



# TRAMWAY de Montréal

**PHASE 1**  
Analyse du réseau initial de tramways



# PHASE 1 – ANALYSE DU RÉSEAU INITIAL DE TRAMWAYS

Volume F1 – Matériel roulant

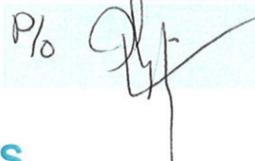
Tramway de Montréal

24 juillet 2009

090802	20	F1	ALL	RAP	CGS	10	2.0
Projet	Phase	Livrable	Lieu.	Forme	Émetteur	Numéro	Version



### SIGNATURES

	Rédigé par	Vérifié par	Validé par	Approuvé par
Prénom, Nom	Florient Lacroix	Marc Brunet	Philippe Grisez	Pierre-André Dugas, ing. (OIQ 25694)
Fonction	Spécialiste matériel roulant	Spécialiste ferroviaire	Directeur technique	Directeur de projet
Signature				

### VERSIONS

Version	Date	Nature du document
v1.0	2009-04-23	Pour avis
v2.0	2009-07-24	Rapport final

#### Référence complète

Consortium GENIVAR - SYSTRA (2009) PHASE 1 – ANALYSE DU RÉSEAU INITIAL DE TRAMWAYS, Volume F1 – Matériel roulant  
 Pour la Ville de Montréal, Montréal, 24 pages et annexes.

P:\Montréal\M1140XX\M11401201-Structure\20 Phase 1\F Systemes - F1 Matériel roulant\23-Brouillons\090802\_20\_F1\_ALL\_RAP\_CGS\_10\_v2\_0\_materiel roulant\_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

Le présent document constitue le volume F1– Matériel roulant – des études d'analyse du réseau initial de tramways de Montréal.

Le volume F1 décrit les fonctionnalités principales d'un tramway moderne en se plaçant du point de vue du client (utilisateur du transport en commun) et il présente succinctement les différents matériels existant à la date de rédaction du rapport et répondant aux fonctionnalités préconisées.

Ce document est constitué de 2 parties, brièvement présentées ci-dessous :

- la 1<sup>ère</sup> partie – A "préprogramme fonctionnel du matériel roulant" décrit les principaux éléments fonctionnels (fonctionnalités et spécifications fonctionnelles) mis à disposition de la clientèle. Il rappelle également brièvement l'environnement opérationnel spécifique montréalais (conditions climatiques et présences de fortes rampes) ;
- la 2<sup>ème</sup> partie – B "présentation des matériels tramway 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.

## SYNTHÈSE

### Objet du document

Le volume décrit les fonctionnalités principales d'un tramway moderne en se plaçant du point de vue du client (utilisateur du transport en commun) et il présente succinctement les différents matériels existant à la date de rédaction du rapport et répondant aux fonctionnalités préconisées.

### Architecture générale des véhicules

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

La largeur retenue à ce stade des études est de 2,65 m afin d'offrir aux clients un confort maximum (largeur de couloir et/ou de siège). Trois possibilités de longueur sont envisageables :

- un véhicule court, de l'ordre de 30 m ;
- un véhicule court extensible ultérieurement à 40 m ;
- un véhicule long, de l'ordre de 40 m.

La longueur sera définie dans la phase d'étude ultérieure, en fonction du calcul définitif d'achalandage et des contraintes d'environnement, dont l'insertion urbaine.

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.

### Capacité de transport

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 m<sup>2</sup>, 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 m<sup>2</sup> 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.

### Accessibilité du véhicule

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 ouvertures sur toute la longueur du tramway, en dimensionnant les ouvertures de la façon la plus large possible et en diminuant au maximum les temps d'ouverture et de fermeture des 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.

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

### Aménagement du véhicule

Tous les voyageurs ayant accès au véhicule, sauf cas particulier des usagers de fauteuils roulants, 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 sera défini en phase 2. Il se décompose en :

- confort thermique ;
- confort visuel ;
- confort acoustique ;
- confort dynamique ;
- confort olfactif et tactile.

### 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 Nouvelles Technologies d'Information et de Communication (NTIC) peut également être envisagée.

### Design du matériel 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.

Les enjeux liés à la sensation de sécurité et la lutte contre le vandalisme devront également être pris en compte.

