

#### **4.4. Avantages et inconvénients du NTS**

##### **4.4.1. Avantages**

- Le poids par essieu des véhicules est faible par rapport au VAL.  
Avec 7 personnes par m<sup>2</sup>, ce poids est de 8 tonnes contre 12 pour le VAL. Il est donc possible de construire des infrastructures plus légères.
- Comme pour Westinghouse, les véhicules constituant un train sont de 2 types ; les véhicules d'extrémité ayant moins de surface utile que les autres. Il est possible de constituer des rames de 2 à 6 véhicules.
- Les passagers peuvent passer d'un véhicule à l'autre par un passage muni de soufflets (comme sur une rame RER) mais sans portes.
- Le système est conçu de telle sorte qu'il puisse être proposé au client avec une automatisation intégrale (ATO-ATP-ATS) ou une automatisation incomplète (ATP-ATS et un conducteur).

##### **4.4.2. Inconvénients**

- La longueur du véhicule étant plus faible (8 m), la capacité d'un véhicule est inférieure de plus de 30 % à celle d'un VAL.
- L'intervalle d'exploitation minimal sur les systèmes en fonctionnement est de 2,30 m. Pour des rames d'environ 50 m (4 véhicules VAL ou 6 véhicules NTS), la capacité du système NTS est de 60 % inférieure à celle du VAL (7.500 contre 18.500 passagers/heure/sens).
- Le véhicule NTS atteint une vitesse maximale de 60 km/h. Ceci est dû à sa faible motorisation.
- Quelle que soit la longueur du train, il n'y a que 2 portes d'évacuation (1 à chaque extrémité). Avec un même nombre de passagers (300), l'évacuation du NTS est 5 fois plus longue que celle du VAL (2 m 30 contre 30 s - voir § 4.2.4.).
- L'évacuation se faisant sur la voie, il y a un dénivelé de plus d'un mètre entre le plancher du véhicule et la voie. Le véhicule est pourvu d'une échelle pliante, mais son utilisation est difficile pour les personnes à mobilité réduite.
- Les véhicules ne possèdent pas de coupleurs automatiques.
- En ce qui concerne l'exploitation du KRT de Kobé, l'effectif est de 25 personnes/km alors qu'à Lille, il n'y a que 10 personnes/km (15 avant la mise en service de la ligne 1bis).

## 5. LE SYSTEME L.M.

Actuellement, il n'existe aucune données concernant l'exploitation de ce système car il n'a pas encore été mis en service.

### 5.1. Historique

Sur l'initiative du Ministère des Transports qui subventionne le projet, la JREA (Japan Railway Engineers Association) développe depuis 1981 un métro de petit gabarit à moteur linéaire.

Ce projet regroupe 9 Sociétés Japonaises du domaine des transports : Hitachi pour le moteur linéaire ; Nippon Sharyo pour les caisses ; Sumitomo pour les bogies ; Mitsubishi ; Toshiba ; etc...

En décembre 1983, un premier prototype (LM1) est réalisé. Testé de janvier à mars 1984 sur une ligne de 300 mètres, il permet de conclure que ce système de transport est intéressant et qu'il faut poursuivre les études.

La deuxième étape est la construction d'une ligne d'essai de 1,8 km à Osaka. Cette ligne est terminée depuis mars 1987.

Pour les tests, 2 véhicules (LM2), un en acier, l'autre en aluminium, 2 types de bogies (un à axes orientables, l'autre avec des roues indépendantes) et 3 types de moteurs linéaires sont construits.

### 5.2. Description du système

#### 5.2.1. Le véhicule

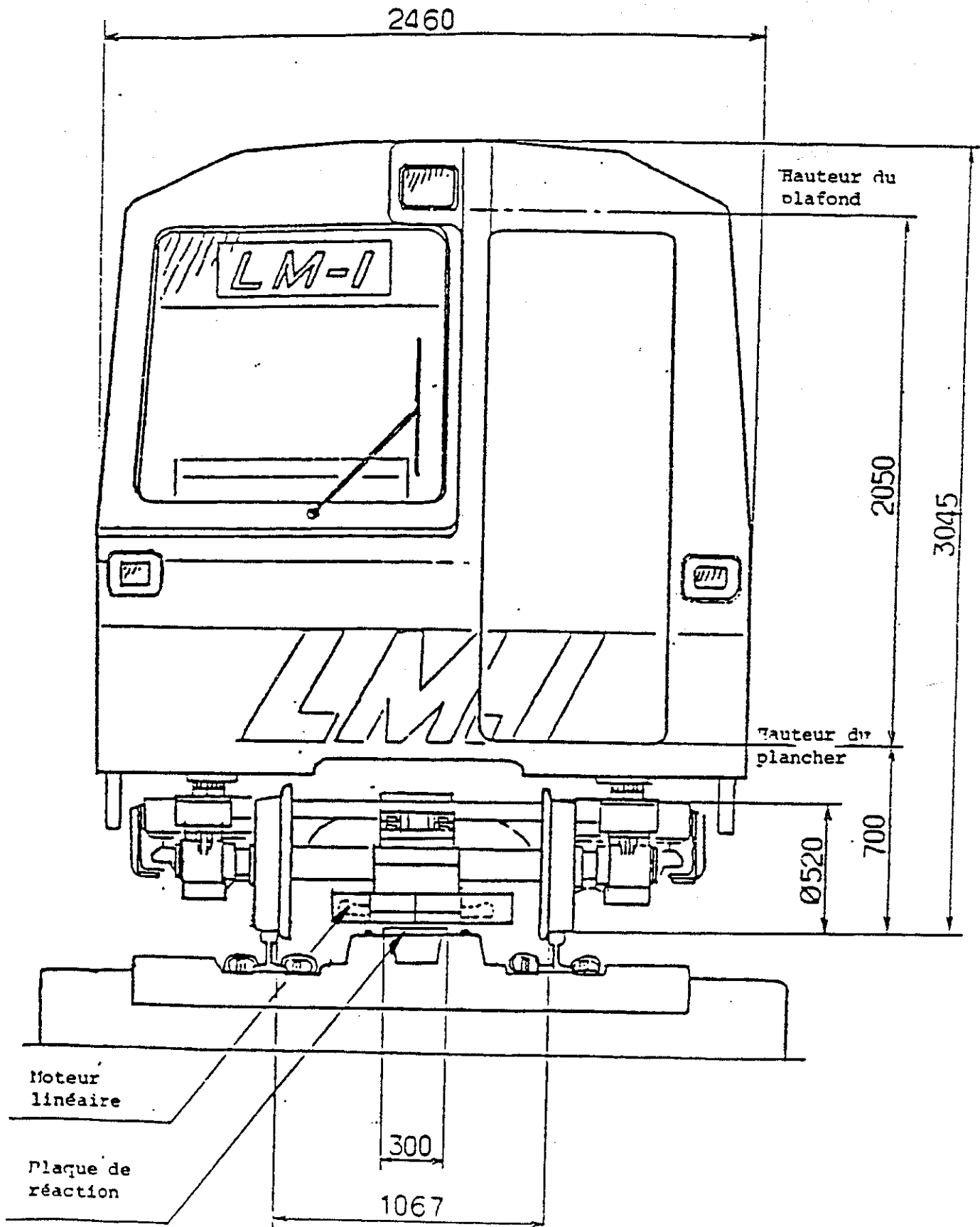
Le véhicule a été conçu de manière à diminuer la section du tunnel monovoie où il devra circuler. De ce fait, le diamètre des roues est petit (520 mm).

