



TRAMWAY de Montréal

PHASE 2
Étude de faisabilité de la première ligne



PHASE 2 – ÉTUDE DE FAISABILITÉ DE LA PREMIÈRE LIGNE

Volume F1 – Matériel roulant

Tramway de Montréal

14 octobre 2011

090802	25	F1	ALL	RAP	CGS	01	2.0
Projet	Phase	Livrable	Lieu.	Forme	Émetteur	Numéro	Version



SIGNATURES

	Rédigé par	Vérifié par
Prénom, Nom	Florient Lacroix	François Lajarige
Fonction	Spécialiste matériel roulant	Spécialiste, transport
Signature		

	Validé par	Approuvé par
Prénom, Nom	Claude Messier, ing. (OIQ 35856)	Pierre-André Dugas, ing. (OIQ 25694)
Fonction	Directeur technique adjoint	Directeur de projet
Signature		

VERSIONS

Version	Date	Nature du document
1.0	2011-04-29	Rapport préliminaire
2.0	2011-10-14	Rapport final

Référence complète

Consortium GENIVAR - SYSTRA (2010) PHASE 2 – ÉTUDE DE FAISABILITÉ DE LA PREMIÈRE LIGNE, Volume F1 – Matériel roulant
 Pour la Ville de Montréal, Montréal, 31 pages et annexes.

\\SERV-REL-DATA1\projets\Montreal\M1140XX\M114012\01-Structure\25 Phase 2\F Systemes\F1 Matériel roulant\70 Livrables\20110429 v1.0\090802_25_F1_ALL_RAP_CGS_01_v1.0_Matieriel Roulant_201104-29.doc



MISE EN GARDE GÉNÉRALE

Le présent rapport fait partie d'une série de volumes réalisés par le consortium Genivar-Systra dans le cadre de l'étude de faisabilité de la première ligne du tramway de Montréal, et ce, pour le compte de la Ville. Cette étude de faisabilité est la seconde phase du projet et fait suite à l'analyse du réseau initial (phase 1).

La phase 2 avait pour but de définir le cadre technique du projet avec un volet important portant sur l'insertion urbaine du tramway. L'étude a permis de qualifier et quantifier les principaux impacts, les coûts, l'échéancier de réalisation et d'autres aspects propres à un projet de tramway afin de définir sa faisabilité et ainsi fournir à la Ville de Montréal et à ses partenaires les renseignements pertinents pour statuer sur la poursuite du projet.

Il importe de mentionner que les résultats présentés dans les différents volumes produits par le consortium Genivar-Systra n'ont pas été approuvés par les instances de la Ville. De plus, il convient de rappeler que tous les résultats doivent être considérés comme préliminaires et seront complétés, corrigés ou validés lors de la phase suivante, soit l'avant-projet.

MISE EN GARDE SPÉCIFIQUE

Il est à noter que, contrairement aux autres volumes, lesquels offrent des contenus inédits, le présent rapport constitue une mise à jour du volume F1 produit par le consortium Genivar-Systra lors de la phase 1 (analyses du réseau initial de tramway).

PREAMBULE

Le présent document constitue le volume F1 – Matériel roulant – des études de faisabilité de la première ligne de tramway de Montréal.

Le volume F1 décrit les fonctionnalités principales d'un tramway moderne en se plaçant aussi bien du point de vue de l'utilisateur que de l'exploitant. Il présente succinctement les différents matériels existant à la date de rédaction du rapport qui répondent aux fonctionnalités préconisées.

Ce document est constitué de 3 parties, brièvement présentées ci-dessous :

- La partie A - "Préprogramme fonctionnel du matériel roulant" décrit les principaux éléments fonctionnels (fonctionnalités et spécifications fonctionnelles) du tramway. Il traite également de l'environnement opérationnel spécifique montréalais (conditions climatiques et présences de fortes rampes) ;
- La partie B - "Présentation des matériels tramways existants" décrit les principales caractéristiques fonctionnelles des tramways modernes existant sur le marché, qui sont susceptibles de répondre aux exigences précisées dans le préprogramme fonctionnel.
- La partie C - "Choix du design du matériel roulant" constitue un outil d'aide à la décision destiné à aider la Ville de Montréal dans le choix du processus de design du matériel roulant.

SYNTHESE

Objet du document

Le volume décrit les fonctionnalités principales de la première ligne de tramway et présente succinctement les différents matériels existant à la date de rédaction du rapport et répondant aux fonctionnalités préconisées.

Les éléments présentés dans ce document ont été validés à travers des échanges que le consortium a eu avec divers fournisseurs de matériel roulant (voir copie du courrier au chapitre D) et exploitant de réseaux de tramway, notamment lors du colloque organisé dans le cadre de ce projet sur l'exploitation du tramway en mode hivernal, avec des représentants des réseaux de Minneapolis, Calgary, Helsinki et Göteborg.

FONCTION TRANSPORT

Le matériel roulant est bidirectionnel, de type articulé avec intercirculations.

La largeur retenue est de 2,65 m afin d'offrir aux clients un confort maximum (largeur de couloir et/ou de siège). Les études d'exploitation réalisées dans le *Volume C1 – Exploitation du système de transport* ont recommandé le choix de véhicules courts, de l'ordre de 30 à 35 m.

Capacité

La capacité de transport du véhicule répond aux estimations de fréquentation effectuées par la STM. La capacité en charge normale (CCN) est calculée sur la base de 4 personnes par m², tous les sièges fixes étant occupés. Une analyse comparative internationale réalisée grâce à la base de donnée Tramexpert® sur les rames courtes de l'ordre de 30 m de longueur et de 2,65 m de largeur conduit à une capacité unitaire moyenne de 204 voyageurs / rame.

Le taux de confort pour cette charge de 4 voyageurs debout par m² devra être au minimum de 40% et doit pouvoir évoluer avec le système afin de permettre de prendre en compte le plus aisément possible une augmentation substantielle de la fréquentation.

Performance du véhicule

Les performances du matériel roulant sont définies par la vitesse maximale, l'accélération, la décélération et le taux de secousses (jerk rate). Elles sont déterminées pour tous les états de charge du matériel roulant, de vide à sa charge maximale de passagers, sur une portion de voie en alignement droit, sur un rail propre et sec, avec des roues mi-usées pour la traction et neuves pour le freinage et sous tension d'alimentation nominale.

Développement durable

L'inscription du sous-système matériel roulant dans une logique de développement durable a de multiples conséquences. Le choix des matériaux et procédés mis en œuvre, notamment, doit proscrire les rejets et émissions incompatibles avec cet objectif.

Par ailleurs la consommation d'énergie doit être minimisée. Cette optimisation peut être recherchée au moyen de l'utilisation de freinage par récupération (au besoin dans les sous-stations), de la minimisation de la consommation des auxiliaires (climatisation / chauffage notamment) et d'une réduction de la masse du véhicule.

FONCTION EXPLOITATION

La fonction exploitation décrit les modes d'utilisation du matériel roulant dans le respect des règles et/ou usages des clients et du personnel.

Mode d'exploitation

Le mode de conduite normal est la conduite manuelle à vue. Le mouvement du tramway est géré par le conducteur. Le véhicule roule à droite.

Le véhicule, d'une longueur de 30 à 35m est réversible. Il comporte donc une cabine de conduite à chaque extrémité, ainsi que des portes d'accès sur les deux côtés des voitures.

Le dimensionnement des organes et équipements du tramway doit prévoir un fonctionnement quotidien moyen de 20 heures et 30 minutes (de 5h30 à 2h00), et exceptionnellement pendant 24 heures consécutives (comme par exemple lors d'abondantes chutes de neiges durant la nuit).

Exploitation en service normal

La conduite se faisant avec un seul agent, le tramway est équipé d'un dispositif assurant le contrôle de la vigilance du conducteur du type veille automatique à contrôle d'appui. Le conducteur a à sa disposition deux possibilités de conduite, la conduite normale et la conduite en manœuvre. Un système d'aide à l'exploitation informe le conducteur de l'horaire, des retards et des incidents.

Exploitation en service dégradé

Le véhicule doit pouvoir fonctionner en régimes dégradés. Ces régimes sont fonction de l'équipement qui est en panne, et de la conséquence de cette panne sur le fonctionnement normal du véhicule.

FONCTION TRANSPORT DE VOYAGEURS

Le véhicule est doté d'un plancher bas sur au moins 50% de l'espace voyageurs, en limitant au maximum le nombre de changements de hauteur sur la longueur du véhicule.

Accessibilité du véhicule

Les échanges en station doivent se dérouler dans le laps de temps le plus court possible afin de minimiser la durée de stationnement, tout en assurant la sécurité et le confort des voyageurs en transfert. On répondra à cet objectif en répartissant les portes sur toute la longueur du tramway, en maximisant la largeur de ces portes et en minimisant leurs temps d'ouverture et de fermeture.

Pour assurer la sécurité du mouvement des voyageurs et permettre l'accès des personnes à mobilité réduite (PMR), la hauteur définitive des quais sera déterminée en fonction de la hauteur de plancher du matériel roulant qui sera choisi. Le seuil au niveau des portes sera abaissé au maximum afin d'obtenir une hauteur minimum des quais.

Aménagement du véhicule

Tous les voyageurs ayant accès au véhicule, à l'exception des usagers en fauteuil roulant, doivent pouvoir se déplacer dans ou entre les compartiments, sans rencontrer d'obstacles fixes constitués par des composants du véhicule ou des obstacles mobiles créés par les voyageurs installés sur des assises relevables aux abords des accès.

Confort

Le confort se décompose en :

- Confort thermique : Compte tenu des conditions climatiques de Montréal, le tramway est équipé d'un système de chauffage et de climatisation.
- Confort visuel : en exploitation en lumière naturelle, le niveau d'éclairage nécessaire est donné par la luminosité extérieure. Lorsque le niveau d'éclairage naturel ne devient plus suffisant pour assurer une luminosité correcte à l'intérieur du véhicule, un éclairage artificiel est mis en marche automatiquement.
- Confort acoustique : le véhicule doit être particulièrement silencieux. Il importe donc de limiter les bruits à la source par tout moyen approprié
- Confort dynamique : les critères de confort dynamique concernent une progressivité suffisante lors des variations de vitesse, la transmission la plus faible possible de chocs et de vibrations aux voyageurs.
- Confort olfactif et tactile : le véhicule est un espace non fumeur y compris dans la cabine de conduite. Afin d'éviter les odeurs désagréables à l'intérieur du véhicule, il est toujours maintenu un niveau de ventilation et d'air neuf minimum quel que soit le régime de climatisation ou de chauffage.

Informations destinées aux voyageurs

Les informations tiennent compte du fait que le véhicule est capable d'accueillir l'ensemble de la population, y compris les malvoyants et les malentendants. Elles se répartissent en :

- Informations, visuelles et sonores, extérieures et intérieures au véhicule, destinées à aider le voyageur à se déplacer sur le réseau ;
- informations, visuelles et sonores, destinées à indiquer un événement particulier aux voyageurs ;
- informations, visuelles et sonores, destinées à assurer la sécurité des voyageurs ;
- informations de service aux voyageurs et messages publicitaires.

ENVIRONNEMENT OPERATIONNEL

La prise en compte de l'environnement opérationnel est cruciale pour la réussite du projet, puisqu'une conception mal adaptée peut impacter directement la qualité globale du service. C'est pourquoi les informations recueillies de la part d'autres sociétés de transport exploitants un réseau de tramway dans des zones hivernales ont été recueillies lors du colloque organisé par la Ville de Montréal au printemps 2010 dans le cadre de ce projet. Ces retours d'expérience des exploitants, se rapportant aussi bien à des éléments de conception du matériel roulant qu'à des éléments relatifs à leur exploitation, ainsi que les données fournies par les manufacturiers, ont été pris en compte dans ce document.

Résistance au vent traversier

Concernant la résistance au vent traversier, le calcul sera à effectuer par le constructeur en fonction des caractéristiques précises de la rame (masse et surface présentée).

