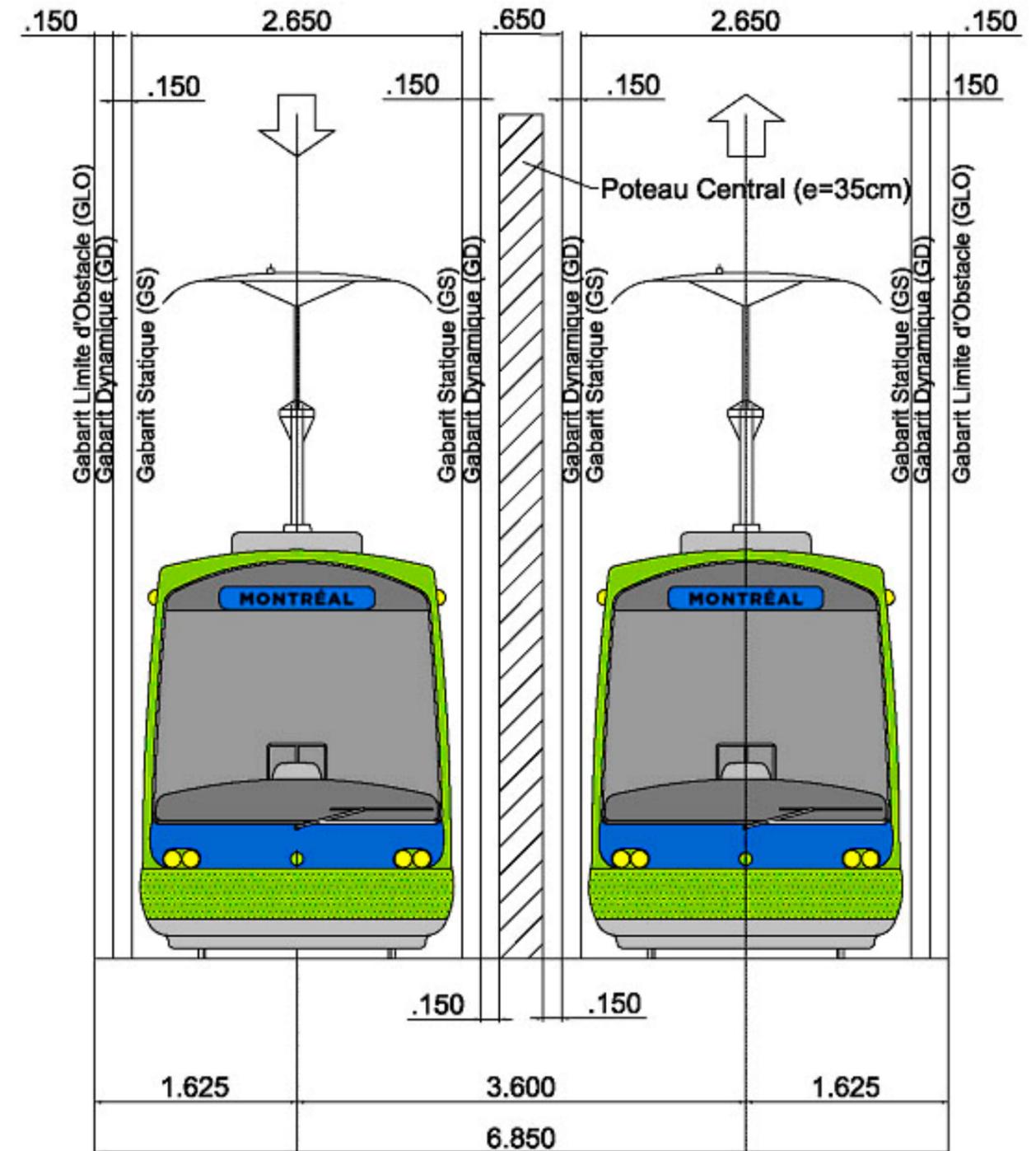


Figure 16.4 En station à quais latéraux, sans poteaux centraux