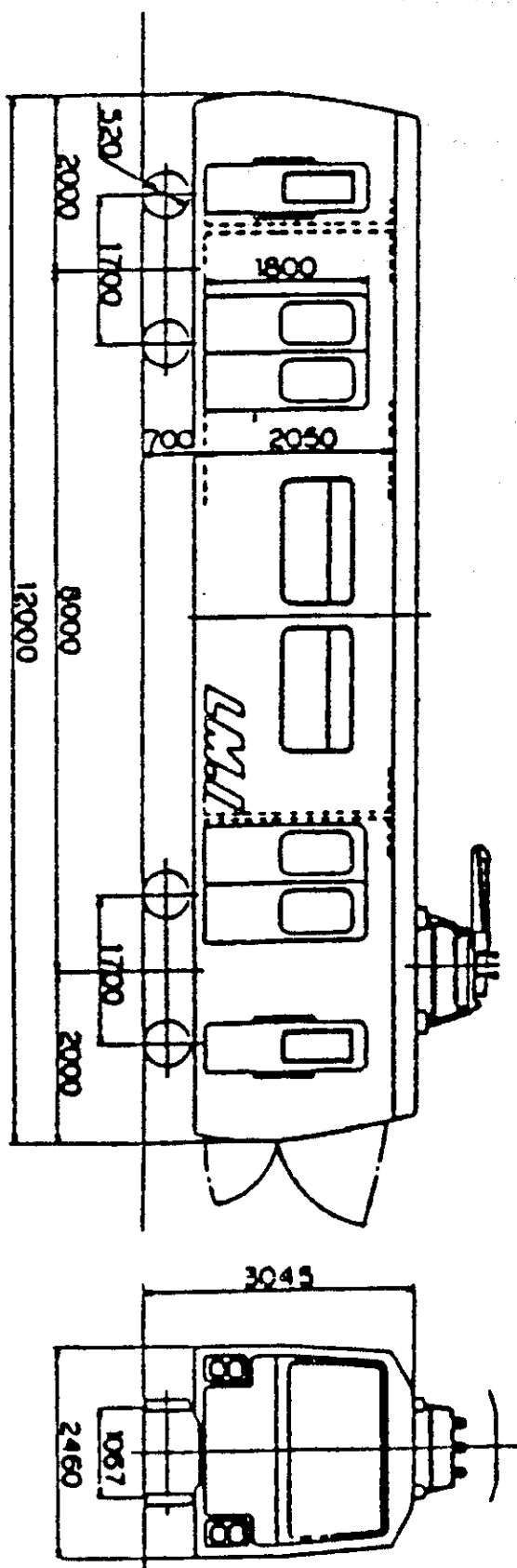
Longueur	12,6 m
Hauteur au dessus du plan de roulement	3,05
Hauteur du plancher par rapport au plan de roulement	0,7 m
Largeur	2,46 m

Le premier véhicule LM1 roulait sur des rails dont l'écartement était de 1,067 m, alors que le LM2 roule sur des rails écartés de 1,435 m comme UTDC (ceci permet de mettre plus de matériel sous la caisse) (voir Figure 5.1. et 5.2.).

Figure 5.1.

# LINEAR MOTOR CAR





**Fig. 5.2 Prototype linear motor driven railcar**

Figure 5.3.



LH 2 sur la ligne d'essai d'OSAKA

Figure 5.3

Les deux véhicules LM2 pèsent respectivement 14,5 tonnes pour le véhicule en aluminium et 15,8 tonnes pour le véhicule en acier (le véhicule LM1 pesait 18 tonnes). Le poids par essieu est donc inférieur à 4 tonnes.

Les bogies sont reliés au corps du véhicule par une suspension pneumatique sur traverse danseuse.

La hauteur du véhicule (3,05 m) ne comprend pas le pantographe qui sert à alimenter le véhicule.

La capacité du véhicule est de 79 passagers (25 assis et 4 personnes par m<sup>2</sup> debout, la surface utile étant de 23,6 m<sup>2</sup>). Les véhicules seront couplés 2 à 2 de façon à former des "married pair" indissociables (comme pour le VAL 206).

### LE MOTEUR

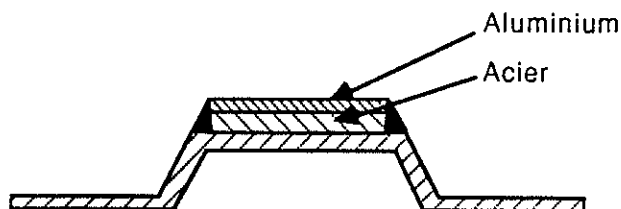
Pour riposter aux canadiens et aux Allemands, les Japonais ont développé un moteur linéaire. Hitachi ayant commencé des recherches sur ce type de moteur il y a une quinzaine d'années est le leader du groupement qui construit le moteur.

Le véhicule est mu par deux moteurs linéaires d'une puissance de 70 kW alimentés à l'aide d'un onduleur PWM (à thyristors GTO), transformant le 750 V continu en 550 V triphasé.

Ce moteur donne au véhicule les caractéristiques de vitesse suivantes :

- Vitesse maximale 70 km/h
- Accélération 0,83 m/s<sup>2</sup>
- Décélération d'urgence 1,25 m/s<sup>2</sup>

Le rail de réaction est fait de métal et d'aluminium. Il mesure 30 cm de large et 3 cm d'épaisseur.



L'entrefer moyen est de 15 mm, mais il doit être compris entre 12,8 et 18,2 mm.

Lors des essais du LM1, les ingénieurs d'Hitachi avançaient une consommation du moteur linéaire de 17 % supérieure à celle d'un moteur classique.

Pour les essais LM2, 2 types de bogies ont été développés un à axes orientables comme celui d'UTDC, un autre à roues indépendantes.

Selon une étude de la RATP, le seul moyen d'éliminer une grande partie des problèmes de bruit du roulement fer/fer est de réaliser des bogies avec des roues indépendantes. Les Japonais sont peut-être sur la voie de trouver une solution aux problèmes rencontrés par UTDC.

#### **Freinage :**

Comme l'ALRT, le véhicule L.M. utilise des freins électromagnétiques pour le freinage d'urgence. C'est un système de freinage qui permet de s'affranchir des problèmes d'adhérence roue/rail.

Le freinage de service est réalisé avec le moteur linéaire grâce à la récupération d'énergie (décélération de 1 m/s<sup>2</sup>).

#### **Automatismes**

A l'heure actuelle, il n'y a pas de ligne de métro utilisant le véhicule L.M. Il est donc difficile de définir les capacités d'un système automatique avec ce véhicule.

En supposant que l'automatisme soit du même type que celui d'Osaka ou de Kobé, l'intervalle minimal serait de 2 mn 30.

Avec une telle hypothèse, la capacité du système avec 4 personnes/m<sup>2</sup> debout est de :

- 3.700 passagers/heure/sens avec 1 married-pair
- 7.580 passagers/heure/sens avec 2 married-pair.

#### **5.2.2. Voie**

Pour les voies d'essais, les rails reposent sur des traverses en béton précontraint noyées dans le ballast. En courbe, elles sont fixées sur une dalle en béton. Le dévers maximal est de 12 %, le rayon de courbure minimal de 50 mètres et la pente de 6 %.

Le véhicule peut être alimenté soit par un caténaire (1500 V continu) soit par un rail d'alimentation (750 V continu) au niveau de la voie.

### 5.3. Avantages et inconvénients du L.M.

#### 5.3.1. Avantages

- Comme pour l'ALRT, le moteur linéaire permet de s'affranchir des problèmes d'adhérence.
- De même, la hauteur du plancher par rapport à la voie peut être réduite (0,7 m).
- La hauteur du véhicule est inférieure de 15 cm à celle du VAL 206 et de 40 cm inférieure à celle du VAL 256.