Conditions hivernales

Certains constructeurs ont été interrogés sur les conséquences engendrées par l'environnement climatique du matériel. Celles-ci se déclinent en quatre catégories :

- la température : cette contrainte ne soulève pas de problématique particulière, à condition de prendre les précautions nécessaires. De manière générale, les températures basses sont les plus pénalisantes (batteries, démarrage de l'électronique...);

- le taux d'hygrométrie : cette contrainte est pénalisante pour les équipements pneumatiques. Dans le cas de matériels trams, les volumes d'air comprimé embarqués sont faibles (freinage électro-hydraulique). Les groupes de climatisation voient en général leurs performances se dégrader de manière sensible lorsque le taux d'hygrométrie augmente. Ce point ne doit cependant pas poser de problématique particulière, des groupes de climatisation fonctionnant dans de nombreux pays tropicaux (Asie du Sud-Est notamment) ;
- le taux de pluviométrie et d'accumulation de neige et de glace : cette contrainte ne change pas les indices de protection des équipements classiques, mais impose des exigences spécifiques sur l'aménagement des véhicules. Au niveau du sous-châssis, des précautions doivent être prises concernant le ramasse-corps afin de ne pas entraîner des déclenchements intempestifs de ce dernier. Des précautions devront être prises de manière à éviter une accumulation excessive de neige sur les voies, en particulier au niveau des intersections, et assurer tant que possible une quantité de neige inférieure à 5-10cm.
- Remisage des tramways : Les tramways seront remisés à l'intérieur d'un bâtiment maintenu à une température d'environ 5 C lorsqu'ils ne sont pas en service.
- la salinité : l'utilisation de sels de déglacage en hiver imposera des choix de matériaux et surtout de modes de construction évitant l'accumulation de sel (pas de matériaux poreux, soudure par cordon continu, moteurs scellés...). D'après les constructeurs, le meilleur remède à cette problématique consiste à effectuer un lavage régulier des rames.

Franchissement des rampes

Le profil en long de la variante à niveau de la ligne de tramway comporte quelques sections sur lesquelles les pentes sont de l'ordre de 4 à 8%, et trois sections avec des pentes supérieures à 8%.

Ces fortes pentes imposent des contraintes sur le matériel roulant qui doit pouvoir rester opérationnel dans les cas les plus défavorables :

- Mode dégradé : moteur perdu,
- Problèmes thermiques causés par l'échauffement des organes de frein mécanique.

Afin de garantir la fiabilité de l'exploitation dans des conditions d'exploitation dégradée (adhérence dégradée dû à la présence d'eau de neige ou de feuilles mortes, ou encore unbogie moteur inactif suite à une panne, etc.), un taux de motorisation de 100% est recommandé. Ceci permettra d'atteindre de plus grandes vitesses et de meilleures accélérations dans les zones où les pentes sont les plus fortes.

PRESENTATION DES MATERIELS TRAMWAYS EXISTANTS

Les tramways sont des véhicules modernes, pour la plupart conçus dans une logique de gammes de produits évolutives et permettant de s'adapter à coûts réduits aux besoins de chacune des villes intéressées.

La modularité a été le critère essentiel de conception des produits, qui sont donc parfaitement optimisés pour des applications urbaines.

Le tableau ci-après donne des exemples de tels matériels, avec les caractéristiques associées. Les matériels sont présentés dans l'ordre alphabétique des constructeurs.

Tableau 0.1 Caractéristiques des matériels roulants

Unités d'œuvre		Alstom	AnsaldoBreda	Bombardier	Bombardier	Kinkisharyo	Siemens	Stadler
		Citadis 302	Sirio	Flexity Outlook	Flexity Classic		Combino Plus	Variobahn
		Nice	Göteborg	Porto	Brême	Seattle	Sul Do Tejo	Bergen
Longueur	m	32.7	29.55	35	35.4	28.95	36.36	32.18
Largeur	m	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65
Hauteur	m	3.30	3.41	-	3.23	3.81	3.62	3.50
Hauteur du plancher	mm	350	350	350	370/455	355/914	350	350
Hauteur du seuil	mm	320	350	350	300	355	320	315
Niveaux de planchers	Nbre	1	1	1	2	2	1	1
% Plancher bas	%	100	100	100	75	70	100	100
Capacité debout (4p/m ²)	Nbre	162	96	186	134	125	158	120
Capacité assis	Nbre	54	95	109	105	75	74	84
Capacité totale	Nbre	216	191	295	239	200	232	204
Nombre de portes doubles (simples) par côté	Nbre	4 (2)	4 (0)	0 (6)	5 (1)	4 (0)	5 (0)	3 (1)
Largeur des portes doubles (simples)	mm	1300 (800)	-	(1200)	-	-	-	-
Vitesse Max.	km/h	70	80	80	70	88	70	70
Rayon Min en ligne	m	25	17	18	23	25	25	25
Mono ou Bidirectionnel	-	Bi	Mono	Bi	Mono	Bi	Bi	Bi

CHOIX DU DESIGN DU MATERIEL ROULANT

Un soin particulier devra être apporté à l'image du futur matériel roulant, à son intégration dans l'environnement traversé, à ses fonctionnalités, à tout ce qui peut concourir à lui assurer une forte attractivité et son succès.

Selon les retours d'expérience dans le domaine du design du matériel roulant, 3 approches sont possibles :

- l'approche minimaliste : aucun design n'est réalisé durant la conception générale. Il est en revanche demandé à l'industriel ferroviaire retenu pour la conception et la fabrication du matériel roulant, des propositions de design;
- l'approche maximaliste : un designer est sélectionné durant les études de conception générale, afin de contribuer le plus en amont possible, à l'image que la collectivité souhaite donner à son nouveau réseau de tramway;
- l'approche intermédiaire : la prestation du designer se limite au seul graphisme.

Les différentes approches n'ont pas d'impact sur l'échéancier du projet à partir du moment où elles sont correctement programmées : de ce point de vue, le recrutement du designer doit se faire durant les études de faisabilité, afin que le processus de design puisse se dérouler sans contrainte.

SOMMAIRE

A.	Pré-programme fonctionnel du matériel roulant.....	1
1.0	Objet	2
2.0	Abréviations et acronymes	2
3.0	Pré-programme fonctionnel.....	2
3.1	Fonction Transport	2
3.2	Fonction Exploitation	4
3.3	Fonction Transport de voyageurs	4
4.0	Environnement opérationnel	7
4.1	Résistance au vent traversier	7
4.2	Conditions hivernales	7
4.3	Franchissement des rampes - Taux de motorisation	8
B.	Présentation des matériels tramways existants	10
5.0	Objet	11
6.0	Présentation des matériels roulants	11
6.1	Synthèse des caractéristiques principales des matériels présentés	11
6.2	Fiches Techniques Matériel roulant	12
C.	Choix du design du matériel roulant.....	19
7.0	Objet	20
8.0	De quel matériel roulant s’agit-il?	20
9.0	Les 3 démarches possibles	20
9.1	Approche minimaliste	20
9.2	Approche maximaliste	20
9.3	Approche intermédiaire	20
9.4	Avantages / inconvénients des 3 approches possibles	21
10.0	Modalités de sélection du designer	21
11.0	Processus de validation du design.....	21
D.	Questionnaire aux fournisseurs de matériel roulant.....	22

LISTE DES FIGURES

Figure 3.1	Exemples d'aménagement intérieur de tramways	6
Figure 4.1	Adhérence en fonction du taux de motorisation et de la pente.....	8

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 3.1	Capacité des tramways de 30m de long et 2,65m de large.....	3
Tableau 6.1	Caractéristiques des matériels roulants	11

A. PRÉ-PROGRAMME FONCTIONNEL DU MATÉRIEL ROULANT

1.0 OBJET

L'objet de cette partie est de définir les principales fonctions à assurer par le matériel roulant vis-à-vis du client transporté.

2.0 ABRÉVIATIONS ET ACRONYMES

	Abrév.	Définition
Bogie		Placé entre la voie et la caisse, il assure les fonctions de roulement et de suspension du véhicule.
Charge exceptionnelle	CE	Éléments complets en Ordre de Marche, prêts à rouler, <ul style="list-style-type: none"> un voyageur par place assise fixe. Les sièges à assise rabattable ou les strapontins ne sont pas pris en compte comme places assises. 8 voyageurs debout par m² disponible en dehors des sièges, y compris au droit des sièges à assise rabattable et des strapontins. La masse moyenne d'un voyageur, y compris ses bagages est égale à 70 kg.
Charge maximale	CM	Éléments complets en Ordre de Marche, prêts à rouler, <ul style="list-style-type: none"> un voyageur par place assise fixe. Les sièges à assise rabattable ou les strapontins ne sont pas pris en compte comme places assises. 6 voyageurs debout par m² disponible en dehors des sièges, y compris au droit des sièges à assise rabattable et des strapontins. La masse moyenne d'un voyageur, y compris ses bagages est égale à 70 kg.
Charge normale	CN	Éléments complets en Ordre de Marche, prêts à rouler, <ul style="list-style-type: none"> un voyageur par place assise (fixe ou rabattable). Les strapontins ne sont pas pris en compte comme places assises. 4 voyageurs debout par m² disponible en dehors des sièges, y compris au droit des strapontins. La masse moyenne d'un voyageur, y compris ses bagages est égale à 70 kg.
Dénivelé		Différence de hauteur entre le seuil d'accès du véhicule et le quai. Il se mesure verticalement.
Lacune		Distance (longueur) entre le seuil d'accès du véhicule et le bord du quai.
Nouvelles Technologies d'Information et de Communication	NTIC	
Personne à mobilité	PMR	

réduite		
Siège à assise rabattable		Siège qui en position assise offre le même confort que les autres sièges fixes du véhicule et dont l'assise se rabat systématiquement quand le voyageur se lève pour être utilisé comme appui assis/debout.
Taux de motorisation		Rapport entre le total des masses adhérentes, réparties sur les essieux moteurs, et la masse totale du véhicule. Ce taux est fonction de la charge du véhicule, de sa répartition et du nombre d'unités de traction en service.
Usager en Fauteuil Roulant	UFR	
Véhicule		C'est l'unité de base indissociable. Un véhicule est constitué de compartiments reliés entre eux par des articulations et de une ou deux cabines de conduite.
Véhicule en Ordre de Marche	VOM	Éléments complets en Ordre de Marche, prêts à rouler.

3.0 PRÉ-PROGRAMME FONCTIONNEL

3.1 FONCTION TRANSPORT

3.1.1 Définition

La fonction transport des voyageurs consiste à déplacer les voyageurs d'une station à une autre, le long d'une trajectoire bien définie entourée d'un volume sans obstacle dans un temps donné et avec un niveau de confort défini.

Le transport est fait en sécurité, en conservant à tous les voyageurs, ainsi qu'à toute autre personne affectée par le transport, leur intégrité physique.

Les véhicules sont dimensionnés pour transporter des personnes sans distinction d'âge, de taille, valides ou à mobilité réduite. La taille des voyageurs transportés est comprise entre celle de l'enfant autonome de 4 ans et celle du 95ème percentile masculin.

Les vélos pourront être acceptés en heures creuses.

Les données anthropomorphiques pourront être celles établies par la firme *Henry Dreyfuss Associates*. Les caractéristiques morphologiques des personnes à mobilité réduite en fauteuil roulant pourront être celles stipulées dans le « *Americans with Disabilities Act (ADA)* », enchâssée dans le « *Code of Federal Regulations – Title 49, Part 38* » de la « *US DOT Federal Transit Administration* ».

3.1.2 Capacité de transport

CONFIGURATION DU VEHICULE

Le matériel roulant est de type articulé avec intercirculations.

Il est bidirectionnel, chaque caisse d'extrémité comprenant une cabine de conduite, séparée de l'espace voyageurs par une cloison vitrée munie d'une porte. Il est équipé de portes d'accès sur les deux côtés du véhicule.

Le nombre et la longueur des caisses et des articulations constituant le véhicule dépendent des solutions techniques proposées par les industriels.

LARGEUR

Le matériel roulant est offert par les constructeurs en largeurs standard de 2,40 m ou 2,65 m. Lorsque l'insertion présente des problèmes particuliers, du matériel roulant plus étroit peut être fabriqué. Pour Montréal, une largeur de 2,65 m a été retenue afin de maximiser le rapport longueur sur largeur qui permet d'offrir au client un maximum de confort à l'intérieur des rames.

En outre, il existe peu de contraintes d'insertion sur le tracé de la ligne justifiant un gabarit plus étroit.

LONGUEUR

Les études d'exploitation réalisées dans le *Volume C1 – Exploitation du système de transport* ont recommandé le choix de véhicules courts, de l'ordre de 30 à 35m, de manière à répondre aux prévisions d'achalandage avec un intervalle d'exploitation aux heures de pointe suffisamment faible pour garantir l'attractivité de la ligne (4 à 5 minutes).

CAPACITÉ

Le véhicule doit proposer une capacité répondant aux estimations de fréquentation effectuées par la STM.

La capacité en charge normale (CCN) est calculée sur la base de 4 personnes par m², tous les sièges fixes étant occupés. Les résultats d'une analyse comparative internationale réalisée grâce à la base de données Tramexpert® sur les rames courtes de l'ordre de 30 m de longueur et de 2,65 m de largeur sont présentés au tableau suivant. Cette analyse indique une capacité unitaire moyenne de 204 voyageurs / rame.

Le taux de confort pour cette charge de 4 voyageurs debout par m² devra être au minimum de 40%, soit par exemple un nombre de voyageurs assis de 82 pour une capacité de 204.