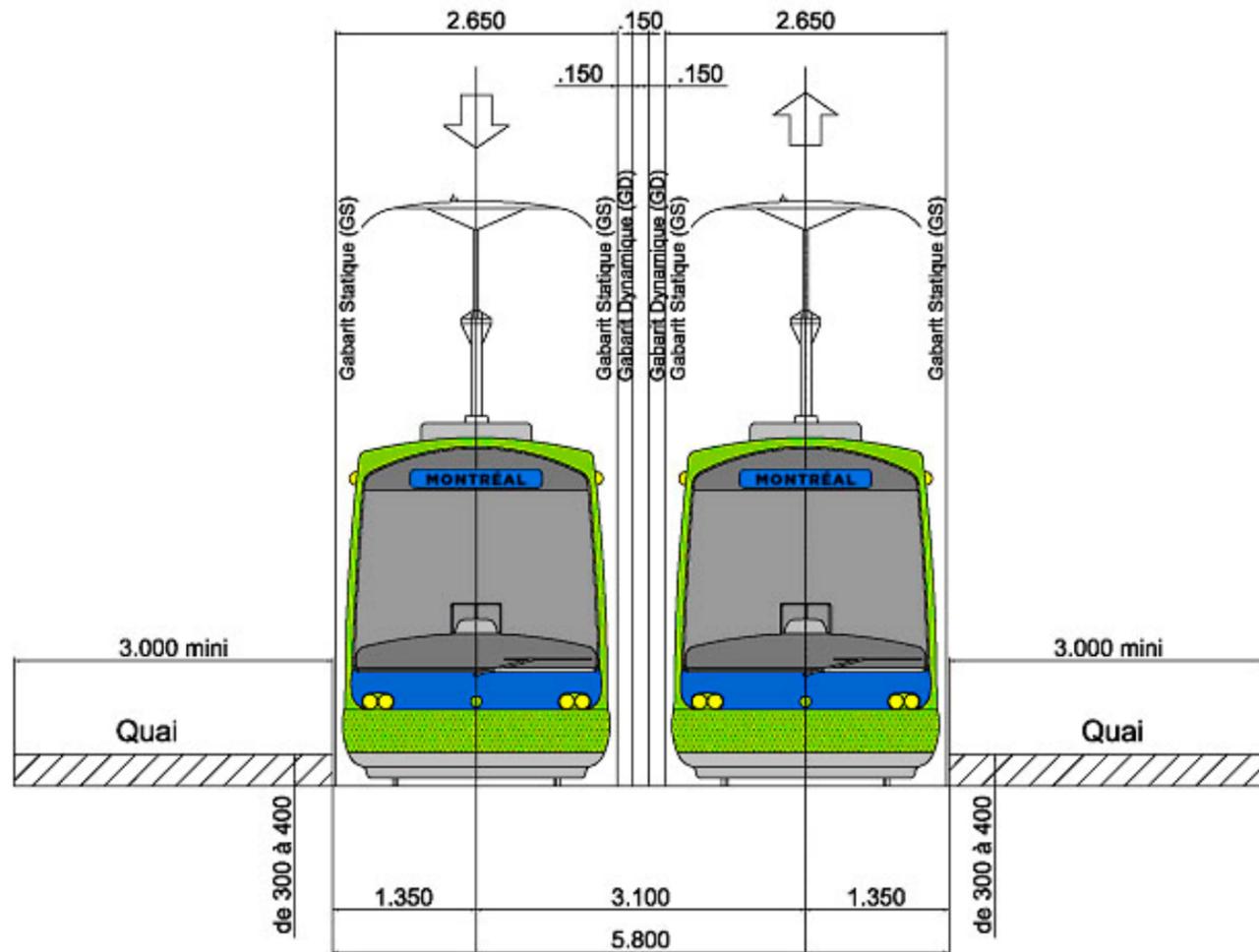
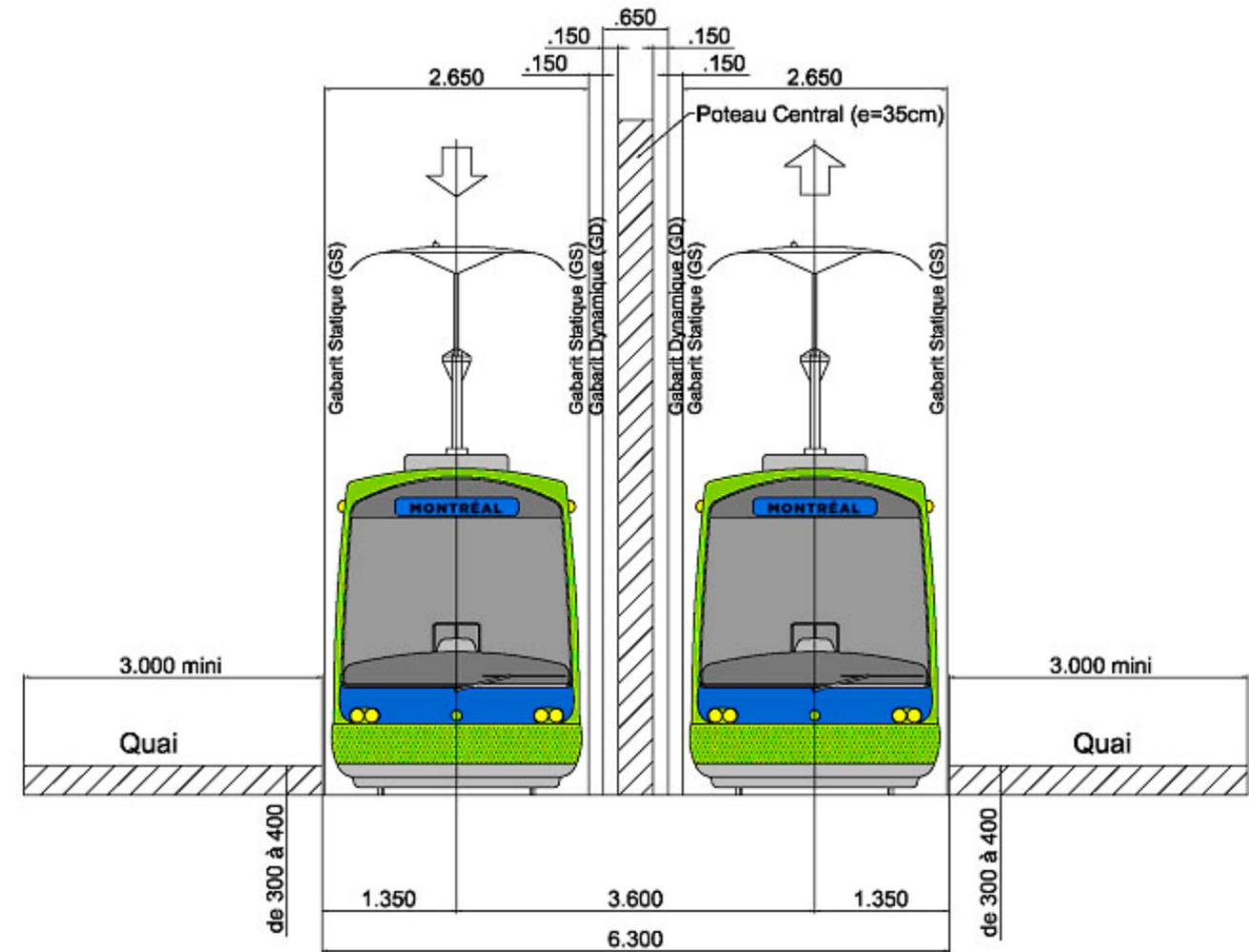