### 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.

### Synthèse des caractéristiques principales des matériels 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.

Unités d'œuvre		Alstom	AnsaldoBreda	Bombardier	Bombardier	Kinkisharyo	Siemens	Stadler
		Citadis 302 Nice	Sirio Gothemborg	Flexity Outlook Porto	Flexity Classic Brême	Seattle	Combino Plus Sul Do Tejo	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	-	350	350
Hauteur du seuil	mm	320	350	350	300	-	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/m²)	Nbre	162	-	186	134	125	158	120
Capacité assis	Nbre	54	-	109	105	75	74	84
Capacité totale	Nbre	216	238 <sup>1</sup>	295	239	200	232	204
Nombre de portes doubles (simples) par côté	Nbre	4 (2)	4 (0)	0 (6)	5 (1)	-	5 (0)	3 (1)
Largeur des portes doubles (simples)	mm	1300 (800)	-	(1200)	-	-	-	-
Vitesse Max.	km/h	70	70	80	70	88	70	70
Rayon Min en ligne	m	25	?	18	23	-	25	25
Bi ou monodirectionnel		Bi		Bi	Mono	Bi	Bi	Bi

Note 1 : Capacité totale pour une densité de 6p/m².

## SOMMAIRE

<b>A.</b>	<b>Pré-programme fonctionnel du matériel roulant.....</b>	<b>1</b>
<b>1.0</b>	<b>Objet .....</b>	<b>2</b>
<b>2.0</b>	<b>Abréviations et acronymes .....</b>	<b>2</b>
<b>3.0</b>	<b>Pré-programme fonctionnel.....</b>	<b>2</b>
3.1	Architecture générale des véhicules .....	2
3.2	Fonction transport .....	3
3.3	Capacité de transport.....	3
3.4	Accessibilité du véhicule .....	3
3.5	Aménagement du véhicule.....	4
3.6	Confort.....	4
3.7	Informations destinées au voyageur .....	4
3.8	Design du matériel roulant .....	5
3.9	Développement durable – Respect de l’environnement .....	5
3.10	Environnement opérationnel .....	5
3.11	Franchissement des rampes - Taux de motorisation.....	6
<b>B.</b>	<b>Présentation des matériels tramway existants .....</b>	<b>7</b>
<b>4.0</b>	<b>Objet .....</b>	<b>8</b>
<b>5.0</b>	<b>Présentation des matériels roulants.....</b>	<b>8</b>
5.1	Synthèse des caractéristiques principales des matériels présentés .....	8
5.2	Fiches Techniques Matériel roulant .....	9
<b>C.</b>	<b>Choix du design du matériel roulant.....</b>	<b>16</b>
<b>6.0</b>	<b>Objet .....</b>	<b>17</b>
<b>7.0</b>	<b>De quel matériel roulant s’agit-il? .....</b>	<b>17</b>
<b>8.0</b>	<b>Les 3 démarches possibles .....</b>	<b>17</b>
8.1	Approche minimaliste .....	17
8.2	Approche maximaliste .....	17
8.3	Approche intermédiaire .....	17
8.4	Avantages / inconvénients des 3 approches possibles .....	18
<b>9.0</b>	<b>Modalités de sélection du designer .....</b>	<b>18</b>
<b>10.0</b>	<b>Processus de validation du design.....</b>	<b>18</b>

# A. PRÉ-PROGRAMME FONCTIONNEL DU MATÉRIEL ROULANT

## 1.0 OBJET

L'objet du document 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"> <li>un voyageur par place assise fixe. Les sièges à assise rabattable ou les strapontins ne sont pas pris en compte comme places assises.</li> <li>8 voyageurs debout par m<sup>2</sup> 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.</li> </ul>
Charge maximale	CM	Éléments complets en Ordre de Marche, prêts à rouler, <ul style="list-style-type: none"> <li>un voyageur par place assise fixe. Les sièges à assise rabattable ou les strapontins ne sont pas pris en compte comme places assises.</li> <li>6 voyageurs debout par m<sup>2</sup> disponible en dehors des sièges, y compris au droit des sièges à assise rabattable et des strapontins.</li> </ul> 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"> <li>un voyageur par place assise (fixe ou rabattable). Les strapontins ne sont pas pris en compte comme places assises.</li> <li>4 voyageurs debout par m<sup>2</sup> disponible en dehors des sièges, y compris au droit des strapontins.</li> </ul> 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 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 ARCHITECTURE GÉNÉRALE DES VÉHICULES

#### 3.1.1 Configuration du véhicule

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.

#### 3.1.2 Longueur

Trois alternatives sont envisageables :

- un véhicule court, de l'ordre de 30 m ;
- un véhicule court extensible ultérieurement à 40 m ;
- un véhicule long, de l'ordre de 40 m.

Chacune de ces alternatives peut être envisagée en unité simple ou en unité multiple.