#### 5.3.2. Inconvénients

- La vitesse du véhicule est inférieure à celle du VAL et les performances en accélération aussi.
- Le véhicule utilise le freinage électromagnétique comme freinage d'urgence. Comme pour l'ALRT, ce freinage n'est pas en sécurité positive.
- Lors des premiers essais (LM1), il avait été constaté une surconsommation de 17 % par rapport à une motorisation traditionnelle.
- Le ratio  $\frac{\text{Puissance moteur}}{\text{poids à vide}}$  est très inférieur à celui du VAL (9,7 kW/tonne contre 15 pour le 256 et 19 pour le 206).



## 6. LES COUTS DES DIFFERENTS SYSTEMES

Pour comparer à l'heure actuelle les coûts des différents systèmes, j'ai retenu l'option de l'homogénéisation en franc 1989. Ceci impliquait, après avoir actualisé les coûts en \$ ou Yen, de les changer en francs.

Les taux d'inflations moyens annuels ainsi que les taux de change m'ont été fournis par le Crédit Lyonnais et l'INSEE (voir annexe 1).

En moyenne, pour tous les projets cités au tableau 6.1., la proportion d'ouvrages aériens est au minimum de 95 % sauf pour Atlanta.

En effet, pour ce dernier, la totalité de la ligne a été construite en tranchée couverte.

En outre, les études et réalisations de MATRA (Lille et Toulouse) concernent des lignes à 70 % souterraines.

Il faut donc, pour ces trois derniers systèmes, recalculer le prix au km sur la même base que les précédents.

Considérons la ligne 1 bis de Lille :

- 11,7 km
- 18 stations
- 29 véhicules

La ligne se décompose en :

- 3,4 km de viaduc et de voie au sol
- 2,5 km de tranchée couverte
- 3,6 km de tunnel circulaire
- 2,28 km de tunnel courant.

Son coût est de 3,31 milliards de francs 1987, c'est à dire 3,44 milliards de francs 1989.

Partons sur l'hypothèse de 5 % en tunnel. Le rapport entre le coût du km de viaduc et celui du km de tunnel courant est de 0,5.

# LES COUTS

ville monnaie et inflation	SCARBOROUGH	VANCOUVER	DETROIT	ATLANTA	MIAMI	OSAKA	KOBE	YOKOHAMA (estimation)	HIROSHIMA (estimation)
valeur en monnaie nationale	196 millions de \$ 1985	718 millions de \$ 1986	200 millions de \$ 1986	68,8 millions de \$ 1981	145 millions de \$ 1985	42 milliards de yens 1981	43,6 milliards de yens 1980	65 milliards de yens 1979	89 milliards de yens 1985
Inflation	15,4 %	13,1 %	13,1%	36,5 %	15,4 %	12,4 %	19,6 %	28,8 %	2,9 %
valeur en monnaie nationale de 1989	226 millions de \$	812 millions de \$	226 millions de \$	94 millions de \$	167 millions de \$	47,2 milliards de yens	52,2 milliards de yens	83,7 milliards de yens	91,6 milliards de yens
valeur en francs de 1989	1,43 milliards	5,13 milliards	1,43 milliards	593 millions	1,06 milliards	2,3 milliards	2,5 milliards	4,0 milliards	4,45 milliards
coût au kilomètre en francs de 1989	226 millions	240 millions	304 millions (par km de vole simple)	371 millions	352 millions	347 millions	396 millions	373 millions	377 millions

FIGURE 6.1

Pour Lille, la base de calcul est le prix de km de viaduc : 85,5 MF 1984/km.

Sur cette hypothèse, le coût du génie civil aurait été en 1984 de :

$$(88,5 \times \frac{95}{100}) + 177 \times \frac{5}{100} = 94 \text{ MF 1984/km}$$

alors qu'il était en réalité de 128 MF 1984 par km ; soit une différence de 34 MF 1984, c'est à dire 40 MF 1989/km (inflation de 16 %).

On obtient alors un prix de 254 MF 1989/km pour une ligne 1 bis imaginaire (à 95 % en viaduc).

Pour Toulouse, la ligne de 10 km (dont 8,9 km en souterrain) a été évaluée à 2,7 Milliards de Francs 1986  $\Rightarrow$  2,9 Milliards de F 1989.

Le coût du viaduc réalisé à Lille est d'environ 90 MF 1989/km (stations comprises). Celui du tunnel pour Toulouse est d'environ 125 MF 1986/km c'est à dire 134 MF 1989/km (stations comprises).

Le coût d'infrastructure d'une ligne à 95 % aérienne est d'environ :

$$(90 \times \frac{95}{100} + 134 \times \frac{0,5}{100}) = 92 \text{ MF 1989/km}$$

c'est à dire 35 MF de moins que pour la ligne réelle (1.191 MF 1986 pour 10 km)

$$\frac{1191 \times 1,072 - 920}{10} = 35 \text{ MF}$$

La ligne imaginaire reviendrait donc à environ :

$$\frac{(2694 \times 1,072) - 350}{10} = 253 \text{ MF 1989/km.}$$

Avec les mêmes hypothèses, calculons le coût de la ligne d'Atlanta :

La construction des stations et de la voie est revenue à 33 M\$ 1981, soit 46 % du coût du projet (cf. Assesment of Atlanta Airport Automated Transit, UMTA August 1982, Documentation de M. FEIGELES).

Le rapport entre le prix du viaduc et celui de la tranchée couverte est de 0,59 (cf. Lille 1 bis).

Le coût de la ligne aurait été égal à 371  $[(0,46 \times 0,59) + 0,54]$  MF/km ; c'est à dire 300 MF 1989/km.

En ce qui concerne **UTDC**, il y a eu un très net écart entre le prix au km du Skytrain de Vancouver et du DPM de Détroit.

Le budget initial du projet de Détroit était de 128 M\$, ce qui aurait donné un coût de 190 MF 1989/km.

Or, il y a eu un dépassement de budget de 72 M\$ (56 %) et un retard de 2 ans.

A la demande de l'UMTA (Urban Mass Transportation Administration), un audit a été mené pour en connaître les raisons.

Cet audit montre que les frais d'ingénierie et de gestion représentent 56 % du coût du projet. C'est énorme, comparé aux projets de Miami (27 %) et d'Atlanta (23 %) (Voir annexe 3).

Avec les **lignes dont la configuration est à peu près similaire**, on obtient en moyenne les coûts suivants (en F 1989) :

JAPONAIS Mitsubishi/ Niigata	WESTINGHOUSE	UTDC	MATRA
370 MF/km	326 MF/km	266 MF/km	256 MF/km

MATRA et UTDC ont donc des prix relativement proches, alors que Westinghouse, du fait de la petite taille de ses projets (< 3 km), est 25 % plus cher.

Les Japonais, eux, ont des prix très élevés : 40 % de plus que MATRA. La taille moyenne des projets étant à peu près identique, ces différences de prix peuvent s'expliquer en partie par la forte valorisation du Yen par rapport au Franc entre 1980 et 1989.

En effet, le calcul d'actualisation fait en sens inverse : changer en francs 1981 les 42 milliards de Yen du projet d'Osaka et les actualiser, a pour effet de neutraliser cette valorisation du Yen. On obtient un prix de 240 MF 1989 par km au lieu de 347 MF.

## **7. CONCLUSION**

Le but de cette étude était - bien entendu - de faire ressortir les avantages du VAL et de MATRA par rapport à ses concurrents. Intéressons nous tout d'abord aux caractéristiques techniques des différents systèmes.

### **7.1. Comparaisons Techniques**

Les caractéristiques principales sont regroupées dans 2 tableaux (Figure 7.1. et 7.2.).