Figure 16.5 En station à quais latéraux, avec poteaux centraux



E.GABARITS DES ÉLÉMENTS DE VOIRIE

17.0 NORMES ET USAGES

Afin d'obtenir un portrait global des façons de faire en matière de tramway en milieu urbain, diverses normes et références ont été identifiées et consultées. Les normes canadiennes et québécoises ne traitent pas directement du cas présent.

Ainsi, pour définir les paramètres de conception géométriques utilisés dans la présente étude, les habitudes de la Ville de Montréal en matière d'aménagements routiers, cyclistes et piétons ont été retenus. En ce qui concerne les éléments relatifs au tramway, les gabarits géométriques définis au préalable (GLO) sont retenus.

Pour chaque élément géométrique composant un profil de chaussée, différents paramètres ont été définis, en fonction des contraintes locales du projet :

- des valeurs de base, correspondant aux valeurs utilisées par défaut dans le présent projet. Ces valeurs répondent à l'ensemble des contraintes de sécurité et d'exploitation et elles sont adaptées au contexte contraignant du projet.
- des valeurs maximales, correspondant à des valeurs de conception théoriques et idéales dans le cas d'un projet à réaliser dans un territoire vaste sans contraintes d'emprise. Dans le cadre du présent projet, ces valeurs peuvent être appliquées dans des cas où les aménagements actuels ou les emprises permettent d'augmenter le confort des usagers ou de réduire les travaux à réaliser afin de s'insérer dans les bordures existantes.

Dans le cas où l'espace disponible n'est pas suffisant pour accommoder l'ensemble des fonctions souhaitables, deux options sont envisagées:

- limiter le nombre ou l'ampleur des fonctions à assurer (supprimer le stationnement, réduire le nombre de voies de circulation, etc.);
- diminuer les valeurs des paramètres de base, tout en assurant la sécurité de l'ensemble des usagers (voies de circulation étroites, trottoirs réduits, etc.).

18.0 PARAMÈTRES DE CONCEPTION GÉOMÉTRIQUE PROPOSÉS

Ainsi, il est proposé de retenir les valeurs suivantes comme paramètres de conception géométrique du présent projet:

Tableau 18.1 Paramètres de conception géométriques

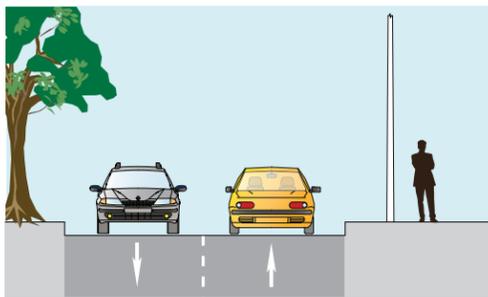
Élément géométrique	Dimension de base
Deux voies de circulation en sens inverse entre 2 éléments physiques (trottoir, station, terre-plein)	7,00 m
Deux voies de circulation dans la même direction entre le trottoir et la plateforme du tramway (non séparée physiquement)	6,8 m
Une voie de circulation entre 2 éléments physiques (trottoir, station, terre-plein)	5,50 m
Une voie de circulation entre le trottoir et la plateforme du tramway (non séparée physiquement)	4,00 m
Voie de virages à gauche	3,10 m
Voie de virages à droite	3,20 m
Trottoir	1,70 m (+ 1,3m de zone tampon à l'arrière ou en bordure de chaussée pour mobilier urbain et éclairage)
Accotement	Aucun accotement prévu en milieu urbain. Toutefois un dégagement de 0,5 mètre est prévu en présence de terre-plein et d'îlot déviateur.
Terre-plein avec émergence (lampadaire, fût pour feux, support de LAC, etc.)	1,20 m
Bordure semi-franchissable	300 mm de large / 100 mm de haut
Refuge piéton	1,80 m
Bande cyclable	1,80 m
Piste cyclable	3,00 m
Vitesse de conception	50 km/h (ou adaptée au contexte local)
Véhicule de conception	IBUS En phase 2, selon les cas, d'autres véhicules de conception plus contraignants seront pris en compte (WB-17, WB-20)

Note: Le dimensionnement des éléments géométriques est pour fin d'analyse de départ, mais peut être adapté pour tenir compte du type et du caractère de la rue, de l'utilisation du sol et des différentes contraintes qui seront étudiées en Phase 2.