La préconisation qui est faite à ce stade d'avancement des études est celle d'un matériel de 30 à 35 m de longueur, en raison des contraintes de franchissement des fortes pentes de l'antenne Cote-des-Neiges et compte tenu d'applications similaires avec fortes pentes qui existent ailleurs dans le monde.

### 3.1.3 Largeur

La largeur retenue à ce stade des études est de 2,65 m afin d'offrir aux clients un confort maximum (largeur de couloir et/ou de siège).

### 3.1.4 Habitabilité

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.

## 3.2 FONCTION TRANSPORT

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 95<sup>ème</sup> 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* ».

## 3.3 CAPACITÉ DE TRANSPORT

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 m<sup>2</sup>, 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.

Ville	Constructeur	Modèle	Version du	Mise en service	Plancher	Long.	Larg.	Passagers		
								(état actuel)	modèle	Date
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%	32,517	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	29,84	2,65	82	118	200
Manchester	Firema	Tramway	T68	1991	Haut	29,84	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
										<b>Moyenne</b>
										<b>204</b>

Extraction Tramexpert® - Capacité unitaire des TW de 2,65 m de large et de 30 m à 35 m de long

Le taux de confort pour cette charge de 4 voyageurs debout par m<sup>2</sup> 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.

## 3.4 ACCESSIBILITÉ DU VÉHICULE

### 3.4.1 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 ouvertures sur toute la longueur du tramway, en dimensionnant les ouvertures de la façon la plus large possible et en diminuant au maximum les temps d'ouverture et de fermeture des portes. Les dispositions techniques suivantes seront adoptées :

- portés motorisés 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.

### 3.4.2 Hauteur libre des accès

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

### 3.4.3 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 au maximum afin d'obtenir une hauteur minimum des quais.

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

### 3.4.4 Lacunes horizontales et verticales

Pour les accès UFR (Usagers en Fauteuil Roulant), on appliquera la recommandation européenne COST 335 « Accessibilité des réseaux ferroviaires aux passagers » :

- la lacune horizontale doit être inférieure ou égale à 50 mm ;
- la lacune verticale doit être inférieure ou égale à 50 mm.

Pour les autres accès, les valeurs préconisées sont les suivantes : le véhicule étant en charge 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 7,5 cm, et la distance non comblée verticale inférieure à 5,5 cm.

## 3.5 AMÉNAGEMENT DU VÉHICULE

### 3.5.1 Déplacements dans le véhicule

Tous les voyageurs ayant accès au véhicule, sauf cas particulier des usagers de fauteuils roulants, 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 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 la « *Americans with Disabilities Act (ADA)* », enchassée dans le « *Code of Federal Regulations – Title 49, Part 38* ». 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.

### 3.5.2 Voyageurs en position assise

Le pourcentage de places assises par rapport au nombre de personnes transportées en 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.

### 3.5.3 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.

## 3.6 CONFORT

Le confort sera défini en phase 2. Il se décompose en :

- confort thermique ;
- confort visuel ;
- confort acoustique ;
- confort dynamique ;
- confort olfactif et tactile.

## 3.7 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.

### 3.8 DESIGN DU MATÉRIEL 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. Se référer à la partie C pour une présentation générale de la problématique.

Les enjeux liés à la sensation de sécurité et la lutte contre le vandalisme devront également être pris en compte.

### 3.9 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.

### 3.10 ENVIRONNEMENT OPÉRATIONNEL

La prise en compte de l'environnement opérationnel est cruciale pour la réussite du projet, puisqu'une conception mal adaptée aux conditions hivernales 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.

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 : 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 imposera probablement des exigences spécifiques sur l'aménagement de la toiture (écoulement des eaux) et des éléments sous-caisse. L'installation de chasse-neige sera probablement requise afin de minimiser les risques de bourrage de neige sous-caisse ;
- 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.

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.