Le graphique figure 7.3., est une synthèse de ces tableaux. Douze critères y sont représentés. Les différents systèmes ALRT, C100, VAL 206 et NTS sont notés sur une échelle croissante de 1 à 4. Pour certains critères, les différences peu sensibles entre 2 systèmes m'ont amené à leur donner la même note.

Les systèmes obtiennent les notes suivantes.

VAL 206	4 1
ALRT	3 6
C 100	3 4
NTS	2 0

# SYSTEMES DE TRANSPORT AUTOMATIQUES

## CARACTERISTIQUES DU VEHICULE

CONSTRUCTEUR	TYPE DE VEHICULE	APPLICATIONS	dimensions (m)	poids à vide (kg)	capacité		nombre de véhicules par rame	alim.	nombre de portes par côté x largeur des portes	hauteur du plancher par rapport à la voie	puissance des moteurs et puissance par tonne à vide	poids par essieu avec 4 p/m (kg)	consom. (kW/ véhicule x km)
					4 p/m <sup>2</sup>	7 p/m <sup>2</sup>							
WESTINGHOUSE	C.100	TAMPA, MIAMI SEATTLE ATLANTA GATWICK ORLANDO	11,8	14800	86	130	1,2,3,4 ou 6	600 V AC	2 x 2,1m	1,1m	2 x 75 kW 10 kW/tonne	10200	2,5
			2,84 3,40										
U.T.D.C.	ALRT	VANCOUVER SCARBOROUGH DETROIT	12,7	15300	80	126	2 ou 4	600 V DC	2 x 1,2m	0,78m **	* 15,6 2 x 200 kW kW/tonne	5200	2,8
			2,50 3,30										
MITSUBISHI	N.T.S.	YOKOHAMA	8,0	11000	52	75	de 2 à 6	750 V DC	1 x 1,3m	1,07m	90 kW 8 kW/tonne	7300	/
			2,34 3,28										
MITSUBISHI	L.M.	VOIE D'ESSAI D'OSAKA	12,6	14500	75	110	2 ou 4	750 V DC	2 x 1,3m	0,70m	2 x 70 kW 10 kW/tonne	4900	/
			2,46 3,09										
MATRA	VAL 206	LILLE, ORLY BORDEAUX TOULOUSE	12,7	15500	77	120	2 ou 4	750 V DC	3 x 1,3m	0,95m	2 x 150 kW 19 kW/tonne	10500	1,9
			2,06 3,25										
MATRA	VAL 256	JACKSONVILLE CHICAGO TAIPEI	12,8	19500	80	130	1,2 ou 4	750V DC	2 x 2,1m	0,98m	2 x 150 kW 15 kW/tonne	12500	2,4
			2,56 3,53										

\* PUISSANCE CONSOMMEE

FIGURE 7.1

# SYSTEMES DE TRANSPORT AUTOMATIQUES

CONSTRUCTEUR	VOIE			VITESSE						AUTOMATISME				CAPACITE du système avec 4 p/m debout et une rame de 50 m (pphp)
	rayon mini (m)	pente (%)	largeur viaduc (m)	vitesse maximale (km/h)	accélération (m/s <sup>2</sup> )	décélération normale (m/s <sup>2</sup> )	d'urgence (m/s <sup>2</sup> )	jerk max. (m/s <sup>3</sup> )	gabarit dynam. (m)	interv. mini (s)	temps ouverture et fermeture des portes (s)	*- précision d'arrêt (cm)	temps de manoeuvre des aiguillages (s)	
WESTINGHOUSE	23	10	7,00		1,1	1,1	2,3	0,9	3,6	90	8	± 15	6	12800 (4 véhicules par rame)
U.T.D.C.	30	6	6,60	90	1,4	1	1,3	0,5	3,2	75	5	/	3	14400 (4 véhicules par rame)
MITSUBISHI N.T.S.	30	7	7,45	60	1	1	1,25	0,8	/	150	/	± 30	4	7500 (6 véhicules par rame)
MITSUBISHI L.M.	50	6	/	70	0,83	1	1,25	/	/	/	/	/	3	7200 (4 véhicules par rame et inter. de 150s)
MATRA VAL 206	40	7	6,45	80	1,3	1,3	2,4	0,6	2,4	60	5	± 20	3	18500 (4 véhicules par rame)
MATRA VAL 256	30	7	6,90	80	1,3	1,3	2,4	0,6	3,0	60	5	± 20	3	19200 (4 véhicules par rame)

\* peu significatif sans valeurs statistiques

FIGURE 7.2

Figure 7.3.

# GRAPHIQUE COMPARATIF

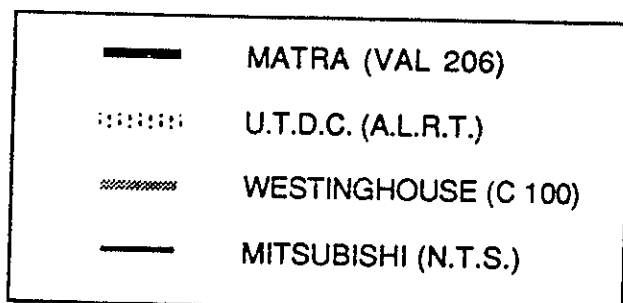
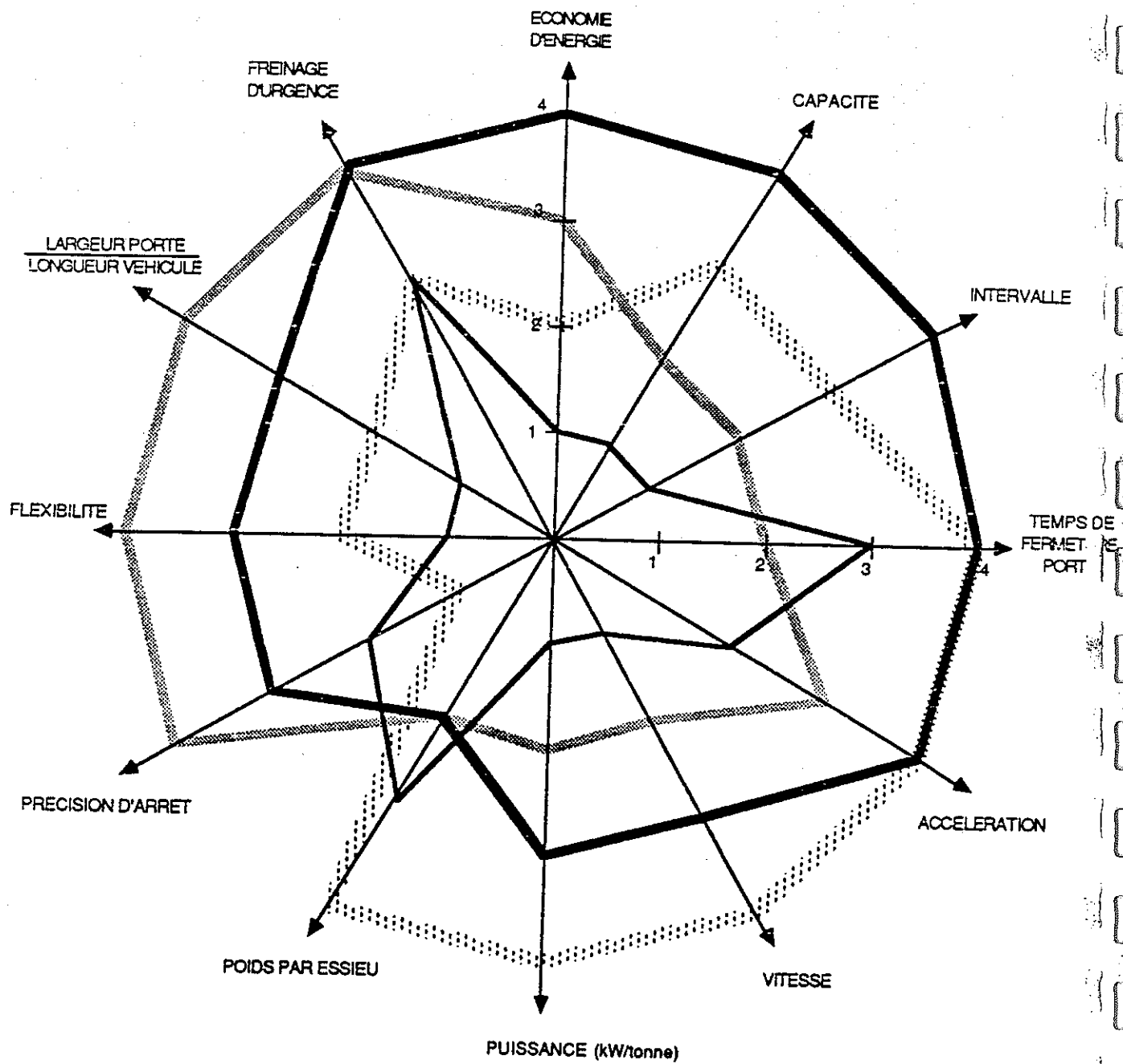