Cette capacité doit pouvoir évoluer avec le système afin de permettre de prendre en compte le plus aisément possible une augmentation substantielle de la fréquentation. Cette évolutivité peut s'envisager selon plusieurs angles : augmentation de la fréquence, modification du diagramme et des aménagements intérieurs.

Tableau 3.1 Capacité des tramways de 30m de long et 2,65m de large

Ville	Constructeur (état actuel)	Modèle	Version du modèle	Mise en service année	Plancher bas (%)	Long (m)	Larg (m)	Passagers		
								Assis	Debouts	Total
Chemnitz	Stadler	Variobahn	6 NGT-LDE	1993	100%	31,4	2,65	89	123	212
Chemnitz	Stadler	Variobahn	6 NGT-LDZ	2002	100%	31,4	2,65	74	124	198
Chemnitz	Stadler	Variobahn	6 NGT-LDZ	2002	100%	31,4	2,65	74	124	198
Schwerin	Bombardier	Flexity Classic		2001	70%	29,7	2,65	84	115	202
Barcelone	Alstom	Citadis	302	2004	100%	32,5	2,65	64	154	218
S. Cruz de Tenerife	Alstom	Citadis	302	2007	100%	33	2,65	60	140	200
Montpellier	Alstom	Citadis	302	2007	100%	32,5	2,65	64	146	210
Mulhouse	Alstom	Citadis	302	2006	100%	32,5	2,65	56	175	231
Nice	Alstom	Citadis	302	2007	100%	33	2,65	54	161	215
Bergen	Stadler	Variobahn		2009	100%	32,2	2,65	80	148	228
Gouda-Alphen	Bombardier	Flexibility Swift	K4000	2006	72%	29,7	2,65	78	106	184
La Haye	Bombardier	Flexibility Swift	LF	2002	100%	29,7	2,65	78	106	184
Londres-Croydon	Bombardier	Flexibility Swift	LF	2000	76%	30,1	2,65	70	138	208
Manchester	AnsaldoBreda	LRV	T68a	1999	Haut	29,8	2,65	82	118	200
Manchester	Firema	Tramway	T68	1991	Haut	29,8	2,65	86	122	208
Stockholm	Bombardier	Flexibility Swift	LF	1999	72%	29,7	2,65	78	106	184
Melbourne	Siemens	Combino	Plus	2003	100%	29,9	2,65	58	132	190
								Moyenne	204	

Source: Extraction Tramexpert® - Capacité unitaire des TW de 2,65 m de large et de 29 m à 33 m de long

3.1.3 Performances du véhicule

Le tramway est propulsé par traction électrique. L'énergie électrique nécessaire à la traction et au freinage est fournie par l'intermédiaire d'une ligne aérienne de contact distribuant du courant continu 750 V. La consommation d'énergie doit être la plus faible possible.

Puisqu'il s'agit de systèmes physiques qui ne savent ni répondre instantanément, ni obéir exactement à des ordres reçus, les performances brutes sont complétées par les temps de réponse.

La conception de l'ensemble de la chaîne de traction/freinage devra présenter les caractéristiques suivantes :

- aptitude à être modulée de façon continue entre l'efficacité nulle et l'efficacité maximale (et inversement) et ceci sans zone d'insensibilité, quelle que soit la vitesse ;
- quasi linéarité entre la consigne de commande générale et la cinématique du tramway,
- réponse à un échelon de consigne (positif ou négatif) en respectant les critères de confort.

Les performances sont définies par la vitesse maximale, l'accélération, la décélération et le taux de secousse (jerk rate). Elles sont déterminées pour tous les états de charge compris entre VOM et CCM (ces deux états inclus), sur une portion de voie en alignement droit, sur un rail propre et sec, avec des roues mi-usées pour la traction et neuves pour le freinage et sous tension d'alimentation nominale.

Un équipement de sablage à commande manuelle et à fonctionnement automatique dans le cas de patinage ou de glissement des roues, augmente les conditions d'adhérence.

Les performances d'accélération et de décélération spécifiées seront maintenues quelle que soit la charge.

3.1.4 Développement durable – Respect de l'environnement

L'inscription du sous-système matériel roulant dans une logique de développement durable a de multiples conséquences. Le choix des matériaux et procédés mis en œuvre, notamment, doit proscrire les rejets et émissions incompatibles avec cet objectif.

Par ailleurs la consommation d'énergie doit être réduite au maximum. Cette optimisation peut être recherchée au moyen d'une réduction de la masse du véhicule, de l'utilisation de freinage par récupération (au besoin dans les sous-stations), et la minimisation de la consommation des auxiliaires (climatisation / chauffage notamment)

Dans un souci de respect de l'environnement, le niveau de bruit devra être le plus réduit possible.

3.2 FONCTION EXPLOITATION

La fonction exploitation décrit les modes d'utilisation du matériel roulant dans le respect des règles et/ou usages des clients et du personnel.

3.2.1 Mode d'exploitation

Les critères, définissant cette fonction, précisent comment doivent être conçus les véhicules pour répondre au mode d'exploitation choisi.

Le mode de conduite normal est la conduite manuelle à vue. Le mouvement du tramway est géré par le conducteur. Le véhicule roule à droite.

Le véhicule, d'une longueur de 30 à 35m est réversible. Il comporte donc une cabine de conduite à chaque extrémité, ainsi que des portes d'accès sur les deux côtés des voitures.

Le dimensionnement des organes et équipements du tramway doit prévoir un fonctionnement quotidien moyen de 20 heures et 30 minutes (de 5h30 à 2h00), et exceptionnellement pendant 24 heures consécutives (comme par exemple lors d'abondantes chutes de neiges durant la nuit).

3.2.2 Exploitation en service normal

La conduite se faisant avec un seul agent, le tramway est équipé d'un dispositif assurant le contrôle de la vigilance du conducteur du type veille automatique à contrôle d'appui.

Le déplacement du véhicule est autorisé seulement si le conducteur actionne de manière régulière une commande convenablement disposée sur le manipulateur.

Un système d'aide à l'exploitation informe le conducteur des temps de départ des terminus, de son retard ou avance sur l'horaire ainsi que des incidents en ligne.

LA FONCTION CONDUITE

Le conducteur a à sa disposition deux possibilités de conduite, la conduite normale et la conduite en manœuvre.

Un dispositif multi-positions à commande manuelle et verrouillable permet au conducteur de réaliser les différentes fonctions suivantes :

- la préparation du véhicule,
- l'activation du poste de conduite en conduite normale,
- l'activation du poste de conduite en conduite de manœuvre.

La clé de conduite ne peut être retirée que sur la position neutre du dispositif. Un bouton poussoir permet d'activer la marche lavage quand le commutateur de conduite est en position manœuvre.

SERVICE DES PORTES VOYAGEURS

Il existe deux modes de fonctionnement des portes : le libre service et la commande manuelle.

Dans le cas du libre service, l'ouverture est demandée au niveau de chaque porte par le voyageur entrant ou sortant par actionnement de boutons poussoirs lumineux ou autres organes de commande, quand le conducteur a sélectionné le (ou les) coté(s) d'ouverture des portes. Les boutons poussoirs (ou autres organes de commande) sont éclairés quand la commande est active et un changement d'état de l'éclairage signale la prise en compte de la commande.

Dans le cas de la commande manuelle, le conducteur appuie sur le bouton poussoir d'ouverture des portes après avoir sélectionné le (ou les) coté(s) d'ouverture.

Pour Montréal, une commande des portes en libre service est préconisée afin de prévenir l'ouverture inutile des portes par temps froid.

3.2.3 Exploitation en service dégradé

Le véhicule doit pouvoir fonctionner en régimes dégradés. Ces régimes sont fonction de l'équipement qui est en panne, et de la conséquence de cette panne sur le fonctionnement normal du véhicule.

Il existe 5 types de marches en situations dégradées :

- marche secours-traction : en cas d'avarie sur la commande de motricité ou sur les dispositifs de gestion du véhicule, il est possible d'avoir un mode de conduite rudimentaire, c'est le secours-traction. La vitesse est limitée automatiquement à 20 km/h,
- marche en avarie de freinage : en cas d'avarie de frein, cette marche doit être appliquée par le conducteur. Un voyant lumineux matérialise la limitation de vitesse que doit respecter le conducteur,
- marche arrière : La vitesse est limitée automatiquement à 3 km/h.
- marche haut-le-pied : cette marche s'effectue après une évacuation des voyageurs. Elle est généralement réalisée lorsque la sécurité des voyageurs ne peut pas être assurée (défaut des systèmes de sécurité nécessitant leur shuntage pour pouvoir rallier les ateliers, performances de freinage non assurées en charge...). La vitesse de la rame est limitée par une consigne d'exploitation.
- marche poussage ou remorquage : la vitesse est limitée par consigne et aussi automatiquement à 20 km/h en poussage et à 30 km/h en remorquage.

3.3 FONCTION TRANSPORT DE VOYAGEURS

3.3.1 Habitabilité

Les véhicules sont conçus pour que le voyage soit ressenti par le voyageur comme agréable. La possibilité de choisir entre les diverses ambiances, l'aménagement intérieur, les équipements, le confort visuel et le confort postural sont des facteurs qui contribuent au confort psychologique du voyageur.

Les sièges, les appuis ischiatiques éventuels et les barres de maintien sont en nombre suffisant pour permettre à chaque voyageur, soit de caler son corps, soit de se tenir en évitant la fatigue et de disposer d'un point d'appui en cas de freinage d'urgence.

Le véhicule sera doté d'un plancher bas sur au moins 50 % de l'espace voyageurs, en limitant au maximum le nombre de changements de hauteur sur la longueur du véhicule.

3.3.2 Accessibilité du véhicule

ÉCHANGE DES VOYAGEURS EN STATION

Les échanges doivent se dérouler dans le laps de temps le plus court afin de minimiser la durée de stationnement, tout en assurant la sécurité et le confort des voyageurs en transfert.

On répondra à cet objectif en répartissant les portes sur toute la longueur du tramway, en maximisant la largeur de ces portes et en minimisant leurs temps d'ouverture et de fermeture. Les dispositions techniques suivantes seront adoptées :

- portes motorisées à doubles vantaux (largeur totale permettant le passage simultané en moyenne de deux voyageurs par porte centrale, soit au minimum 1,3 m). Les portes extrêmes à simple vantail, offrant une largeur totale d'ouverture de 0,8 m minimum, sont tolérées mais non recommandées car elles ne permettant pas une fluidité des échanges voyageurs satisfaisante. Les portes plus larges (1600 voire 1800 mm) sont exclues car elles posent des problèmes de fiabilité importants et elles induisent des contraintes sur les structures (plus grande ouverture), le temps d'ouverture / fermeture étant par ailleurs également augmenté.
- nombre de portes par élément permettant au minimum un taux d'échange (longueur utile de passage des portes / longueur de l'espace voyageur du tramway) de 15% ;

L'accessibilité devra être la même à toutes les portes.

De même, le diagramme intérieur devra permettre cette fluidité de circulation au moyen de couloirs larges et de disposition des sièges en dehors des zones d'échanges voyageurs.

HAUTEUR LIBRE DES ACCÈS

Dans le contexte nord américain, il est préconisé d'adopter une hauteur libre minimale de passage de 2100 mm.

HAUTEUR DE PLANCHER

Pour assurer la sécurité du mouvement des voyageurs et permettre l'accès des personnes à mobilité réduite (PMR), la hauteur définitive des quais sera définie en fonction de la hauteur de plancher du matériel.

Le seuil au niveau des portes sera abaissé le plus possible afin d'obtenir une hauteur minimum des quais.

A ce stade de l'étude, on adopte les valeurs standards utilisées pour un tramway, soit un seuil d'accès situés à une hauteur de 350 à 400 mm du plan de roulement

LACUNES HORIZONTALES ET VERTICALES

Pour les accès UFR (Usagers en Fauteuil Roulant), on appliquera les recommandations de l'« *Americans with Disabilities Act (ADA)* », enchassée dans le « *Code of Federal Regulations – Title 49, Part 38* ». Ainsi :

- la lacune horizontale doit être inférieure ou égale à 75 mm ;
- la lacune verticale doit être inférieure ou égale à 15 mm.

Cette lacune verticale peut être atteinte au moyen d'une suspension du véhicule ajustable en hauteur ou de rampes d'accès.

Pour les autres accès, les valeurs préconisées sont les suivantes : le véhicule étant en charge nominale (CN), en prenant en compte les jeux de fonctionnement du matériel roulant (notamment l'usure des roues, et l'état des suspensions) ainsi que les tolérances liées à la voie, la distance non comblée horizontale doit toujours être inférieure à 75 mm, et la distance non comblée verticale inférieure à 55 mm.

3.3.3 Aménagement du véhicule

DÉPLACEMENTS DANS LE VÉHICULE

Tous les voyageurs ayant accès au véhicule, à l'exception des usagers en fauteuil roulant, doivent pouvoir se déplacer dans ou entre les compartiments, sans rencontrer d'obstacles fixes constitués par des composants du véhicule ou des obstacles mobiles créés par les voyageurs installés sur des assises relevables aux abords des accès.