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

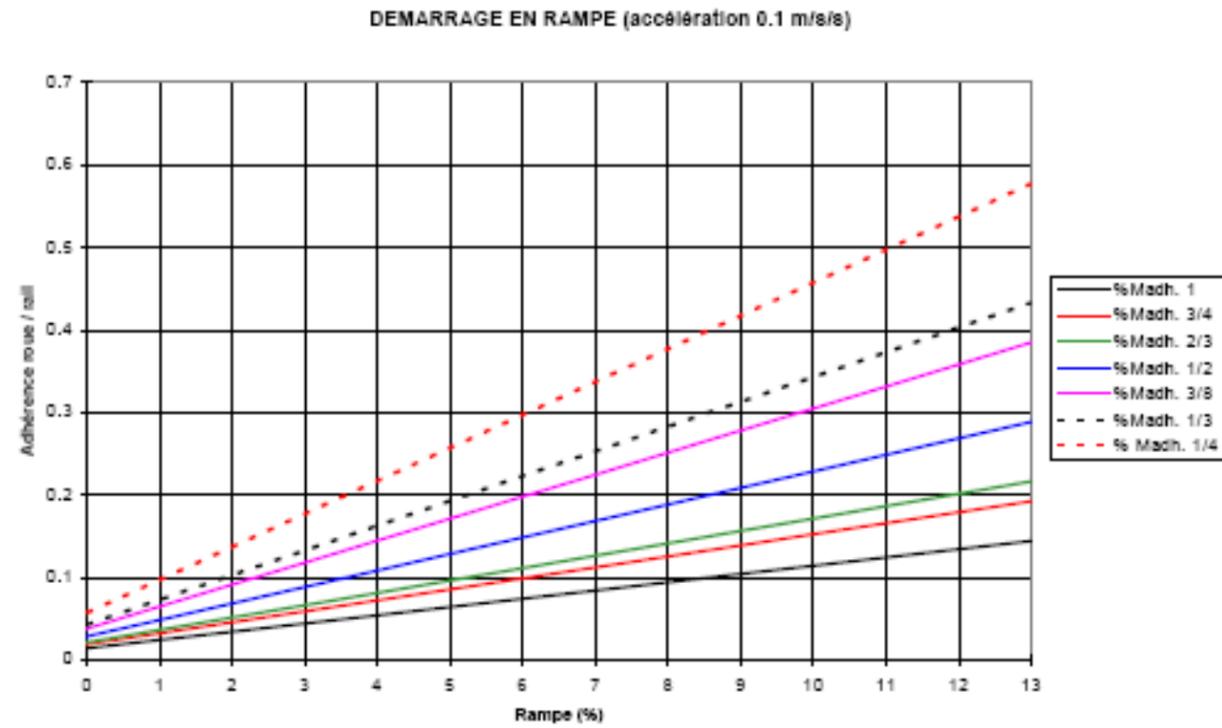
- contact rail/roue;
- graisses et huiles;
- circuits d'air comprimé;
- dispositif de sablage;
- pantographe;
- circuit de traction;
- caisse (portes, fenêtres);
- batteries;
- parties métalliques;
- liquide de nettoyage de pare brise;
- accouplement automatique entre rames.

Lors des analyses détaillées qui pourront être effectuées dans les phases subséquentes, les éléments du matériel roulant potentiellement impactés seront étudiés en regard des données principales à prendre en compte, telles que :

- les températures extrêmes qui peuvent sévir en hiver ;
- les fortes variations de ces températures dans des temps relativement courts : cycles gel-dégel ;
- les statistiques de pluviométrie et d'accumulation de neige ;
- les conditions spécifiques du déneigement et du contrôle de la glace à Montréal.

### 3.11 FRANCHISSEMENT DES RAMPES - TAUX DE MOTORISATION

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.



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/s<sup>2</sup>) dans une rampe de 8 % est de 39 %, soit 2 bogies / 4 ou 2 bogies / 3.

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

Afin de garantir une disponibilité suffisante (adhérence dégradée et 1 bogie moteur inactif), et également une vitesse en rampe la plus élevée possible, un taux de motorisation de 100% nous paraît la solution la plus adaptée à la situation.

## B. PRÉSENTATION DES MATÉRIELS TRAMWAY EXISTANTS

## 4.0 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.

## 5.0 PRÉSENTATION DES MATÉRIELS ROULANTS

### 5.1 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.

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.