FIGURE 7.3



Regardons les inconvénients du VAL par rapport aux autres systèmes :

- Du fait de son grand gabarit et de son poids élevé, le VAL 206 ou 256 demande des infrastructures aériennes plus lourdes que celles du NTS (les capacités du véhicule sont très différentes).
- La flexibilité du VAL est moins bonne que celle du système de Westinghouse : en effet, ce dernier peut fonctionner avec de nombreux modes d'exploitation et des rames composées de 1, 2, 3, 4 voire 6 véhicules. Le VAL paraît donc assez peu adapté à des dessertes d'aéroports, type transport hectométrique telles que celles réalisées par Westinghouse (Tampa, Miami, Orlando, Gatwick, Mac Carran). Ce dernier n'est pas pénalisé par la vitesse de pointe du véhicule (60 km/h) car les interstations sont courtes et il possède plus d'expérience concernant ces systèmes dont la maintenance a lieu en partie en ligne.
- La vitesse de pointe du VAL est inférieure à celle de l'ALRT, mais il s'agit en fait d'un faux problème : ce qui est intéressant, c'est la vitesse commerciale.

En outre, le véhicule ALRT n'atteint jamais les 90 km/h. A détroit et Scarborough, la vitesse a été limitée respectivement à 560 km/h et 80 km/h à cause du bruit.

Seul le Skytrain circulant sur des interstations de 1400 mètres en moyenne possède un avantage sur le VAL. Sur des interstations aussi longues, avec des véhicules ayant des vitesses de 90 km/h et 80 km/h et des caractéristiques d'accélération et de freinage identiques, la différence entre les temps de parcours est aux alentours de 4 s (la vitesse max est atteinte sur 800 mètres environ).

Pour une ligne de 21 km (style Vancouver), un véhicule ayant une vitesse de pointe de 80 km/h effectuera donc un tour complet avec 2 mn de retard sur un véhicule dont la vitesse de pointe est de 90 km/h. Si l'intervalle d'exploitation est inférieur à 2 mn, il faudra 1 rame de plus avec un VAL qu'avec l'ALRT.

La hauteur du plancher du VAL par rapport au plan de roulement est supérieure d'environ 15 cm à celle de l'ALRT ou du L.M. Cette hauteur n'est importante que dans deux cas :

- . l'évacuation se fait sur la voie
- . le véhicule circule dans un tunnel monovoie (le diamètre du tunnel est ainsi réduit).

En fait, le véhicule VAL peut faire évacuer ses passagers par une passerelle latérale qui, dans la plupart des cas, se situe au niveau du plancher.

En outre, il circule rarement dans des tunnels monovoies. Ceux-ci ne représentent que 3 km sur 36 pour l'ensemble des projets VAL.

Voyons maintenant les avantages du VAL :

#### Performances techniques :

- Le véhicule a une bonne précision d'arrêt ce qui facilite la mise en place des portes palières.
- Malgré les problèmes d'adhérence du pneu, le VAL possède une accélération aussi bonne que l'ALRT, ce qui va à l'encontre des arguments annoncés par UTDC.
- Les véhicules VAL possèdent un bon ratio puissance/poids, ce qui permet de ne pas dégrader les performances du véhicule jusqu'à une charge de 6 passagers par m<sup>2</sup>.

Avec 6 passagers par m<sup>2</sup> :

VAL 206	13 kW/tonne
VAL 256	11 kW/tonne
C-100	6,5 W/tonne
NTS	5,8 kW/tonne
ALRT	16 kW/tonne

#### Sécurité :

- Le freinage du VAL est rapide (1,8 à 2,4 m/s<sup>2</sup>) et en sécurité positive.
- L'évacuation des passagers se fait par une passerelle et non sur la voie comme le NTS.
- Les passagers peuvent commander l'arrêt d'urgence contrairement à l'ALRT.
- Lors d'un arrêt d'urgence, il y a coupure de l'alimentation HT.
- L'évacuation d'un VAL peut se faire beaucoup plus rapidement que celle d'un véhicule NTS.

#### Exploitation :

- La **capacité** du VAL est la plus élevée du fait des performances de l'automatisme (intervalle de 60 s).
- La vitesse commerciale atteinte par le VAL à Lille est très bonne : 33 km/h (elle est de 26 km/h à Osaka ; 15 km/h à Atlanta).
- Les télémesures disponibles au PCC sont très nombreuses.
- Le VAL est le seul système à pouvoir réaliser un accostage complètement automatique.

- Le VAL possède de bons ratios d'exploitation.

Ville	Nb. d'agents	Nombre de voyageurs annuels (millions)	Nb. d'agents km de ligne	Nb. de voyageurs annuels par agent (milliers)
Lille	260	49	10	190
Atlanta	63	27	33	428
Miami Métromover	57	3,4	19	58
Osaka	180	1	25	57
Vancouver	318	21	15	66

Le système d'Atlanta est un peu particulier car l'aéroport est très fréquenté, l'accès au système étant gratuit, près de 70 % des voyageurs passant dans l'aéroport empruntent l'ATS (Automated Transit System).

#### Confort :

- Le VAL possède un système de nivellement en station qui fait défaut à l'ALRT. L'accès des personnes à mobilité réduite est donc facile.
- Le niveau de bruit intérieur et extérieur est meilleur que pour le véhicule d'UTDC (voir annexe 2).
- Le ratio  $\frac{\text{longueur porte}}{\text{longueur véhicule}}$  est nettement plus élevé que celui du NTS et de l'ALRT. Plus le ratio est grand, plus la montée et la descente des voyageurs en station sont facilitées.

NTS	16 %
ALRT	19 %
VAL 206	30 %
VAL 256	31 %

Il est intéressant, par ailleurs, de voir les avantages inhérents aux entreprises elles-mêmes.

Tout d'abord, analysons l'expérience de chacune d'entre elle (voir figure 7.4.).

Figure 7.4.