Cet objectif est obtenu en :

- maintenant un minimum de surface du plancher au niveau le plus bas, de l'ordre de 50% de la surface totale du plancher du véhicule, ces surfaces devant être contiguës aux accès ;
- limitant le nombre de variations de hauteur de plancher accessible aux voyageurs, sur la longueur totale du véhicule ;
- organisant des zones de réception ou d'accumulation des voyageurs à proximité des accès ;
- limitant les pentes de raccordement entre deux plates-formes à 10% maximum ;
- maintenant une largeur minimale disponible de 600 mm sur toute la hauteur intérieure du véhicule, pour le croisement des voyageurs dans les zones situées entre 2 plates-formes d'accès ;
- assurant la visibilité des ruptures de circulation, des obstacles y compris les changements de niveaux dans toutes les conditions d'éclairage (naturel, artificiel et secours) ;
- offrant la possibilité à tout voyageur de se maintenir d'une main au minimum en tout point des zones de circulation et d'accumulation quel que soit le taux d'occupation ;
- ne prévoyant pas de portes d'intercirculation ;
- dimensionnant les passages dans les intercirculations à un minimum de 50% de la largeur totale de la caisse libre sur une hauteur de 2,10 m ;

Il est prévu des espaces suffisamment importants, situés vers chaque porte accessible aux handicapés, pour que les usagers de fauteuils roulants puissent y stationner et y circuler facilement. Deux emplacements minimum sont prévus par véhicule pour les usagers en fauteuil roulant. Ces zones dédiées respectent les exigences de l'ADA. Aucune pente ne sera admise dans ces espaces dédiés et contigus aux accès. Les portes permettant d'accéder aux zones dédiées aux UFR doivent être repérées.

VOYAGEURS EN POSITION ASSISE

Le pourcentage de places assises par rapport au nombre de personnes transportées en charge normale (CN) est de 40 % minimum, sans prendre en compte les assises relevables.

L'offre en places assises peut être augmentée par la mise en place de sièges à assises relevables. La disposition de ce type de sièges sur les plates-formes ne doit pas limiter l'accès au véhicule, et doit inciter les personnes les utilisant à se lever en cas d'affluence.

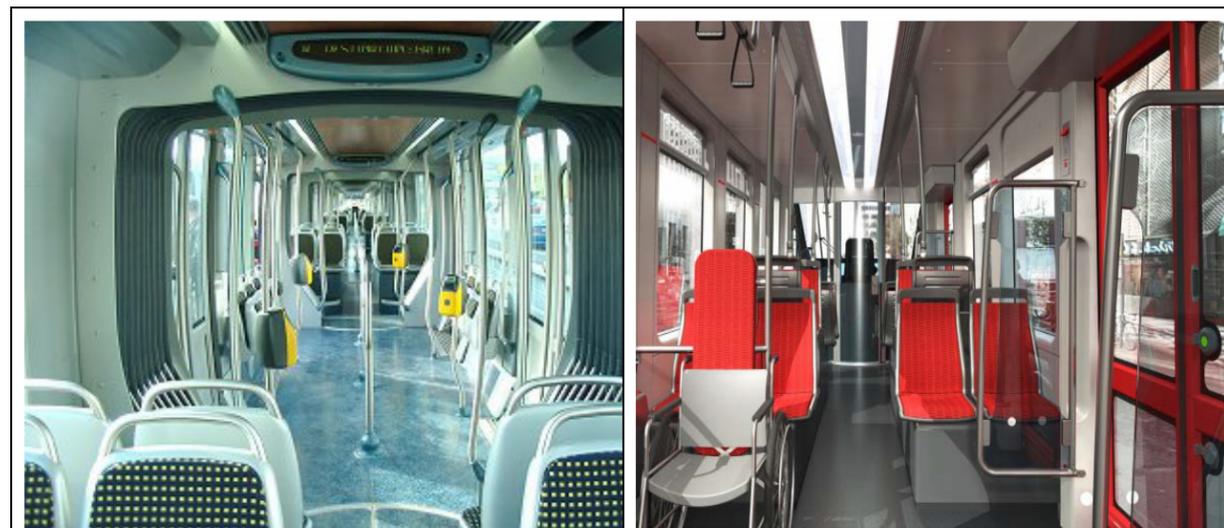
VOYAGEURS EN FAUTEUIL ROULANT

Quelques places seront réservées aux fauteuils roulants dans des zones pourvues d'assises relevables. Ces places seront situées en retrait, mais près des accès,

VOYAGEURS EN POSITION DEBOUT

Les voyageurs debout stationnent et peuvent se déplacer sur les surfaces utiles non utilisées par les sièges et les voyageurs en position assise. Les contraintes définies pour les déplacements dans le véhicule sont applicables.

Figure 3.1 Exemples d'aménagement intérieur de tramways



3.3.4 Confort

CONFORT THERMIQUE

Compte tenu des conditions climatiques de Montréal, le tramway est équipé d'un système de chauffage et de climatisation. Baies et portes fermées, il permet d'assurer une circulation d'air réglable pour tenir compte des variations climatiques. Les choix relatifs au confort thermiques seront guidés par la norme européenne EN 14750 « Railway applications – Air conditioning for urban and suburban rolling stock » pour le compartiment des voyageurs et EN 14813 « Railway Applications – Air conditioning for driving cabs » pour les loges de conduite.

La commande du système ainsi que la régulation de la température seront automatiques. En été, la climatisation permettra d'obtenir une température intérieure inférieure de quelques degrés à la température ambiante extérieure et de contrôler le niveau d'humidité. En hiver, la température du compartiment des voyageurs sera maintenue à une température de l'ordre de 10 à 15C. L'apport d'air frais variera entre 10 et 20 m³/passager/heure, selon la température extérieure. Cet apport d'air frais variera donc grandement en fonction de la charge de passagers. La convection de l'air sera homogène à l'intérieur du véhicule et la diffusion de l'air sera la plus uniforme possible, sa vitesse ne dépassant pas 1 m/s à une hauteur de 1,80 m. L'air sera filtré.

Dans la loge de conduite la température sera maintenue à environ 18C en hiver et à 24C en été afin de fournir un meilleur niveau de confort au conducteur.

Les performances qui caractérisent le confort climatique nécessitent des caractéristiques d'isolation thermique entre l'extérieur et l'intérieur du véhicule élevées afin d'être respectées dans les meilleures conditions économiques. Ces performances seront définies dans les phases ultérieures.

CONFORT VISUEL

Le confort visuel est fonction des surfaces vitrées, de la répartition de l'éclairage artificiel et de l'harmonie des couleurs des revêtements. Le contraste des couleurs utilisées permet d'identifier les zones de circulation des voyageurs dans le véhicule.

L'aménagement des surfaces vitrées doit permettre à l'ensemble des voyageurs, en position assise et debout, d'avoir une bonne vision sur l'extérieur et plus particulièrement sur les informations en station qui leur sont destinées.

En exploitation en lumière naturelle, le niveau d'éclairage nécessaire est donné par la luminosité extérieure. Lorsque le niveau d'éclairage naturel ne devient plus suffisant pour assurer une luminosité correcte à l'intérieur du véhicule, un éclairage artificiel est mis en marche automatiquement. Cet apport lumineux doit assurer un niveau d'éclairage compris entre 200 et 250 Lux, à une distance de 1,2 m du niveau du plancher. L'écart maximum par rapport à ce niveau est de 50 Lux, en tout point de la surface du sol de la rame et à 1 mètre du sol.

Les alimentations des sources lumineuses ne doivent pas être perturbées par les disparitions fugitives de la tension de ligne. Les sources lumineuses sont protégées des agressions par les voyageurs, à l'aide de dispositifs ne nécessitant pas d'entretien, et créant un affaiblissement lumineux négligeable. Ces sources ne doivent pas éblouir les voyageurs pour la lecture des informations embarquées et dans le champ horizontal de vision, en particulier lors d'observations de nuit vers l'extérieur.

CONFORT ACOUSTIQUE

Le véhicule doit être particulièrement silencieux. Il importe donc de limiter les bruits à la source par tout moyen approprié.

Le titulaire du marché mettra en application des solutions techniques afin de réduire les bruits de roulement et éviter, malgré les courbes de très faible rayon présentes sur le réseau, tout risque de bruit de crissement ou d'interférence de la roue avec la bavette du rail.

Ces dispositifs pourront être constitués notamment par :

- des roues élastiques équipées ou non de résonateurs,
- des graisseurs de boudin.

CONFORT DYNAMIQUE

Accélérations et décélérations maximales

Les critères de confort dynamique concernent :

- une progressivité suffisante lors des variations de vitesse :
 - le taux de secousse ou « jerk rate » (da/dt) doit être compris entre 0,8 et 1,2 m/s³,
 - l'accélération instantanée (ai) doit être inférieure ou égale à 1,4 m/s².
- la transmission la plus faible possible de chocs et de vibrations aux voyageurs.

Vibrations

En application de la norme NF EN 90-401, les fréquences propres des vibrations doivent, autant que possible, s'écarter de la zone de sensibilité maximale, soit :

- 4 à 8 Hz en vertical,
- 0,6 à 2 Hz en horizontal.

Secousses

La valeur maximale du taux de secousses en service normal, est de $0,8 \text{ m/s}^3$ dans le sens transversal et dans le sens vertical.

CONFORT OLFACTIF ET TACTILE

Le véhicule est un espace non fumeur y compris dans la cabine de conduite. Des emplacements réservés pour une signalétique antitabac sont prévus en suffisance.

Afin d'éviter les odeurs désagréables à l'intérieur du véhicule, il est toujours maintenu un niveau de ventilation et d'air neuf minimum quel que soit le régime de climatisation ou de chauffage.

L'aménagement intérieur du véhicule est réalisé pour éviter toute zone de rétention de liquide ou de partie cachée incitant les voyageurs à y déposer des débris.

Les matériaux retenus ne dégagent pas d'odeurs désagréables.

Les revêtements intérieurs sont agréables au toucher, tant sur le plan tactile que thermique. Les aménagements ne doivent présenter aucune pièce en saillie, aucune arête vive ni aucune aspérité.

3.3.5 Informations destinées au voyageur

Ces informations ont pour objectif d'aider les voyageurs à se déplacer sur la ligne et de leur indiquer des événements particuliers qui peuvent avoir une influence directe sur leur déplacement ou leur sécurité.

Toutes ces informations tiennent compte du fait que le véhicule est capable d'accueillir l'ensemble de la population, y compris les malvoyants et les malentendants.

Elles se répartissent en :

- Informations visuelles et sonores, extérieures et intérieures au véhicule, destinées à aider le voyageur à se déplacer sur le réseau ;
- informations visuelles et sonores, destinées à indiquer un événement particulier aux voyageurs ;
- informations visuelles et sonores, destinées à assurer la sécurité des voyageurs ;
- informations de service aux voyageurs et messages publicitaires.

L'intégration des NTIC peut également être envisagée.

4.0 ENVIRONNEMENT OPÉRATIONNEL

La prise en compte de l'environnement opérationnel est cruciale pour la réussite du projet, puisqu'une conception mal adaptée peut impacter directement la qualité globale du service offert aux futurs clients du tramway à travers différents aspects de cette qualité de service :

- la disponibilité des services ;
- le respect de l'horaire (ponctualité, régularité) ;
- la disponibilité des équipements mis à la disposition des clients ;
- etc.

C'est pourquoi les informations recueillies de la part d'autres sociétés de transport exploitants un réseau de tramway dans des zones hivernales ont été recueillies lors du colloque organisé par la Ville de Montréal au printemps 2010 dans le cadre de ce projet (voir rapport Y4). Les exploitants de Calgary, Minneapolis, Gotteborg (Suède) et Helsinki (Finlande) y étaient réunis. Ces retours d'expérience des exploitants, se rapportant aussi bien à des éléments de conception du matériel roulant qu'à des éléments relatifs à leur exploitation, ont été pris en compte et sont reflétés dans les chapitres suivants. Les données fournies par les manufacturiers ont également servi de référence,

4.1 RÉSISTANCE AU VENT TRAVERSIER

Concernant la résistance au vent traversier, le calcul sera à effectuer par le constructeur en fonction des caractéristiques précises de la rame (masse et surface présentée). Un calcul très sommaire sur un véhicule de 56 tonnes à vide et 37 m de long pour 3,5 m de hauteur montre que le couple de basculement pour un vent de 250 km/h reste inférieur au couple de maintien.

4.2 CONDITIONS HIVERNALES

Certains constructeurs ont été interrogés sur les conséquences engendrées par l'environnement climatique du matériel. Celles-ci se déclinent en quatre catégories :

- la température,
- le taux d'hygrométrie,
- le taux de pluviométrie et d'accumulation de neige et de glace,
- la salinité.