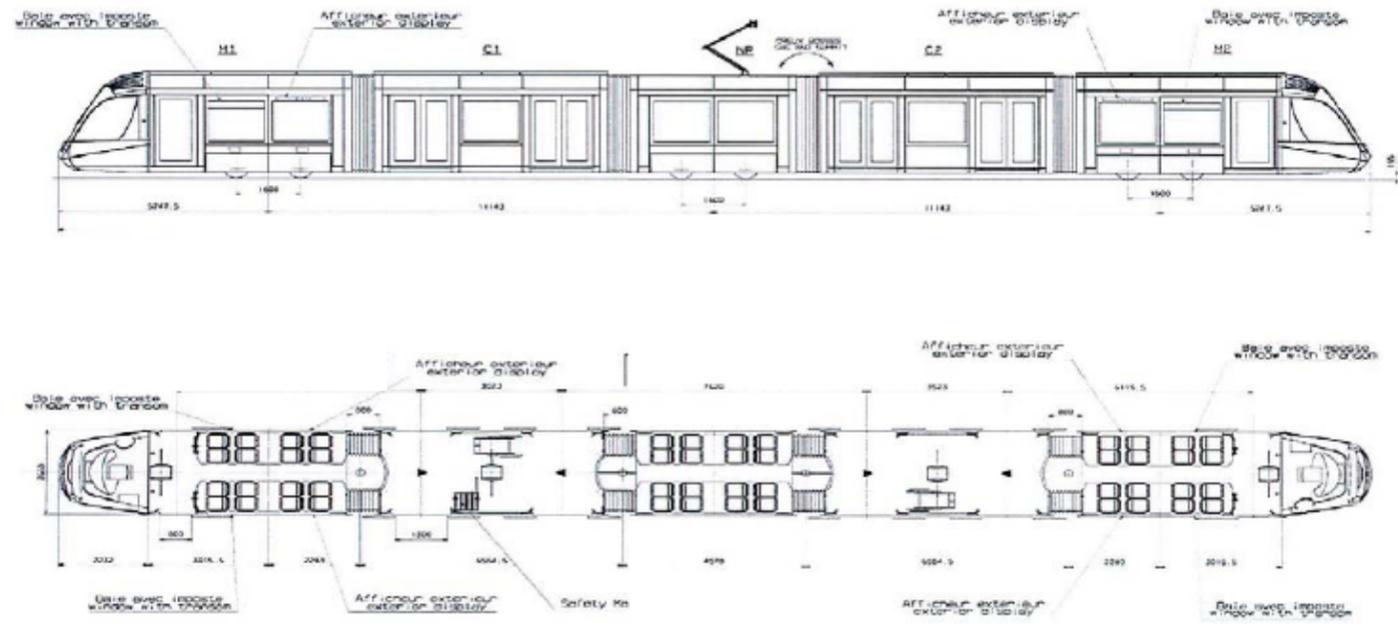
Unités d'œuvre		Alstom	AnsaldoBreda	Bombardier	Bombardier	Kinkisharyo	Siemens	Stadler
		Citadis 302 Nice	Sirio Gothemborg	Flexity Outlook Porto	Flexity Classic Brême	Seattle	Combino Plus Sul Do Tejo	Variobahn Bergen
Longueur	m	32.7	29.55	35	35.4	28.95	36.36	32.18
Largeur	m	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	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	-	350	350
Hauteur du seuil	mm	320	350	350	300	-	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 <sup>2</sup> )	Nbre	162	-	186	134	125	158	120
Capacité assis	Nbre	54	-	109	105	75	74	84
Capacité totale	Nbre	216	238 <sup>1</sup>	295	239	200	232	204
Nombre de portes doubles (simples) par côté	Nbre	4 (2)	4 (0)	0 (6)	5 (1)	-	5 (0)	3 (1)
Largeur des portes doubles (simples)	mm	1300 (800)	-	(1200)	-	-	-	-
Vitesse Max.	km/h	70	70	80	70	88	70	70
Rayon Min en ligne	m	25	?	18	23	-	25	25
Bi ou monodirectionnel		Bi		Bi	Mono	Bi	Bi	Bi

Note 1 : Capacité totale pour une densité de 6p/m<sup>2</sup>.

5.2 FICHES TECHNIQUES MATÉRIEL ROULANT

**ALSTOM CITADIS 302 Nice**

▶ Largeur hors tout	2,65 m	▶ Capacité en charge normale (4p/m <sup>2</sup> )	216 pers.
▶ Longueur hors tout	32,7 m	▶ Capacité en charge maximale (6p/m <sup>2</sup> )	- 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

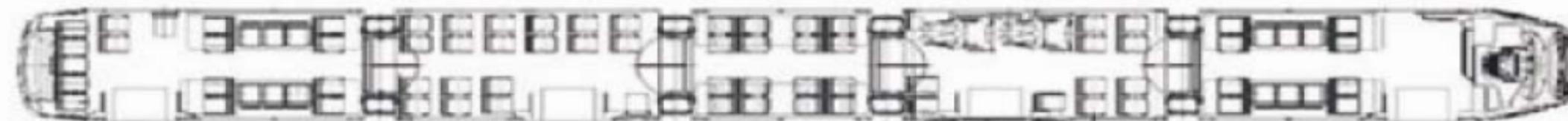
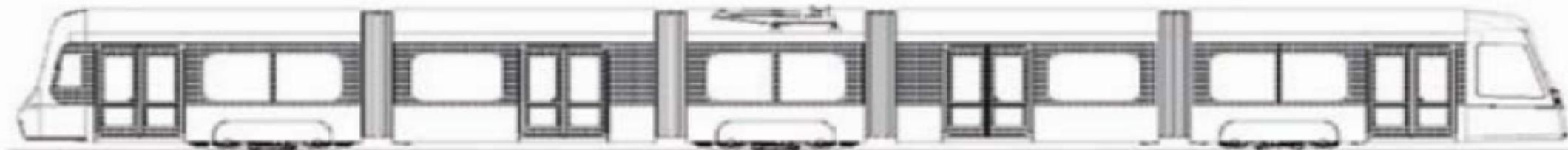