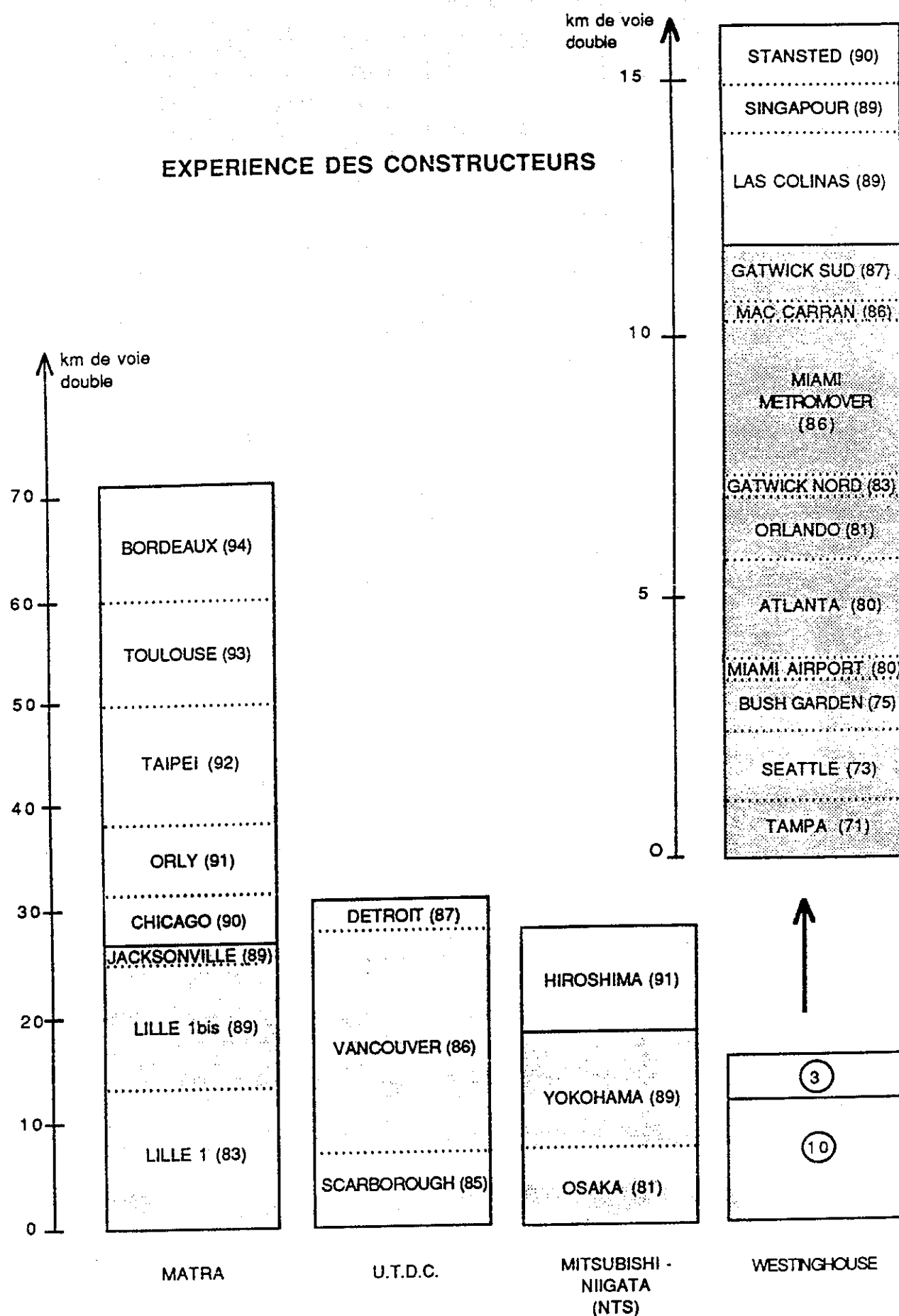


FIGURE 7.4

En ce qui concerne les systèmes de transports urbains actuellement en exploitation, UTDC a le plus d'expérience. En effet, l'ALRT a été mis en service sur 3 sites distincts, avec des lignes de 4, 7 et 21 km (total 32 km).

MATRA vient ensuite : 2 sites distincts et 3 lignes de 1, 12 et 13 km.

La troisième est Mitsubishi (associée à Niigata) : 2 sites, 2 lignes de 6 et 10 km (le système de Yokohama a été mis en service au début de l'année 1989).

La dernière, Westinghouse, avec une ligne de 3 km à Miami.

Au vu des systèmes en construction, l'ordre change. En effet, à la fin de l'année 1992, MATRA aura mis en service 6 systèmes sur 5 sites faisant au total 50 km de ligne ayant ainsi le plus d'expérience.

En ce qui concerne les systèmes de desserte d'aéroports, c'est sans conteste Westinghouse qui est leader (8 systèmes en exploitation et 2 en construction).

Considérons individuellement chacune des entreprises :

**UTDC** :

Elle possède le soutien du groupe Lavalin.

Par ailleurs, UTDC détient à hauteur de 80 % la compagnie RAIL-TRANS INDUSTRIE OF CANADA Ltd. qui construit des véhicules de métro lourd des tramways et les véhicules ALRT.

L'aide gouvernementale qu'UTDC peut obtenir est très importante. C'est une des raisons pour lesquelles elle a été retenue par la Ville de Bangkok, en novembre dernier pour les négociations concernant la construction d'un métro.

**Westinghouse** :

Pour la construction de systèmes de taille hectométrique, elle est dangereuse, car elle possède de solides références. Elle peut aller très loin pour mettre des bâtons dans les roues de ses concurrents (cf. expérience Chicago).

C'est un concurrent à surveiller surtout aux Etats-Unis mais aussi dans les pays possédant un fort excédent commercial avec les Etats-Unis.

**Mistubishi - Niigata - Sumitomo :**

Bien que n'ayant pas encore gagné de marchés à l'étranger elles possèdent de bons atouts du fait de leur puissance industrielle et de l'appui des Sogo Sosha.

En outre, en constituant un consortium pour chaque projet, l'entreprise chef de file semble être celle qui possède la plus grande expérience ou le meilleur réseau commercial dans le pays considéré.

Mitsubishi ayant déjà travaillé sur le métro lourd de Barcelone, c'est le leader pour l'Espagne. De même pour Sumitomo à Taiwan.

De plus, avec le soutien du Ministère des Transports Japonais, les recherches menées par la JREA (Japan Railways Engineers Association) sur le véhicule à moteur linéaire semblent devoir aboutir. A ce niveau, le point fort des Japonais est d'avoir réussi à partager les recherches entre 9 entreprises (Hitachi, Nippon Sharyo, Sumitomo, Mitsubishi, Toshiba etc...).

MATRA est donc bien placée comme constructeur de systèmes de transports automatiques tant par son expérience que pour les qualités du système VAL.

Pour conserver ou améliorer cette position, il est important de suivre de près les travaux des concurrents.

Ce document n'est qu'une base de départ et devra si possible être mis à jour.