De manière générale, les éléments du matériel roulant potentiellement impactés par les conditions climatiques sont les suivants :

- contact rail/roue;
- graisses et huiles;
- circuits d'air comprimé;
- dispositif de sablage;
- pantographe;
- circuit de traction;
- caisse (portes, fenêtres);
- batteries;
- parties métalliques;
- liquide de nettoyage de pare brise;
- accouplement automatique entre rames.

4.2.1 La température

Les valeurs de dimensionnement de températures considérées sont de -40°C pour les minimales et de $+40^{\circ}\text{C}$ pour les maximales (cf. volume C2 – *Hypothèses de conception*).

Ces contraintes ne soulèvent pas de problématique particulière, à condition de prendre les précautions nécessaires. De manière générale, les températures basses sont plus pénalisantes (batteries, démarrage de l'électronique...) que les températures hautes.

Parmi les actions à mettre place pour des températures négatives, on peut citer :

- chauffage des caméras de rétrovision ;
- changement des électrovannes ;
- amélioration de l'isolation et drainage de la condensation du système pneumatique ;
- adaptation des soufflets des portes qui seront fabriqués d'un matériau plus souple et chauffés au besoin ;
- chauffage de l'électronique des portes ;
- adaptation des métaux utilisés et protection des soudures ;
- protection de la caisse contre la corrosion causée par les sels de déglacage utilisés sur la chaussée ;
- chauffage des coffres extérieurs et du compartiment des batteries ;
- utilisation de capteurs de courant mieux adaptés au climat ;
- utilisation de fluides hydrauliques et de lubrifiants adaptés pour de basse températures ;
- changement des antennes ;
- intégration du réservoir de sablage en caisse et utilisation de sable exempt d'humidité ;

4.2.2 Le taux d'hygrométrie

Cette contrainte est pénalisante pour les équipements pneumatiques. Dans le cas de matériels tramways, les volumes d'air comprimé embarqués sont faibles (freinage électro-hydraulique). Les groupes de climatisation voient en général leurs performances se dégrader de manière sensible lorsque le taux d'hygrométrie augmente. Ce point ne doit cependant pas poser de problématique particulière, des groupes de climatisation fonctionnant dans de nombreux pays tropicaux (Asie du Sud-Est notamment).

4.2.3 Le taux de pluviométrie et d'accumulation de neige et de glace

Cette contrainte ne change pas les indices de protection des équipements classiques, mais impose des exigences spécifiques sur l'aménagement des véhicules :

- Dimensionnement de la toiture de manière à pouvoir supporter des précipitations de neige allant jusqu'à 43 cm en 24h (cf. volume C2 – *Hypothèses de Conception*), soit une masse additionnelle d'environ 1,5 tonnes ;
- Vérification des entrées d'air sur les équipements en toiture et adaptation du drainage ;
- Mise en place d'un système de chauffage à l'intérieur du véhicule ou de dégivrage renforcé ;
- Mise en place de réchauffage au niveau des buses de sablage ou des éjecteurs de graisse ;

Au niveau du sous-châssis, des précautions doivent être prises afin de prévenir que des accumulations de neige ne causent un déclenchement intempestif du ramasse-corps. Autant que possible, l'épaisseur de neige sur la voie ne devrait pas excéder 10 cm. Une coordination sera nécessaire avec les services de déneigement de la Ville afin d'éviter les amoncellements de neiges sur le parcours du tramway aux carrefours.

Il est à noter que le remisage hors gel permet de limiter grandement les conséquences liées au gel sur le fonctionnement du matériel roulant.

4.2.4 Remisage des véhicules

Tous les exploitants rencontrés lors du colloque remettent leurs tramways à l'intérieur d'un bâtiment lorsqu'ils ne sont pas en service. Ce bâtiment est chauffé à une température légèrement supérieure au

point de congélation, généralement de l'ordre de 4 à 5 degrés C, afin de permettre la fonte de la glace et de la neige.

4.2.5 Salinité

L'utilisation de sels de déglacage en hiver imposera des choix de matériaux et surtout de modes de construction évitant l'accumulation de sel (pas de matériaux poreux, soudure par cordon continu, moteurs scellés...). D'après les constructeurs, le meilleur remède à cette problématique consiste à effectuer un lavage régulier des rames.

4.3 FRANCHISSEMENT DES RAMPES - TAUX DE MOTORISATION

4.3.1 Profil en long

Le profil en long de la variante à niveau de la ligne de tramway comporte quelques sections sur lesquelles les pentes sont de l'ordre de 4 à 8%, et trois sections avec des pentes supérieures à 8% :

- Une section d'environ 250 m de longueur au sud de The Boulevard, comportant une pente de 8,7%,
- Une section d'environ 225 m sur Docteur Penfield, comportant une pente de 9,7%,
- Une section d'environ 160 m sur Côte-des-Neiges, au nord de Summerhill, comportant une pente de 8,7%.

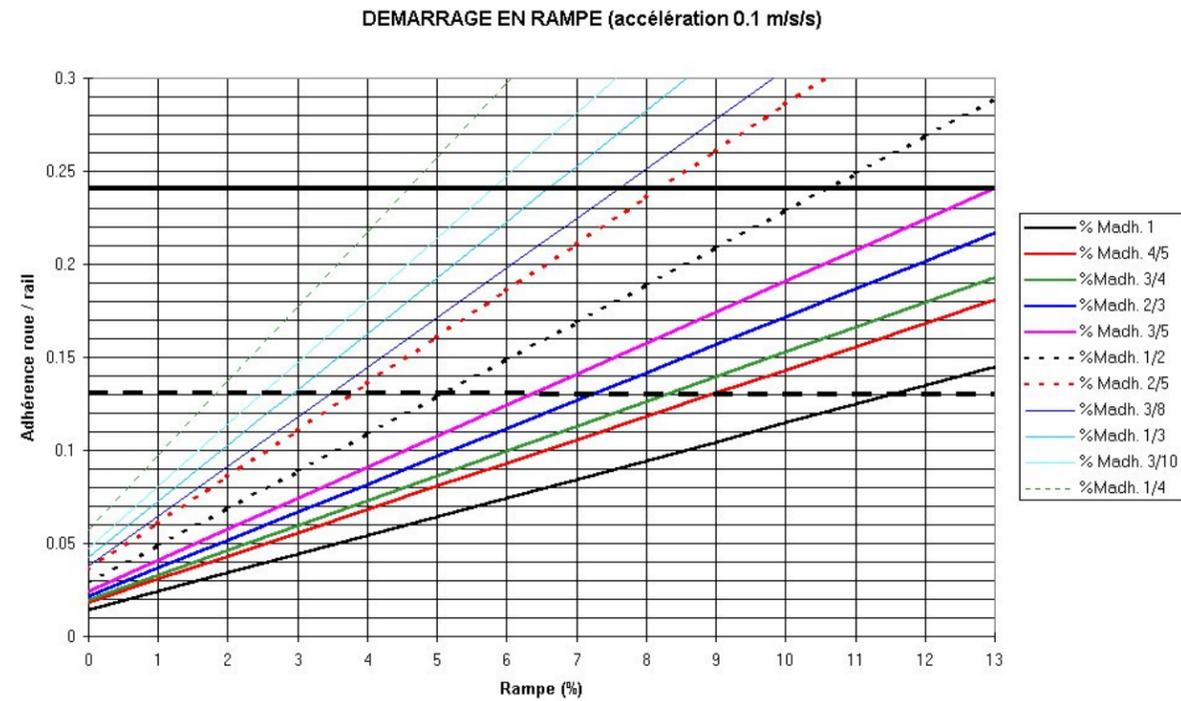
Ces fortes pentes imposent des contraintes sur le matériel roulant qui doit pouvoir rester opérationnel dans les cas les plus défavorables :

- Mode dégradé : moteur perdu,
- Problèmes thermiques causés par l'échauffement des organes de frein mécanique.

4.3.2 Taux de motorisation des tramways

Pour permettre d'estimer le taux de motorisation nécessaire au franchissement de rampes, les courbes ci-après donnent le pourcentage d'adhérence nécessaire pour un taux de motorisation donné (Madh) en fonction de la pente. Le faisceau de courbes correspond aux taux de motorisation nécessaires.

Figure 4.1 Adhérence en fonction du taux de motorisation et de la pente



En mode nominal (tous bogies moteurs actifs), et avec une adhérence disponible suffisante (0,24), le taux de motorisation nécessaire pour permettre un démarrage (0,1 m/s²) dans une rampe de 8 % est de 39 %, soit 2 bogies sur 3 ou deux bogies sur 3.

En mode nominal avec une adhérence dégradée (0,15), ce taux devient 63 %, soit 3 bogies sur 4 ou 2 bogies sur 3.

Afin de garantir la fiabilité de l'exploitation dans des conditions d'exploitation dégradée (adhérence dégradée dû à la présence d'eau de neige ou de feuilles mortes, ou encore un bogie moteur inactif suite à une panne, etc.), un taux de motorisation de 100% est recommandé. Ceci permettra d'atteindre de plus grandes vitesses et de meilleures accélérations dans les zones où les pentes sont les plus fortes..

B. PRÉSENTATION DES MATÉRIELS TRAMWAYS EXISTANTS

5.0 OBJET

L'objet de cette partie est de présenter des tramways modernes existants sur le marché susceptibles de répondre aux exigences précisées dans le préprogramme fonctionnel.

La liste n'a pas vocation à être exhaustive : elle a pour objet d'apporter au maître d'ouvrage une bonne compréhension de l'état actuel de l'offre de tramway.

6.0 PRÉSENTATION DES MATÉRIELS ROULANTS

6.1 SYNTHÈSE DES CARACTÉRISTIQUES PRINCIPALES DES MATÉRIELS PRÉSENTÉS

Les tramways sont des véhicules modernes, pour la plupart conçus dans une logique de gammes de produits évolutives et permettant de s'adapter à coûts réduits aux besoins de chacune des villes intéressées. Les fabricants offrent généralement une ou deux « plateformes » types qu'ils adaptent en fonction des besoins spécifiques de chaque ville. Ainsi, des paramètres tels que la largeur du véhicule, le nombre de modules qu'il comporte, le mode d'exploitation (uni ou bidirectionnel) et le nombre de portes par côté sont des paramètres physiques qui pourront varier d'une application à l'autre. Le matériel roulant est également adapté en fonction des besoins fonctionnels de son environnement d'exploitation : taux de motorisation adapté au profil de la ligne, chauffage et climatisation adaptés en fonction du climat, etc. Il va sans dire que l'aménagement intérieur ainsi que l'apparence des véhicules sont également adaptés en fonction des goûts et des besoins de chacun des clients.

La modularité a été le critère essentiel de conception des produits, qui sont donc parfaitement optimisés pour des applications urbaines. Ainsi, de plus en plus, le matériel roulant peut être adapté en fonction de l'évolution des besoins au fil du temps. Des modules peuvent être ajoutés pour accueillir plus de passagers en fonction de la croissance de l'achalandage.

Le tableau ci-après donne un aperçu du matériel roulant offert par différents fabricants et en présente les principales caractéristiques. Les matériels sont présentés dans l'ordre alphabétique des fabricants. Une fiche technique plus détaillée pour chacun de ces modèles de matériel roulant est présentée à la section suivante.