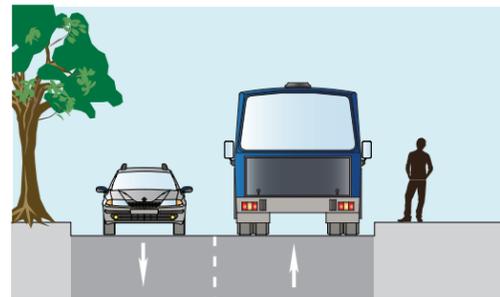
Des exemples d'application de ces paramètres sont illustrés sur la Figure 18.1 et la Figure 18.2 ci-après

VOIES DE CIRCULATION SANS TRAMWAY

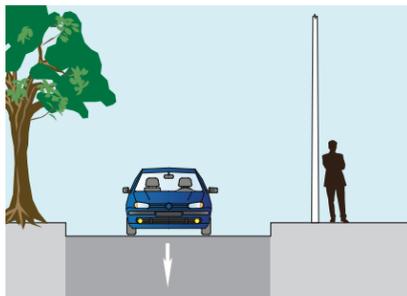
Deux voies entre deux éléments (trottoir, terre-plein)



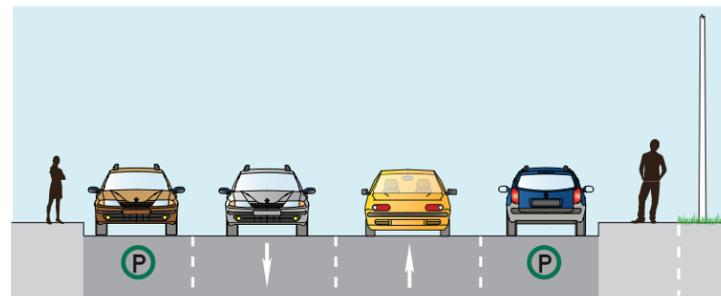
Une voie entre deux éléments avec voie pour autobus



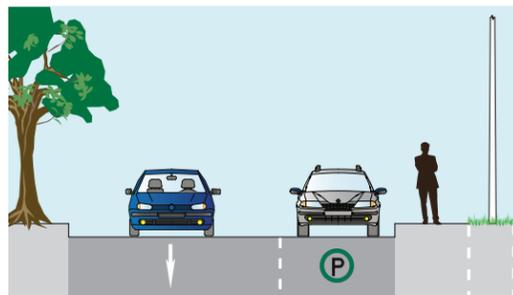
Une voie entre deux éléments (trottoir, terre-plein)



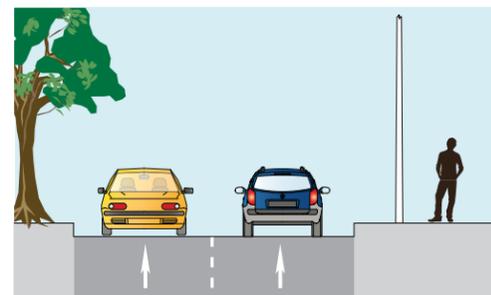
Deux voies entre deux espaces de stationnement permanent



Une voie entre deux éléments avec stationnement

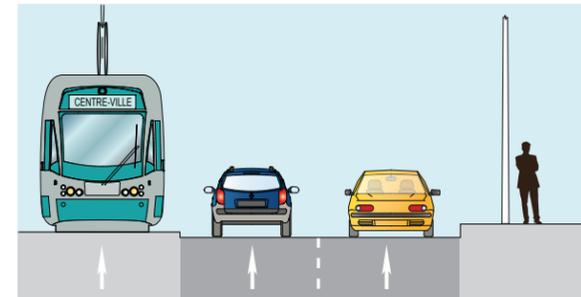


Deux voies entre deux éléments (trottoir, terre-plein)

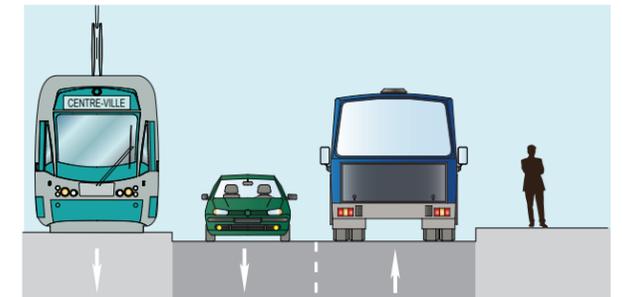


VOIES DE CIRCULATION AVEC TRAMWAY

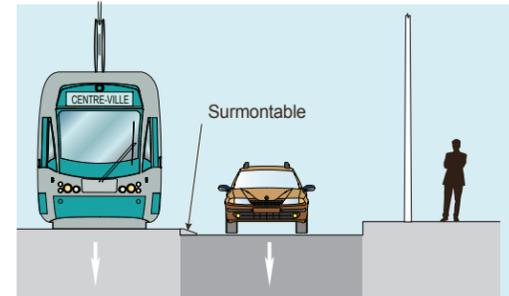
Deux voies entre la plateforme du tramway et le trottoir