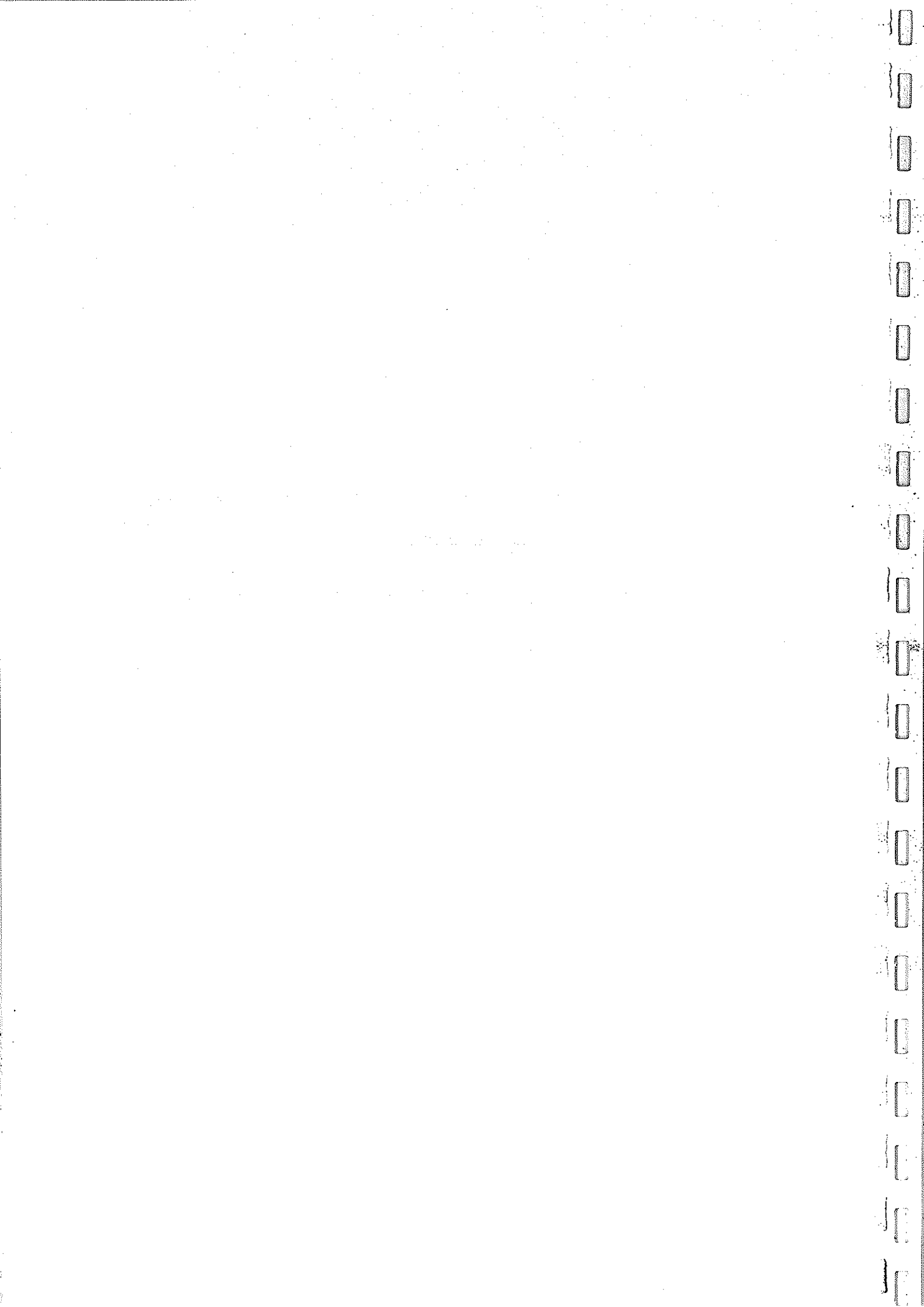
(Nota : Concernant les systèmes Japonais, il serait intéressant de recontacter Monsieur J. Michel Bardin - attaché commercial Transports, Espace au PEE de Tokyo).

Enfin, cette étude m'a permis d'élaborer, en collaboration avec J.M. DUPONT, un guide de spécifications techniques auquel doit répondre un système de transport automatique.

Ce document (Annexe 4) a été adapté au projet de Madrid en étant le plus favorable au VAL et le plus défavorable possible aux systèmes concurrents. Jugé trop technique, il a été repris en privilégiant le service offert aux passagers et leur sécurité (Annexe 5).

Ces documents pourront être adaptés à d'autres projets.

## **ANNEXES**





## LISTE DES ANNEXES

ANNEXE 1 : Taux d'inflation moyens annuels

ANNEXE 2 : Analyse technique du système UTDC

ANNEXE 3 : Les problèmes d'UTDC à Détroit (4 pages)

ANNEXE 4 : Guide de spécification technique pour Madrid (50 pages)

ANNEXE 5 : Spécification d'un système de transport (Madrid) - (9 pages)

ANNEXE 6 : Description du système NTS de Yokohama (30 pages)

ANNEXE 7 : Exploitation et maintenance des systèmes de Miami et Vancouver (12 pages)

## ANNEXE 1

### TAUX D'INFLATION MOYENS ANNUELS AUX ETATS-UNIS ET AU JAPON

	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988
E.U.	7,7	11,3	13,5	10,4	6,1	3,2	4,3	3,6	2,0	3,6	4,1
Japon	4,2	3,7	7,7	4,9	2,7	1,9	2,3	2,0	0,6	0,1	0,7
France		10,8	13,6	13,4	11,8	9,6	7,4	5,8	2,7	3,1	3,0

Pour 1989, le taux d'inflation moyen sur les 4 premiers mois (par rapport aux mêmes mois de l'année 1988) est de 5,3 pour les Etats-Unis, 1,47 pour le Japon et 1 pour la France.

Début mai 1989, les taux de changes étaient de :

1 \$ = 6,32 F

100 Yen = 4,88 F

## ANNEXE 2

ANALYSE TECHNIQUE DU SYSTEME UTDC

Montrouge, le 25 novembre 1988

**ANALYSE TECHNIQUE  
DU SYSTEME UTDC**

**A) LE SYSTEME**

- 1 ---> Boucles inductives NUMEROTEES (jusqu'à 3,5 km de long) servant de support de transmission d'une part et pour la détermination de positionnement grossier (croisements tous les 25 m).
- 2 ---> Chaîne tachymétrique montée sur essieu non défreiné permettant de raffiner la position fournie par les croisements (6,25 m).
- 3 ---> Compteurs d'essieux placés à des points stratégiques de la ligne avec traitements sécuritaires associés. Ces compteurs sont totalement indépendants des modules 1 et 2 et strictement complémentaires pour assurer la sécurité.
- 4 ---> Traitement anti-collision par CMD avec calcul embarqué continu de la distance de sécurité. Les traitements sécuritaires sont effectués par la technique bi-processeur.

TRANSMISSION SOL ---> TRAIN : 1.200 bauds (messages de 83 bits)  
TRAIN ---> SOL : 600 bauds (messages de 41 bits)

Les tronçons gérés par les équipements fixes peuvent être grands bien que les temps de cycle annoncés (0,21 seconde à 1 seconde) dépendent du nombre de trains circulant sur un tronçon.

- 5 ---> La position des couloirs d'évacuation par rapport à la voie est décrite dans la base de données. Ce codage assure le traitement EVAC approprié de l'ouverture des portes.
- 6 ---> En cas de pannes de l'ATS, les équipements fixes travaillent sur des valeurs par défaut de modes opératoires.
- 7 ---> Nous ne disposons pas d'information sur le failure management system (signalment, diagnostic, télécommande) bien qu'il paraisse acquis que l'intervention manuelle soit nécessaire en cas de train muet. Les initialisations sont assurées par les compteurs d'essieux.

8 ---> Protection quai / voie :

- Portes à bord sensible
- En station, plaques sensibles dans la voie détectant la chute de poids.

9 ---> Systèmes informatiques fixes : fonctionnement dans un mode "hot-standby" (reprise à chaud) et dotés d'une alimentation électrique ininterrompible.

## **B) EXPLOITATION**

- Garage / dégarage automatiques (distance entre trains au garage = 3 m)
- Insertion / retrait automatiques
- Exploitation rames de longueur variable : a priori non mais, compte tenu de la structure du système, pourrait être réalisée
- Fonctionnement "reverse" des trains possibles
- Gestion des itinéraires incluant la possibilité de variation des temps de stationnement en station mais pas de régulation horaire
- Scindage ou accouplement
  - en garage : semble pouvoir être automatique
  - en ligne : l'accouplement est semi-automatique
- quelques indications d'exploitation VANCOUVER affichées par UTDC

---> Statistique des retards : 87 % moins de 30 secondes  
90 % moins de 60 secondes  
97 % moins de 3 minutes

Pour une moyenne annuelle de 14 millions véhicule-km.