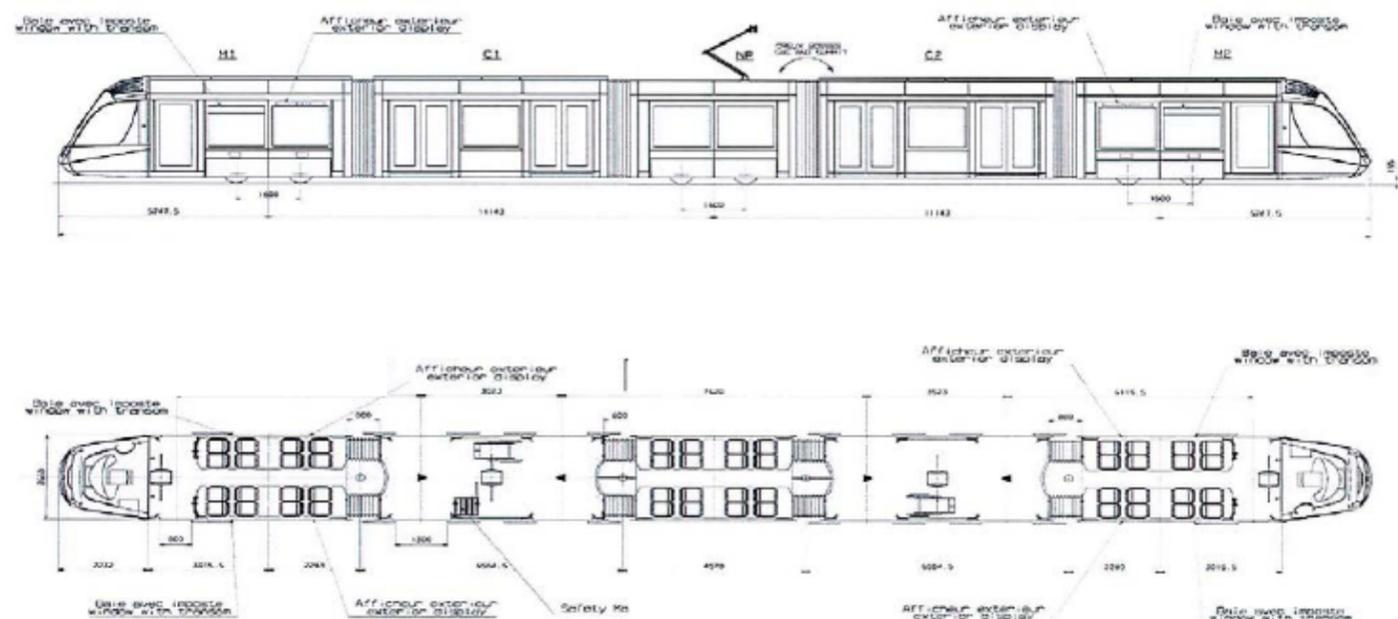
Tableau 6.1 Caractéristiques des matériels roulants

Caractéristique		Alstom Citadis 302 Nice	AnsaldoBreda Sirio Göteborg	Bombardier Flexity Outlook Porto	Bombardier Flexity Classic Brême	Kinkisharyo Seattle	Siemens Combino Plus Sul Do Tejo	Stadler Variobahn Bergen
Longueur	m	32.7	29.55	35	35.4	28.95	36.36	32.18
Largeur	m	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65
Hauteur	m	3.30	3.41	-	3.23	3.81	3.62	3.50
Hauteur du plancher	mm	350	350	350	370/455	355/914	350	350
Hauteur du seuil	mm	320	350	350	300	355	320	315
Niveaux de planchers	Nbre	1	1	1	2	2	1	1
% Plancher bas	%	100	100	100	75	70	100	100
Capacité debout (4p/m ²)	Nbre	162	96	186	134	125	158	120
Capacité assis	Nbre	54	95	109	105	75	74	84
Capacité totale	Nbre	216	191	295	239	200	232	204
Nombre de portes doubles (simples) par côté	Nbre	4 (2)	4 (0)	0 (6)	5 (1)	4 (0)	5 (0)	3 (1)
Largeur des portes doubles (simples)	mm	1300 (800)	-	(1200)	-	-	-	-
Vitesse Max.	km/h	70	80	80	70	88	70	70
Rayon Min en ligne	m	25	17	18	23	-	25	25
Bi ou monodirectionnel		Bi	Mono	Bi	Mono	Bi	Bi	Bi

6.2 FICHES TECHNIQUES MATÉRIEL ROULANT

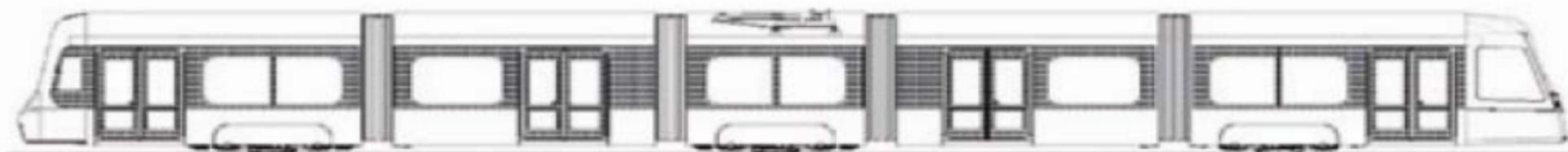
ALSTOM CITADIS 302 Nice

▶ Largeur hors tout	2,65 m	▶ Capacité en charge normale (4p/m ²)	216 pers.
▶ Longueur hors tout	32,7 m	▶ Capacité en charge maximale (6p/m ²)	- pers.
▶ Hauteur	3,3 m	▶ Taux de confort en charge normale (places assises / places totales)	25 %
▶ Hauteur du plancher	350 mm	▶ Vitesse maximale	70 km/h
▶ % Plancher bas	100 %	▶ Rayon de courbe minimum en ligne (au CdEE)	25 m (18)
▶ Hauteur seuil de porte	320 mm	▶ Pente maximale admissible (66%)	- %
▶ Largeur des portes doubles (simples)	1300 (800) mm	▶ Ecartement voie	1435 mm
▶ Nombre de porte double (simple) par côté	4 (2)	▶ Type de captage	LAC et batteries
		▶ Bi ou monodirectionnel	Bidirectionnel



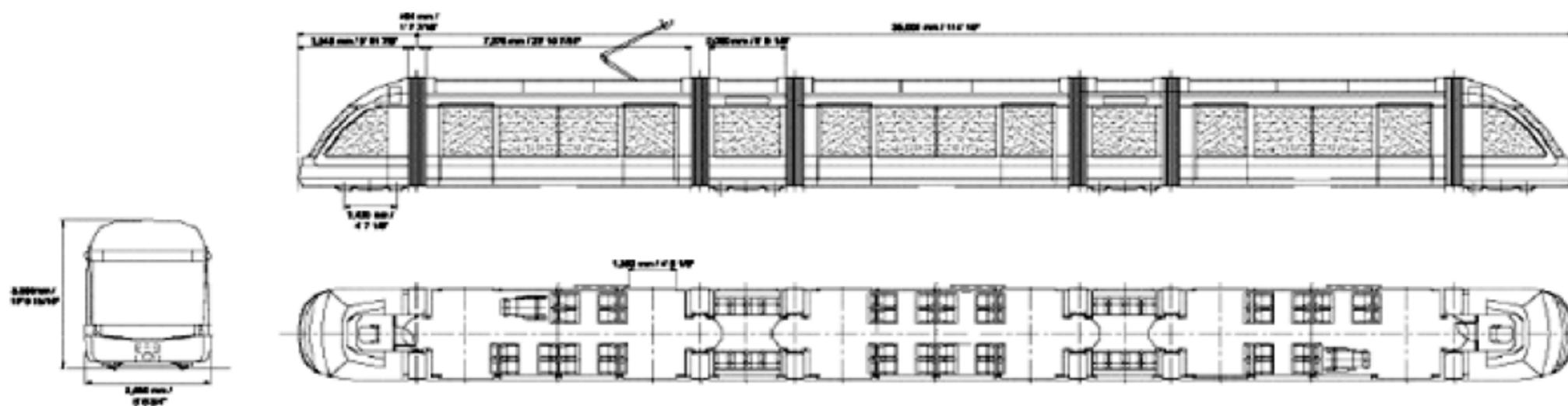
ANSALDO BREDA **SIRIO** **Gothembourg**

▶ Largeur hors tout	2,65	m	▶ Capacité en charge normale (4p/m ²)		pers.
			▶ Capacité en charge maximale (6p/m ²)	238	pers.
▶ Longueur hors tout	29,550	m	▶ Taux de confort en charge normale (places assises / places totales)		%
▶ Hauteur	3,414	m	▶ Vitesse maximale	80	km/h
▶ Hauteur du plancher	350	mm	▶ Rayon de courbe minimum en ligne (au CdEE)		m
▶ % Plancher bas	100	%	▶ Pente maximale admissible (66%)	6	%
▶ Hauteur seuil de porte	350	mm	▶ Ecartement voie	1435	mm
▶ Largeur des portes doubles (simples)		mm	▶ Type de captage		LAC
▶ Nombre de porte double (simple) par coté	4		▶ Bi ou monodirectionnel		Bidirectionnel



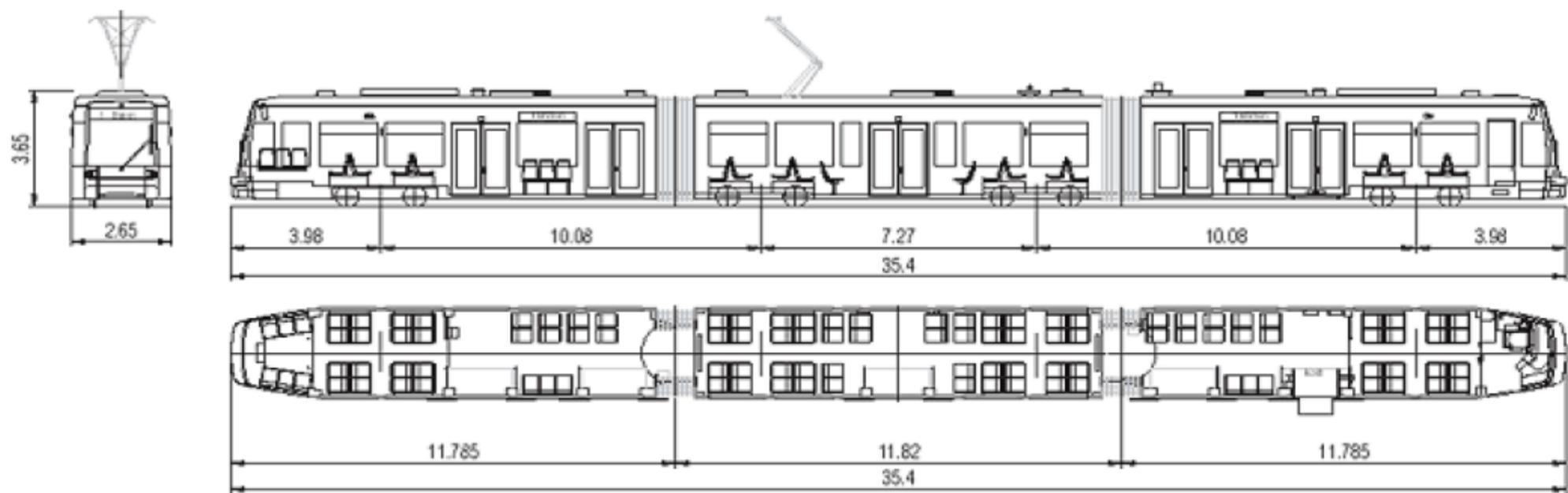
BOMBARDIER **FLEXITY OUTLOOK “Eurotram”** **Porto**

▶ Largeur hors tout	2,65	m	▶ Capacité en charge normale (4p/m ²)	295	pers.
			▶ Capacité en charge maximale (6p/m ²)		pers.
▶ Longueur hors tout	35	m	▶ Taux de confort en charge normale (places assises / places totales)	37	%
▶ Hauteur		m	▶ Vitesse maximale	80	km/h
▶ Hauteur du plancher	350	mm	▶ Rayon de courbe minimum en ligne (au CdEE)	18	m
▶ % Plancher bas	100	%	▶ Pente maximale admissible ()	6,8	%
▶ Hauteur seuil de porte	350	mm	▶ Ecartement voie	1435	mm
▶ Largeur des portes doubles (simples)	(1200)	mm	▶ Type de captage		LAC
▶ Nombre de porte double (simple) par côté	(6)		▶ Bi ou monodirectionnel		Bidirectionnel