**ANSALDO BRED A**

**SIRIO**

**Göteborg**

▶ Largeur hors tout	2,65	m	▶ Capacité en charge normale (4p/m <sup>2</sup> )		pers.
			▶ Capacité en charge maximale (6p/m <sup>2</sup> )	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 côté	4		▶ Bi ou monodirectionnel		Bidirectionnel

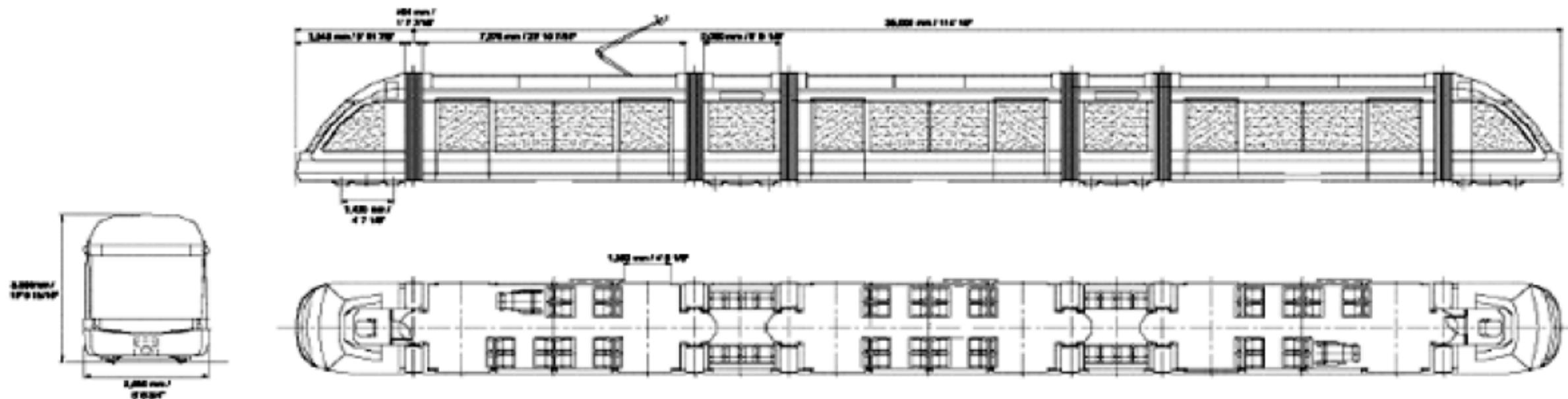


**BOMBARDIER**

**FLEXITY OUTLOOK “Eurotram”**

**Porto**

▶ Largeur hors tout	2,65	m	▶ Capacité en charge normale (4p/m <sup>2</sup> )	295	pers.
			▶ Capacité en charge maximale (6p/m <sup>2</sup> )		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