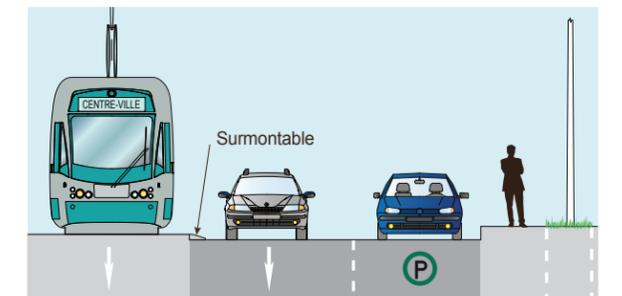
Une voie entre la plateforme du tramway et le trottoir avec voie pour autobus



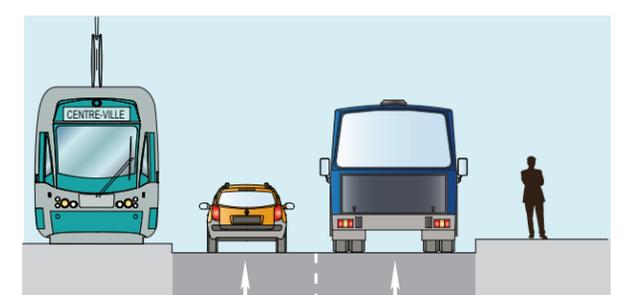
Une voie entre la plateforme du tramway et le trottoir



Une voie entre la plateforme du tramway et le trottoir avec stationnement

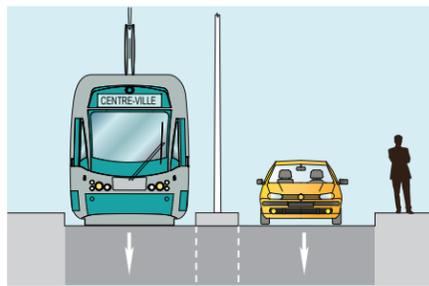


Une voie et une voie autobus entre la plateforme et le trottoir

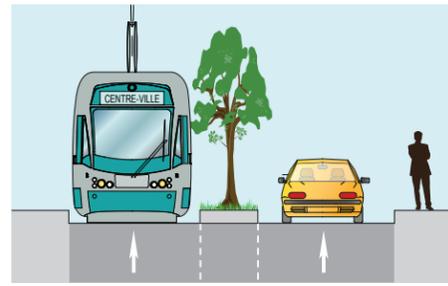


SÉPARATION TRAMWAY - CIRCULATION

Terre-plein avec émergence (lampadaire, fût)

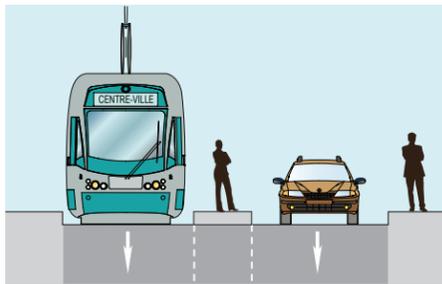


Terre-plein planté

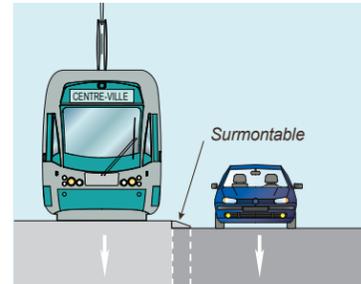


Refuge pour piéton

Programmation des feux pour assurer la traversée en un temps

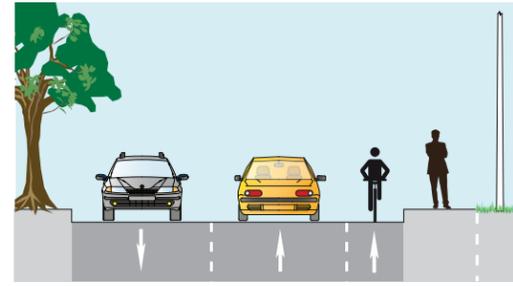


Bordure semi-franchissable

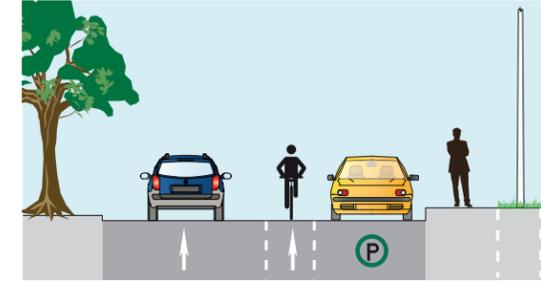


SÉPARATION TRAMWAY - PISTE CYCLABLE

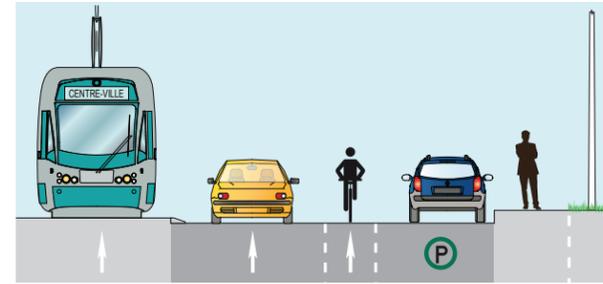
Deux voies entre deux éléments avec voie cyclable