BOMBARDIER / VOSSLOH KIEPE **FLEXITY CLASSIC** **Brême**

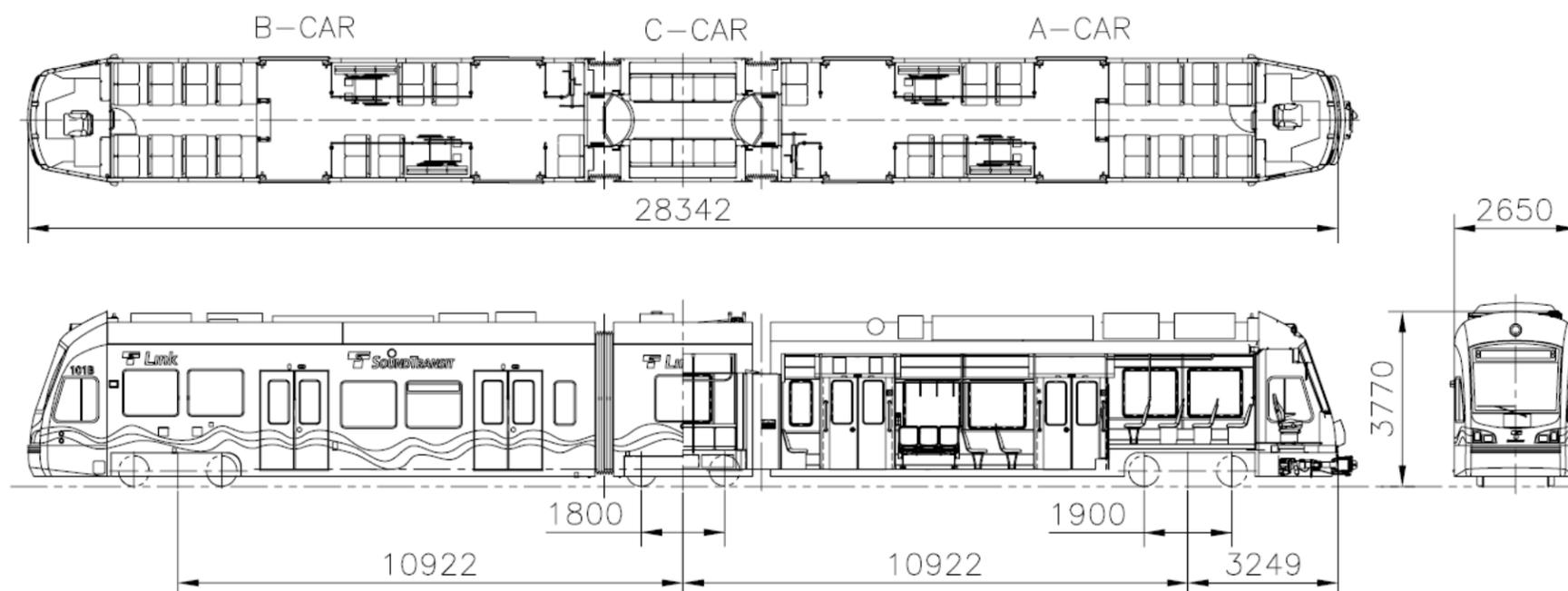
▶ Largeur hors tout	2,65	m	▶ Capacité en charge normale (4p/m ²)	239	pers.
			▶ Capacité en charge maximale (6p/m ²)		pers.
▶ Longueur hors tout	35,4	m	▶ Taux de confort en charge normale (places assises / places totales)	44	%
▶ Hauteur	3,234	m	▶ Vitesse maximale	70	km/h
▶ Hauteur du plancher	370 / 455	mm	▶ Rayon de courbe minimum en ligne (au CdEE)	23	m
▶ % Plancher bas	75	%	▶ Pente maximale admissible (50%)	4,5	%
▶ Hauteur seuil de porte	300	mm	▶ Ecartement voie	1435	mm
▶ Largeur des portes doubles (simples)		mm	▶ Type de captage		LAC
▶ Nombre de porte double (simple) par coté	4		▶ Bi ou monodirectionnel		monodirectionnel



KINKISHARYO

Seattle

▶ Largeur hors tout	2,65	m	▶ Capacité en charge normale (4p/m ²)	200	pers.
			▶ Capacité en charge maximale (6p/m ²)		pers.
▶ Longueur hors tout	28,95	m	▶ Taux de confort en charge normale (places assises / places totales)	37,5	%
▶ Hauteur	3,81	m	▶ Vitesse maximale	88	km/h
▶ Hauteur du plancher		mm	▶ Rayon de courbe minimum en ligne (au CdEE)		m
▶ % Plancher bas	70	%	▶ Pente maximale admissible (°)		%
▶ Hauteur seuil de porte		mm	▶ Ecartement voie	1435	mm
▶ Largeur des portes doubles (simples)		mm	▶ Type de captage		LAC
▶ Nombre de porte double (simple) par côté			▶ Bi ou monodirectionnel		Bidirectionnel

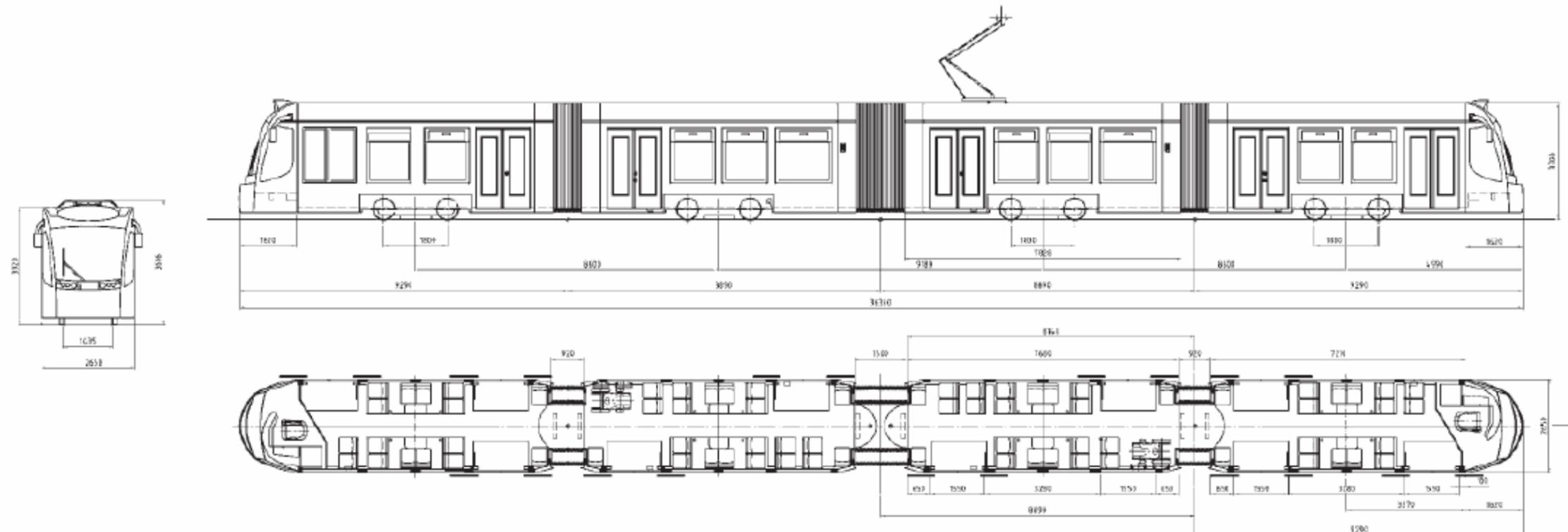


SIEMENS

Combino Plus

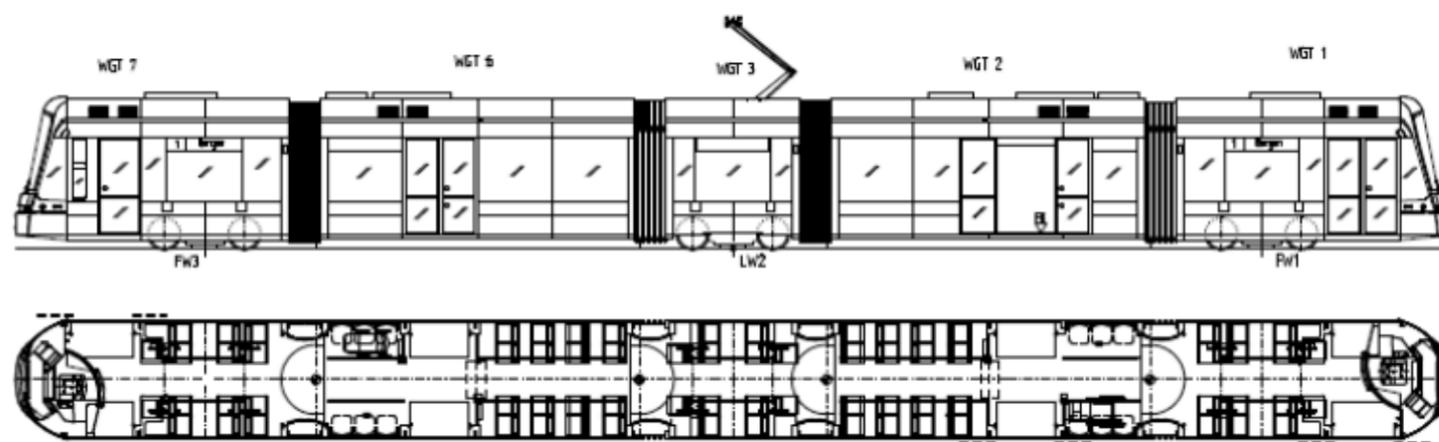
Sul Do Tojo

▶ Largeur hors tout	2,65	m	▶ Capacité en charge normale (4p/m ²)	232	pers.
			▶ Capacité en charge maximale (6p/m ²)		pers.
▶ Longueur hors tout	36,36	m	▶ Taux de confort en charge normale (places assises / places totales)	32	%
▶ Hauteur	3,616	m	▶ Vitesse maximale	70	km/h
▶ Hauteur du plancher	350	mm	▶ Rayon de courbe minimum en ligne (au CdEE)	25	m
▶ % Plancher bas	100	%	▶ Pente maximale admissible (75 %)		%
▶ Hauteur seuil de porte	320	mm	▶ Ecartement voie	1435	mm
▶ Largeur des portes doubles (simples)		mm	▶ Type de captage		LAC
▶ Nombre de porte double (simple) par coté	5		▶ Bi ou monodirectionnel		Bidirectionnel



STADLER **Variobahn** **Bergen**

▶ Largeur hors tout	2,65 m	▶ Capacité en charge normale (4p/m ²)	204 pers.
		▶ Capacité en charge maximale (6p/m ²)	pers.
▶ Longueur hors tout	32,18 m	▶ Taux de confort en charge normale (places assises / places totales)	41 %
▶ Hauteur	3,5 m	▶ Vitesse maximale	70 km/h
▶ Hauteur du plancher	350 mm	▶ Rayon de courbe minimum en ligne (au CdEE)	25 m
▶ % Plancher bas	100 %	▶ Pente maximale admissible (°)	%
▶ Hauteur seuil de porte	315 mm	▶ Écartement voie	1435 mm
▶ Largeur des portes doubles (simples)	mm	▶ Type de captage	LAC
▶ Nombre de porte double (simple) par côté	3(1)	▶ Bi ou monodirectionnel	Bidirectionnel



C. CHOIX DU DESIGN DU MATÉRIEL ROULANT

7.0 OBJET

Cette partie constitue un outil d'aide à la décision destiné à la Ville de Montréal pour l'aider dans le choix du processus de design du matériel roulant.

8.0 DE QUEL MATÉRIEL ROULANT S'AGIT-IL?

La programmation d'un projet de tramway, notamment d'une 1^{ère} ligne, est toujours l'occasion pour une autorité organisatrice de se poser la question du design du matériel roulant.

La réflexion doit tout d'abord porter sur le périmètre du processus de design :

- Doit-il se limiter aux rames de tramway de la 1^{ère} ligne, comme il a été fait pour le réseau de Bordeaux?
- S'étend-il au réseau de surface, tramway et autobus, à l'instar des villes de Caen et de Reims?
- Englobe-t-il la totalité du réseau de transport en commun, métro, tramway et autobus?

Ces questions sont d'autant plus pertinentes dans le cas de Montréal que la ville identifie, dans son plan de transport, un certain nombre de chantiers destinés à améliorer la qualité de service.

9.0 LES 3 DÉMARCHES POSSIBLES

Selon les retours d'expérience dans le domaine du design du matériel roulant, 3 approches sont possibles :

- l'approche minimaliste;
- l'approche maximaliste;
- l'approche intermédiaire.

9.1 APPROCHE MINIMALISTE

Dans cette démarche, appliquée à Caen, aucun design n'est réalisé durant la conception générale.

Il est en revanche demandé à l'industriel ferroviaire retenu pour la conception et la fabrication du matériel roulant, des propositions de design, généralement au nombre de trois, du bout avant du véhicule et de la livrée (intérieure et extérieure).

Dans la pratique courante, les propositions de design font partie des premiers livrables demandés à l'industriel ferroviaire. Après validation par un comité ad-hoc, la proposition retenue est mise en œuvre sur une maquette en vraie grandeur (échelle 1) de la partie avant du véhicule (par exemple les dix premiers mètres de la rame).

Cette maquette est construite dans le but de s'assurer du respect de la proposition de design par le constructeur, notamment de la qualité des matériaux ainsi que de la conformité des couleurs et des textures. Mais cette maquette constitue également un excellent outil de communication auprès du public, et elle est généralement exposée lors d'événements importants de la vie locale (expositions, foires) ou de la vie du projet (consultation du public).

9.2 APPROCHE MAXIMALISTE

Dans cette démarche, appliquée à Bordeaux, un designer est sélectionné durant les études de conception générale, afin de contribuer le plus en amont possible, à l'image que la collectivité souhaite donner à son nouveau réseau de transport en commun en site propre (TCSP).

Dans la démarche maximaliste, le designer se voit confier la définition de toutes les formes, couleurs, textures et matériaux visibles : bout avant, livrée extérieure, livrée intérieure, sièges, parti pris d'aménagement intérieur, etc.

Après validation du design proposé par la procédure ad-hoc, le designer doit rédiger le volet « design » de l'appel d'offres du MR (rédaction d'un cahier des charges « design » du MR). Le designer participe ensuite à l'analyse des offres du MR dans son domaine de compétence et il contribue à la mise au point de ce marché.