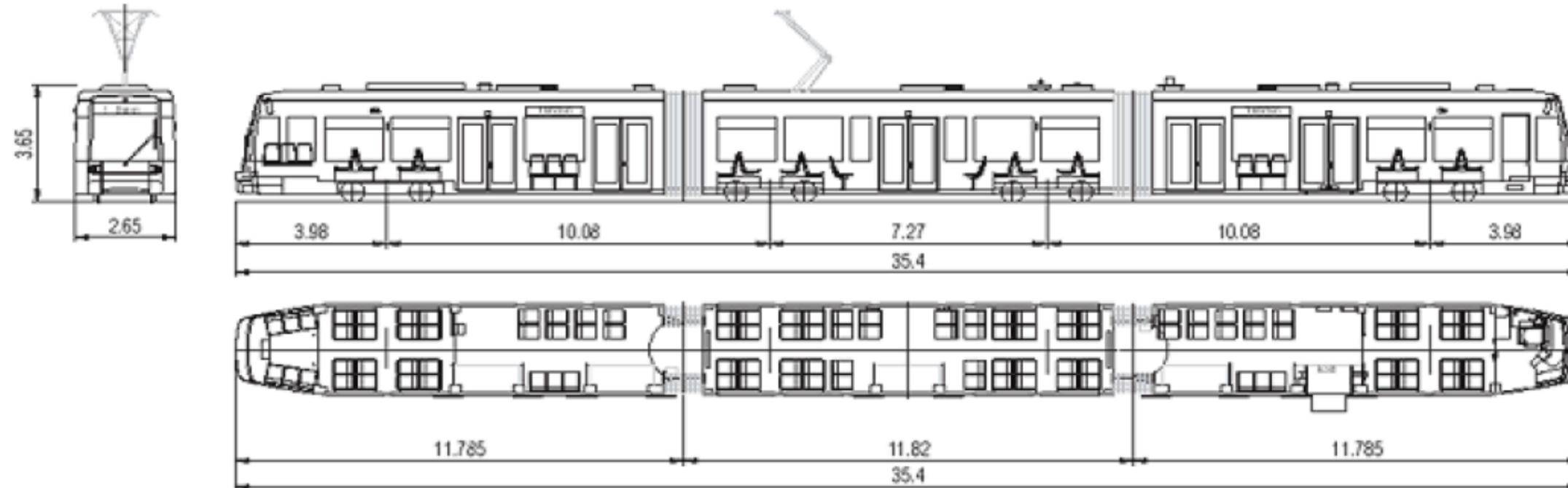


**BOMBARDIER / VOSSLOH KIEPE**

**FLEXITY CLASSIC**

**Brême**

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



**KINKISHARYO**

**Seattle**

▶ Largeur hors tout	2,65	m	▶ Capacité en charge normale (4p/m <sup>2</sup> )	200	pers.
			▶ Capacité en charge maximale (6p/m <sup>2</sup> )		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 coté			▶ Bi ou monodirectionnel		Bidirectionnel

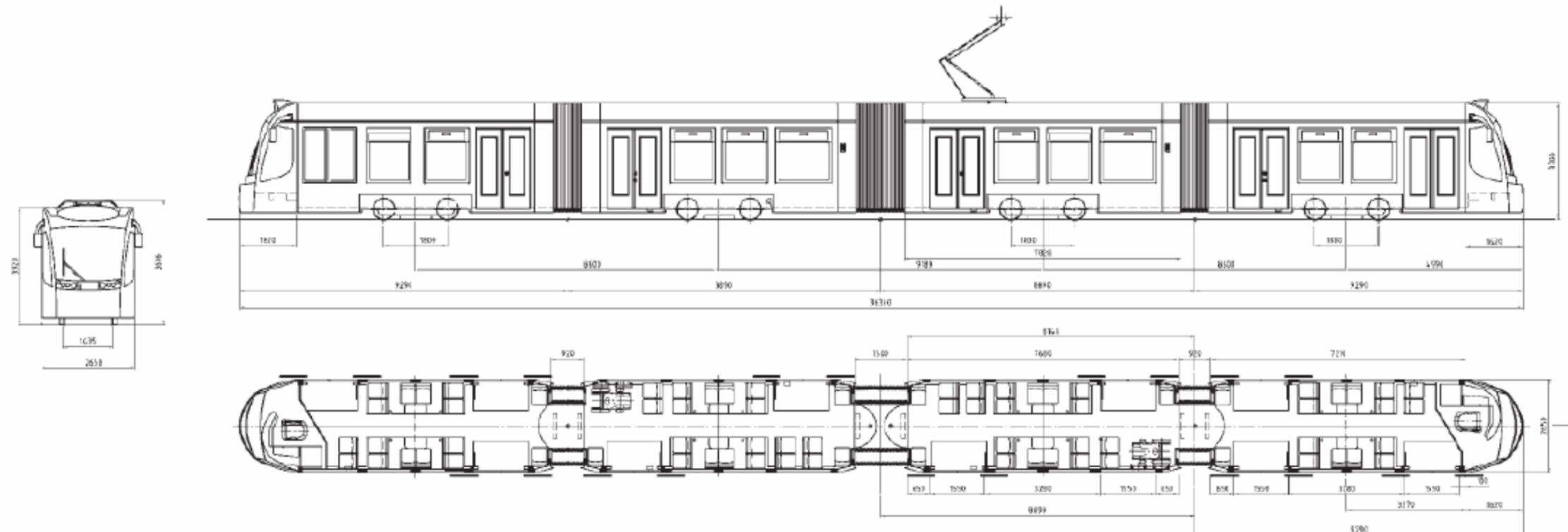


**SIEMENS**

**Combino Plus**

**Sul Do Tojo**

▶ Largeur hors tout	2,65	m	▶ Capacité en charge normale (4p/m <sup>2</sup> )	232	pers.
			▶ Capacité en charge maximale (6p/m <sup>2</sup> )		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