Une voie entre deux éléments avec voie cyclable et stationnement



Une voie entre la plateforme du tramway et le trottoir avec voie cyclable et stationnement



F. GESTION DES CONFLITS

19.0 OBJET

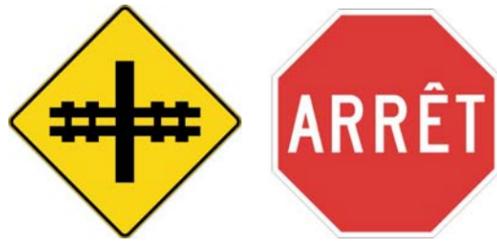
Cette partie définit les principaux types de conflits potentiels entre le tramway et la circulation, ainsi que les principes de leur gestion.

En raison de l'absence actuelle de tramway au Québec, les normes de conception des feux de circulation ne tiennent pas compte de ce cas spécifique. Pour la suite du projet, il sera donc indispensable de présenter les différents principes de gestion des conflits proposés dans la présente étude à la commission ad hoc du MTQ, afin de les faire valider et de les inclure aux futures normes.

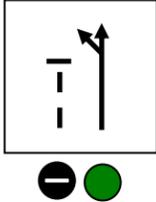
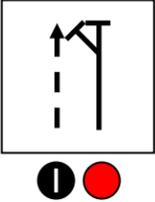
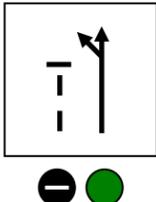
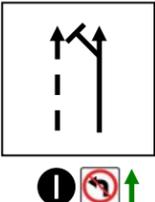
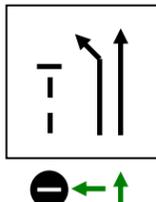
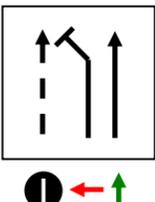
Comme les normes de Transports Québec ne contiennent pas de signalisation statique, dynamique ou lumineuse pour les tramways, Le chapitre 10 *Traffic Controls for Highway-Light Rail Transit Grade Crossings* du *Manual of Uniform Traffic Control Devices* du FHWA des États-Unis a été pris comme source de référence pour les principes de gestion et le type de signalisation statique, dynamique et lumineuse (véhiculaire et tramway) en prenant compte le contexte Québécois.

20.0 PRINCIPES DE GESTION DES CONFLITS AVEC LA CIRCULATION

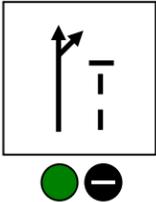
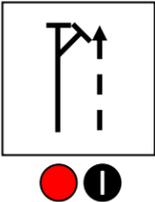
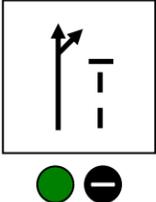
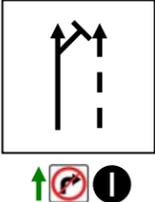
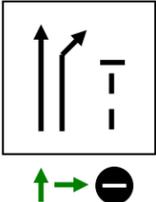
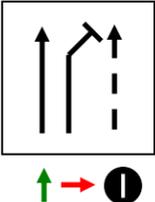
20.1 TYPOLOGIE DES CARREFOURS SUR LE TRACÉ DU TRAMWAY

1. NŒUDS ROUTIERS AVEC CHARGES DE TRAFIC IMPORTANTES				
TYPE DE GESTION DES CONFLITS	PRINCIPES DE FONCTIONNEMENT		CARACTÉRISTIQUES	
<ul style="list-style-type: none"> Carrefour géré par feux en permanence 		1	Le tramway est détecté avec le carrefour	<ul style="list-style-type: none"> Conflits circulation – tramway totalement gérés par les feux, garantissant la sécurité des usagers Nécessité, à certains carrefours, d'aménager des voies de virage pour éviter des pertes de capacités trop importantes
		2	Les mouvements antagonistes sont fermés (si ouverts) Tous les mouvements compatibles avec le tramway sont ouverts (si demandé)	
		3	Quittance de passage du tramway et reprise du fonctionnement "normal" des feux	
2. NŒUDS ROUTIERS AVEC CHARGES DE TRAFIC PEU IMPORTANTES				
TYPE DE GESTION DES CONFLITS	PRINCIPES DE FONCTIONNEMENT		CARACTÉRISTIQUES	
<ul style="list-style-type: none"> Carrefour non géré par feux Signalisation de la présence d'un franchissement du tramway Signalisation active d'annonce de l'arrivée du tramway 		1	Le tramway est détecté avec le carrefour	<ul style="list-style-type: none"> Conflits circulation – tramway non gérés par feux Sécurité renforcée par une signalisation d'approche du tramway
		2	La signalisation est activée, avertissant les automobilistes de l'arrivée du tramway	
		3	Quittance de passage du tramway et extinction du signal	
3. NŒUDS ROUTIERS AVEC CHARGES DE TRAFIC TRES FAIBLES				
TYPE DE GESTION DES CONFLITS	PRINCIPES DE FONCTIONNEMENT		CARACTÉRISTIQUES	
<ul style="list-style-type: none"> Aucune signalisation lumineuse Carrefour géré par panneau d'arrêt Signalisation de la présence d'un franchissement du tramway 			Aucune signalisation lumineuse ne prévient l'automobiliste de l'arrivée du tramway	<ul style="list-style-type: none"> Signalisation fixe seulement
			Les mouvements antagonistes au tramway sont libres	