Le designer est enfin en charge du suivi du design du MR durant tout le cycle de vie du marché du MR : conception, fabrication, réception de la 1^{ère} rame (sur la base d'une revue de design 1périodique).

9.3 APPROCHE INTERMÉDIAIRE

L'expérience bordelaise a mis en évidence la limite de l'approche maximaliste dans la mesure où les contraintes fonctionnelles du matériel roulant ne sont pas toujours compatibles avec certaines exigences de design, ce qui peut entraîner des surcoûts de fabrication et des désordres lors de l'exploitation de la ligne.

Pour éviter cet écueil, d'autant plus critique dans cadre d'un achat en partenariat public privé, la ville de Reims a limité le contenu du design au seul graphisme. De ce fait, la prestation du designer ne peut en aucune manière impacter la structure du véhicule et provoquer des conflits avec le fabricant du matériel.

Le designer effectue une prestation identique à celle du cas précédent : production d'un design, spécifications et suivi de sa mise en œuvre.

9.4 AVANTAGES / INCONVÉNIENTS DES 3 APPROCHES POSSIBLES

	Approche maximaliste	Approche intermédiaire	Approche minimaliste
Impact communication	Fort : possibilité d'une communication amont, suivie et diversifiée (facteur d'appropriation par le public)	Idem approche maximaliste	Faible : communication tardive en aval de la définition de l'identité visuelle du projet
Impact coût	Fort : coût du designer + Risques de surcoût de fabrication	Faible : coût du designer	Pas d'impact

Les différentes approches n'ont pas d'impact sur l'échéancier du projet à partir du moment où elles sont correctement programmées. De ce point de vue, le recrutement du designer doit se faire durant les études de faisabilité, afin que le processus de design puisse se dérouler sans contrainte.

10.0 MODALITÉS DE SÉLECTION DU DESIGNER

Une forme d'achat de type concours semble la mieux adaptée à ce domaine artistique. De plus, les designers qui ne souhaiteraient pas concourir pourraient participer au jury de concours.

11.0 PROCESSUS DE VALIDATION DU DESIGN

Quelle que soit l'approche retenue, il est possible de donner à la validation du design l'ampleur souhaitée en termes de stratégie de communication :

- limiter la décision à un cercle restreint de décideurs politiques et de techniciens, au même titre que tous les autres contrats passés par le client. C'est la position retenue par Caen et Bordeaux en leur temps;
- étendre le choix au plus grand nombre, par le biais d'une consultation du public, choix de la ville de Reims pour sa 1^{ère} ligne de tramway.

D. QUESTIONNAIRE AUX FOURNISSEURS DE MATÉRIEL ROULANT

Montréal, le 14 octobre 2009

Envoyé par courriel

OBJET : Information sur les performances des tramways
 Études du réseau initial de tramways de Montréal: phase 2
N/Ref. : M114012

Madame, Monsieur,

Dans le cadre de l'étude de faisabilité pour le projet de Tramway de Montréal, nous sollicitons votre participation pour alimenter la partie « Matériel Roulant » de l'étude en répondant à certaines questions techniques présentées ci-dessous.

Rapport d'étude de pré-faisabilité

Vous trouverez dans le fichier "090802_20_F1_ALL_RAP_CGS_10_v2.0_materiel roulant_20090724.pdf" le rapport d'étude de pré-faisabilité relatif au Matériel Roulant, que nous vous invitons à consulter.

Nous sollicitons vos commentaires sur ce rapport.

Vous trouverez dans le fichier "802_20_C1_ALL_RAP_CGS_00_Exploitation_v2.0_20090724.pdf" le rapport d'étude concernant l'exploitation.

Vous trouverez dans le fichier "090802_20_C2_ALL_RAP_CGS_00_Hypotheses concept_v2.0-20090724-2.pdf" les hypothèses de conception retenues lors de l'étude de pré-faisabilité, dont les hypothèses concernant les conditions climatiques et environnementales.

Conditions climatiques et environnementales

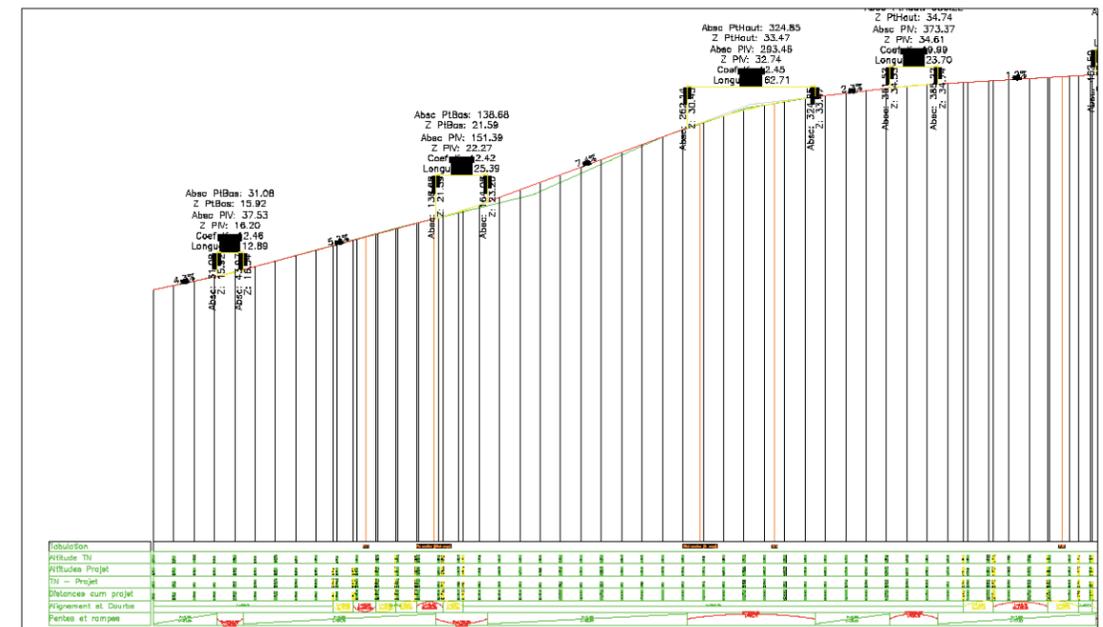
1. Quels sont les principaux risques associés à l'accumulation de neige, l'accumulation de glace et la présence de composés de déglacage?
2. Quelles sont les solutions techniques que vous préconisez pour gérer les risques identifiés?
3. Quelle est l'épaisseur maximale de neige accumulée que votre véhicule peut tolérer sans aucun risque opérationnel?

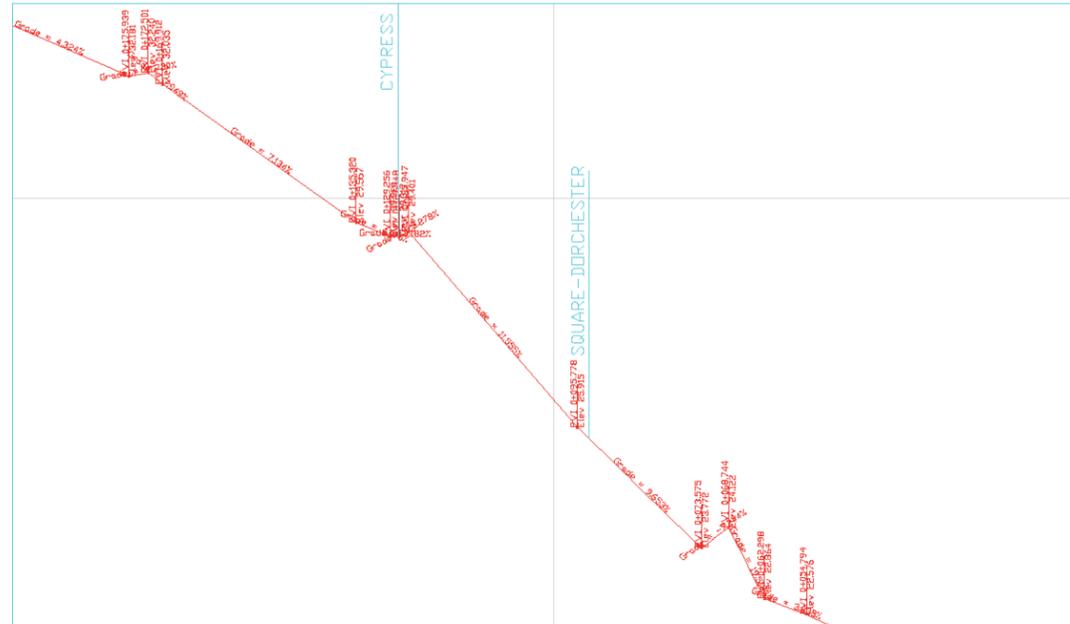
Pentes

Vous trouverez dans les fichiers "Profils en long.zip" et "Profil en long base.zip" les documents présentant le profil détaillé du parcours.

Le parcours présente deux difficultés principales :

- La partie « Côte des Neiges » est caractérisée par de longues pentes. Une pente maximale de 8.2% sur 140 mètres de long est atteinte aux environs du trois quart d'une pente de plus de 2 kilomètres de longueur. Le fichier « CDN.xls » présente les pentes tandis que le fichier « Profil Cote des Neiges.pdf » présente l'ensemble du profil sur Côte des Neiges.
- Sur la rue Peel, il est prévu de modifier la pente pour la lisser à 7.4% (en rouge sur le schéma ci-dessous). Il n'est pas certain que ce lissage puisse se réaliser. La pente naturelle (en vert sur le schéma ci-dessous) est représentée sur le deuxième schéma. La pente atteint 9.6% sur 22 mètres de long puis augmente à 11.5% sur 30 mètres de long.





4. Avez-vous des applications avec fortes pentes, similaires à celles présentées ci-dessus et dans un environnement semblable à celui de Montréal ou dans un autre environnement? Quelles sont-elles?
5. Quel est le cas le plus défavorable considéré habituellement dans la caractérisation de votre véhicule pour déterminer la pente maximale acceptable par le véhicule?
6. Quel est le taux de motorisation que vous préconisez compte tenu de l'ensemble des pentes ainsi que des deux difficultés et des conditions environnementales de Montréal présentées ci-dessus?
7. Quelle est la longueur maximale du véhicule qui est atteignable dans les circonstances?
8. Quel est le nombre maximal de passagers atteignables considérant une densité de 4 p/m²?

Dans un scénario de secours, nous envisageons d'utiliser un véhicule routier spécialisé pour remorquer la rame en panne.

9. Connaissez-vous des exploitants qui opèrent ainsi avec votre matériel roulant?
10. Si le scénario pris en compte pour déterminer la pente maximale d'une ligne de tramway est celui d'un remorquage d'une rame par une autre, merci de répondre aux questions 5 à 8, en considérant que le cas le plus défavorable est celui d'un tramway opérationnel plein ou tout autre scénario plus contraignant (scénario de remorquage non inclus).

Pour vérifier la faisabilité d'un remorquage par un véhicule routier, nous recherchons les informations suivantes :

11. Quelle est la force nécessaire pour démarrer le remorquage d'un véhicule en panne dans les conditions suivantes :
 - a. Sur une voie à l'horizontale;
 - b. Dans les pentes extrêmes?
12. Quel est le type d'attelage nécessaire pour le remorquage?

Divers

13. Serait-il nécessaire d'avoir un contrôle de vitesse dans nos fortes descentes? Quelle configuration (balises ou GPS) pouvez-vous fournir?
14. Dans le but de faire des simulations, est-il possible d'obtenir les courbes d'accélération, de freinage, de puissance et de consommation d'énergie?

Alimentation

15. Veuillez nous décrire les systèmes d'alimentation sans Ligne Aérienne de Contact (LAC) (batteries, induction) qui pourraient être installés à Montréal, compte tenu des conditions climatiques et environnementales de la ville (environnement salin et neige).
16. Y a-t-il des projets pour lesquels il est prévu d'installer ces systèmes ou ne sont-ils encore qu'en phase de développement/essai?
17. Quels systèmes de récupération d'énergie (dans les tramways ou dans les postes de redressement) pouvez-vous fournir et conseillez vous d'installer? Quel est le % d'économie d'énergie avec de tels systèmes? Où sont installés de tels systèmes?
18. Quelle est la plage de hauteur du pantographe (hauteur maximum et minimum), par rapport au rail, permettant une opération normale du véhicule, en fonction de la vitesse? Quelle est la vitesse maximale du véhicule associée à la hauteur minimale opérationnelle du pantographe?

Dans l'attente de vos réponses (mbrunet@canarail.com & jldupre@canarail.com), veuillez agréer, Madame, Monsieur, l'expression de nos salutations les meilleures.

Consortium GENIVAR - SYSTRA

Marc Brunet, M. ing.
 CANARAIL
 Responsable Matériel roulant