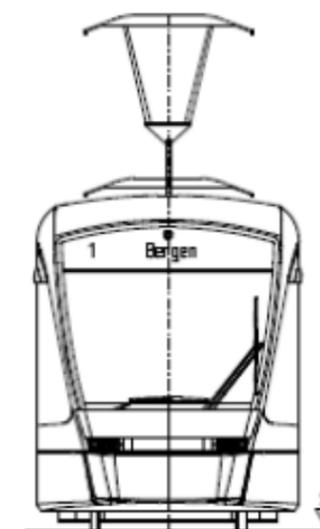
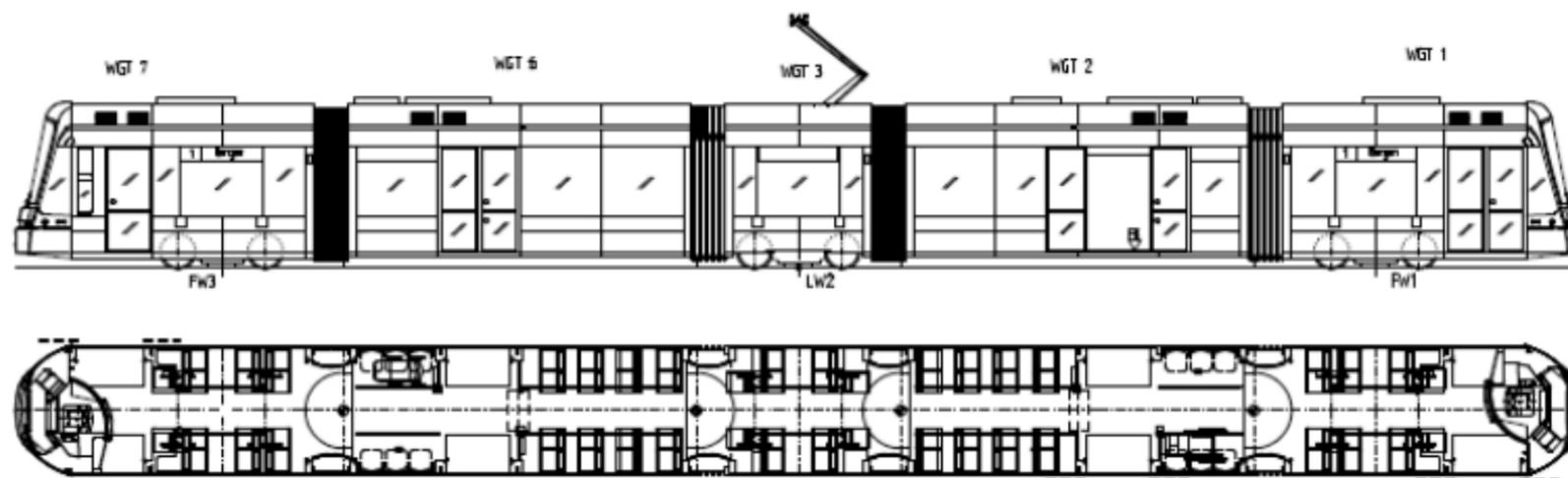


**STADLER**

**Variobahn**

**Bergen**

▶ Largeur hors tout	2,65 m	▶ Capacité en charge normale (4p/m <sup>2</sup> )	204 pers.
		▶ Capacité en charge maximale (6p/m <sup>2</sup> )	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	▶ Ecartement 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

## 6.0 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.

## 7.0 DE QUEL MATÉRIEL ROULANT S'AGIT-IL ?

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

Mais 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<sup>ère</sup> ligne, comme l'on fait les réseaux de Bordeaux et La Réunion?
- 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.

## 8.0 LES 3 DÉMARCHES POSSIBLES

Selon le retour d'expérience de GENISYS dans le domaine du design du matériel roulant, 3 approches sont possibles :

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

### 8.1 APPROCHE MINIMALISTE

Dans cette démarche, appliquée à Caen et à La Réunion, 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).

### 8.2 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<sup>ère</sup> rame (sur la base d'une revue de design 1périodique).

### 8.3 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.

### 8.4 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.

## 9.0 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.

## 10.0 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, par La Réunion actuellement;
- étendre le choix au plus grand nombre, par le biais d'une consultation du public, choix de la ville de Reims pour sa 1<sup>ère</sup> ligne de tramway.