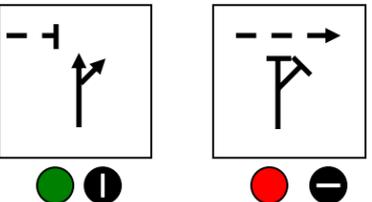
20.2 TYPOLOGIE D'EXPLOITATION DES CONFLITS EN VIRAGE À GAUCHE ET EFFETS

1. MESURES DE SIGNALISATION		
TYPE D'EXPLOITATION DU CONFLIT		PRINCIPAUX EFFETS SUR LA CIRCULATION
<ul style="list-style-type: none"> Autoriser le mouvement Aménagement éventuel d'une voie de virage Conflit circulation – tramway toléré Signalisation éventuelle à l'approche du tramway 	 	<ul style="list-style-type: none"> Pas de perte de capacité au carrefour Problèmes éventuels de sécurité des automobilistes Favorise l'accessibilité locale
RECOMMANDATION		
<ul style="list-style-type: none"> Envisageable si bonne visibilité et très faibles flux de circulation en conflit avec le tramway 		
2. MESURES DE RÉGULATION		
TYPE D'EXPLOITATION DU CONFLIT		PRINCIPAUX EFFETS SUR LA CIRCULATION
<p>2.1 Absence de voie de virage et gestion par split phase</p> <ul style="list-style-type: none"> Conflit circulation – tramway non toléré Couper toute circulation en conflit avec le tramway, notamment le mouvement tout droit et virage à gauche 	 	<ul style="list-style-type: none"> Importante perte de capacité sur l'axe principal Assure la sécurité des automobilistes et du tramway
<p>2.2 Absence de voie de virage et gestion par mouvement</p> <ul style="list-style-type: none"> Conflit circulation – tramway non toléré Couper toute circulation en conflit avec le tramway (illumination d'un signal d'interdiction de virage) Maintenir ouvert les mouvements compatibles avec le tramway, notamment le tout droit (transition de la boule verte à la flèche verte) 	 	<ul style="list-style-type: none"> Optimisation de la capacité du carrefour Sécurité des automobilistes soumise au respect de la signalisation Favorise l'accessibilité locale Nécessite un important matériel de régulation (détection, têtes de feux, etc)
<p>2.3 Voie de virage et gestion par mouvement</p> <ul style="list-style-type: none"> Conflit circulation – tramway non toléré Couper toute circulation en conflit avec le tramway Maintenir ouvert les mouvements compatibles avec le tramway, notamment le tout droit 	 	<ul style="list-style-type: none"> Optimisation de la capacité du carrefour Assure la sécurité des automobilistes e du tramway Favorise l'accessibilité locale Nécessite un important matériel de régulation (détection, têtes de feux, etc)
RECOMMANDATION		
<ul style="list-style-type: none"> Envisageable sur des axes à trafic modéré, si de bonnes réserves de capacités sont disponibles et les contraintes géométriques sont fortes Envisageable si mouvement de virage faible sur axes à deux voies de circulation, afin de maintenir une voie pour le trafic sur l'axe principal Recommandé si l'espace de voirie est disponible Nécessaire si les mouvements de virage sont forts 		
3. MESURES DE PLAN DE CIRCULATION		
TYPE D'EXPLOITATION DU CONFLIT		PRINCIPAUX EFFETS SUR LA CIRCULATION
<ul style="list-style-type: none"> Interdire le mouvement 		<ul style="list-style-type: none"> Pénalise l'accessibilité locale Assure la sécurité des automobilistes (si respecté) Induit des reports de trafic sur les axes et carrefours voisins
RECOMMANDATION		
<ul style="list-style-type: none"> Envisageable en cas de géométrie contrainte et de possibilité de desserte de l'axe transversal par d'autres itinéraires Nécessite l'étude du plan de circulation local, afin d'évaluer les impacts sur les autres carrefours 		

20.3 TYPOLOGIE D'EXPLOITATION DES CONFLITS EN VIRAGE À DROITE ET EFFETS

1. MESURES DE SIGNALISATION			
TYPE D'EXPLOITATION DU CONFLIT		PRINCIPAUX EFFETS SUR LA CIRCULATION	RECOMMANDATION
<ul style="list-style-type: none"> Autoriser le mouvement Aménagement éventuel d'une voie de virage Conflit circulation – tramway toléré Signalisation éventuelle à l'approche du tramway 	 	<ul style="list-style-type: none"> Pas de perte de capacité au carrefour Problèmes éventuels de sécurité des automobilistes Favorise l'accessibilité locale 	<ul style="list-style-type: none"> Envisageable si bonne visibilité et très faibles flux de circulation en conflit avec le tramway
2. MESURES DE RÉGULATION			
TYPE D'EXPLOITATION DU CONFLIT		PRINCIPAUX EFFETS SUR LA CIRCULATION	RECOMMANDATION
<p>2.1 Absence de voie de virage et gestion par split phase</p> <ul style="list-style-type: none"> Conflit circulation – tramway non toléré Couper toute circulation en conflit avec le tramway, notamment le mouvement tout droit et virage à gauche 	 	<ul style="list-style-type: none"> Importante perte de capacité sur l'axe principal Assure la sécurité des automobilistes e du tramway 	<ul style="list-style-type: none"> Envisageable sur des axes à trafic modéré, si de bonnes réserves de capacités sont disponibles et les contraintes géométriques sont fortes
<p>2.2 Absence de voie de virage et gestion par mouvement</p> <ul style="list-style-type: none"> Conflit circulation – tramway non toléré Couper toute circulation en conflit avec le tramway (illumination d'un signal d'interdiction de virage) Maintenir ouvert les mouvements compatibles avec le tramway, notamment le tout droit (transition de la boule verte à la flèche verte) 	 	<ul style="list-style-type: none"> Optimisation de la capacité du carrefour Sécurité des automobilistes soumise au respect de la signalisation Favorise l'accessibilité locale Nécessite un important matériel de régulation (détection, têtes de feux, etc.) 	<ul style="list-style-type: none"> Envisageable si mouvement de virage faible sur axes à deux voies de circulation, afin de maintenir une voie pour le trafic sur l'axe principal
<p>2.3 Voie de virage et gestion par mouvement</p> <ul style="list-style-type: none"> Conflit circulation – tramway non toléré Couper toute circulation en conflit avec le tramway Maintenir ouvert les mouvements compatibles avec le tramway, notamment le tout droit 	 	<ul style="list-style-type: none"> Optimisation de la capacité du carrefour Assure la sécurité des automobilistes e du tramway Favorise l'accessibilité locale Nécessite un important matériel de régulation (détection, têtes de feux, etc.) 	<ul style="list-style-type: none"> Recommandé si l'espace de voirie est disponible Nécessaire si les mouvements de virage sont forts
3. MESURES DE PLAN DE CIRCULATION			
TYPE D'EXPLOITATION DU CONFLIT		PRINCIPAUX EFFETS SUR LA CIRCULATION	RECOMMANDATION
<ul style="list-style-type: none"> Interdire le mouvement 		<ul style="list-style-type: none"> Pénalise l'accessibilité locale Assure la sécurité des automobilistes (si respecté) Induit des reports de trafic sur les axes et carrefours voisins 	<ul style="list-style-type: none"> Envisageable en cas de géométrie contrainte et de possibilité de desserte de l'axe transversal par d'autres itinéraires Nécessite l'étude du plan de circulation local, afin d'évaluer les impacts sur les autres carrefours

20.4 TYPOLOGIE D'EXPLOITATION DES CONFLITS TRANSVERSAUX ET EFFETS

1. MESURES DE SIGNALISATION		
TYPE D'EXPLOITATION DU CONFLIT		
<p>1.1 Avec signalisation active</p> <ul style="list-style-type: none"> Autoriser le mouvement Conflit circulation – tramway toléré Signalisation à l'approche du tramway 		<p>PRINCIPAUX EFFETS SUR LA CIRCULATION</p> <ul style="list-style-type: none"> Pas de perte de capacité au carrefour Sécurité des automobilistes renforcée par la signalisation d'approche du tramway Favorise l'accessibilité locale
<p>1.2 Sans signalisation active</p> <ul style="list-style-type: none"> Autoriser le mouvement Conflit circulation – tramway toléré Absence de signalisation à l'approche du tramway 		<p>PRINCIPAUX EFFETS SUR LA CIRCULATION</p> <ul style="list-style-type: none"> Pas de perte de capacité au carrefour Problèmes éventuels de sécurité des automobilistes Favorise l'accessibilité locale
2. MESURES DE RÉGULATION		
TYPE D'EXPLOITATION DU CONFLIT		
<ul style="list-style-type: none"> Conflit circulation – tramway non toléré Couper toute circulation en conflit avec le tramway, notamment la transversale 		<p>PRINCIPAUX EFFETS SUR LA CIRCULATION</p> <ul style="list-style-type: none"> Assure la sécurité des automobilistes e du tramway
		<p>RECOMMANDATION</p> <ul style="list-style-type: none"> Envisageable si bonne visibilité et très faibles flux de circulation en conflit avec le tramway (sortie de stationnement, sortie de ruelle, etc.)
		<p>RECOMMANDATION</p> <ul style="list-style-type: none"> Envisageable si très bonne visibilité et très faibles flux de circulation en conflit avec le tramway (sortie de stationnement, sortie de ruelle, etc.)
		<p>RECOMMANDATION</p> <ul style="list-style-type: none"> Gestion par défaut des conflits transversaux