---> Pannes véhicules : 1 retrait forcé tous les 52.830 km en moyenne lié à une vraie panne. Vraie panne/total problème = 1/3 (en fait, la réalité serait plutôt aux alentours de 5.000 km !).

---> O & M costs : 1,5 USD par véhicule/kilomètre dont 0,13 en énergie traction. Ceci revient à 8 cents par passager-kilomètre et 2 cents par place-kilomètre.

## **C) VOIE**

Eléments montés sur la voie :

Rails  
Aiguilles  
LIM (Linear Induction Motor) reaction rail  
Captation  
Boucles inductives (croisement B2 tous les 25 m)  
Câbles de communication et de signalisation

**D) VEHICULE**  

---

Description	Vancouver (MKI véhicule)
Hauteur (rail to roof)	3,125
Longueur	25,4 ■
Largeur	2,5 ■
Type	married-pair
Poids à vide	28,7 t
Places assises	80
Places debouts (4/M2)	72
Places debouts (6/M2)	108
Portes (2 portes L x H)	1,22 x 1,91
Confort passager	chauffage + ventilation
 - Bruit intérieur	
en stationnement	70 dBA
en marche	78 dBA
Hauteur plancher / rail	0,778 (plancher non dégagé) varie selon charge de 20 mm au moins

- Bruit extérieur

voir campagnes de presse nombreuses

Performances :

Vitesse d'exploitation maximale	= 90	Km/H
Pente maximale	= 6 %	
Accélération	1,4	m/s <sup>2</sup>
Frein de service	1	m/s <sup>2</sup>
Frein d'urgence	1,27	m/s <sup>2</sup>
Rayon de courbure minimal (H)	18	m
Rayon de courbure minimal (V)	300	m

- Autres aspects

- x Les portes d'UTDC sont à commande électrique et sont équipées d'un bord sensible à onde pneumatique qui n'est actif qu'en phase de fermeture entre 1 m et 1 cm de distance inter-portes.
- x Le freinage de service est d'abord assuré par le moteur linéaire avec récupération. Le complément de freinage est fourni par des freins à ressort sur disque qui équipent 6 essieux sur 8. Le freinage des disques assure une décélération en charge maximale de 0,58 m/s<sup>2</sup>.
- x Le freinage d'urgence utilise les disques mais également des patins électromagnétiques sur rail (surveillance des batteries d'alimentation des patins).

QUELQUES PREMIERES REFLEXIONS

## 1. SYSTEME

- Points forts :
- Le système fonctionne et dispose de solides références
  - Le système présente une bonne adaptabilité apparente :
    - x La superposition de CdV ne pose pas de problème
    - x sans connaître la partie commune du système UTDC et des autres systèmes SEL-TRACK installés, on peut supposer qu'UTDC saura arguer commercialement de sa capacité à adapter le système.
  - La régulation de trafic proposée est complémentaire de celle de VAL.

- Points faibles :
- Quelle est la valeur de l'intervalle minimum qui sature les équipements fixes ou la transmission ? Il paraît à priori douteux qu'UTDC puisse tenir les 60 secondes. Quid de l'impact sur le système de l'extension d'une ligne ?
  - UTDC n'a pas d'accostage automatique en mode dégradé actuellement.
  - La mesure de vitesse nécessite un essieu non défreiné.
  - Quel est le niveau de prestations en matière de signalement et diagnostic ?

## 2. VEHICULE

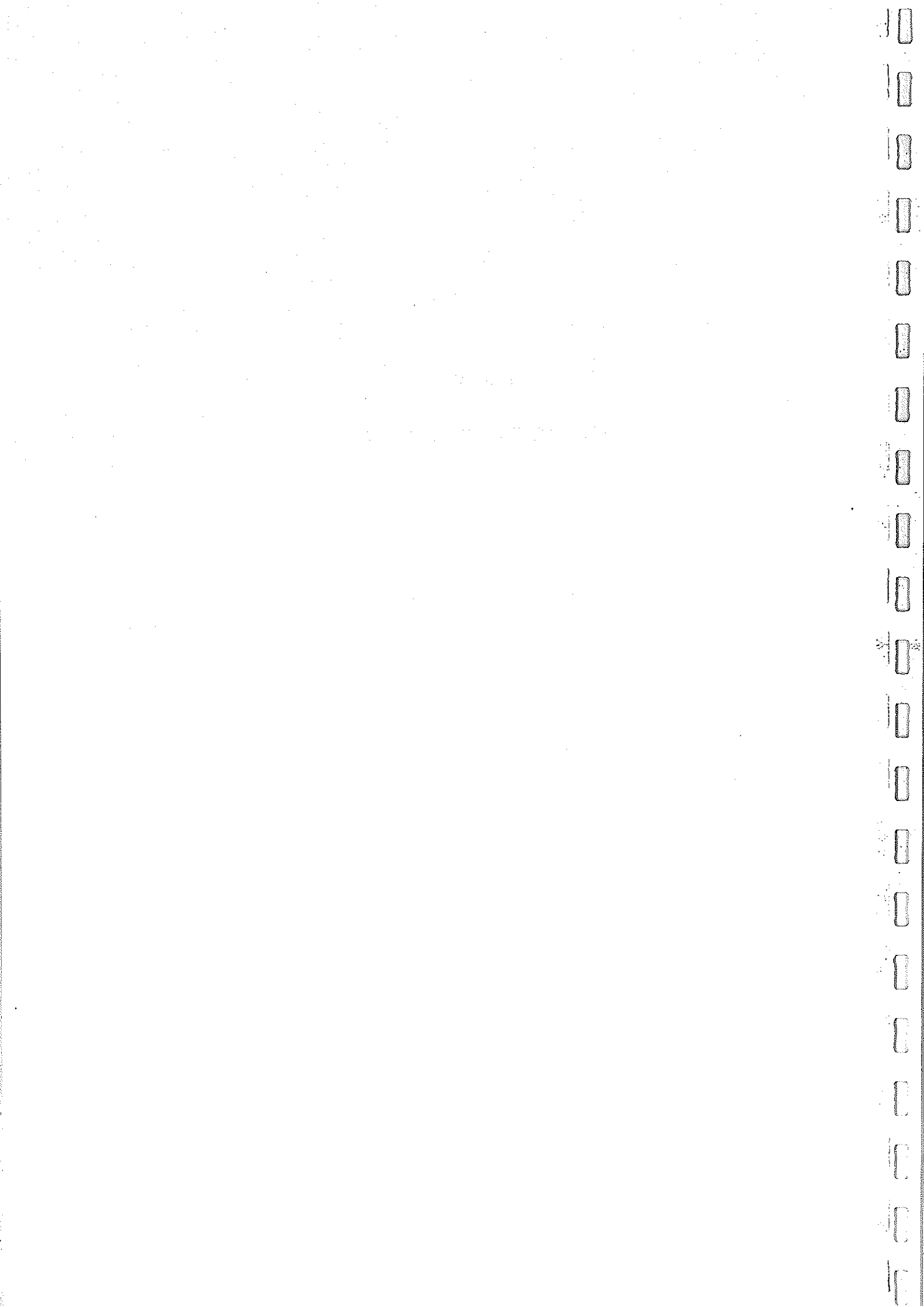
- Points forts :
- Poids honnête
  - Moteur linéaire ---> bonne nervosité du véhicule.
  - Vitesse maximale = 100 Km/h ?.

- Points faibles :
- Bruit qui s'accroît avec les km parcourus : la vraie solution technique serait pour UTDC les roues indépendantes...
  - Pas de nivellement de plancher (mauvaise suspension)
  - Bruit du freinage d'urgence avec les patins qui détériorent la voie.
  - Portes étroites.



### ANNEXE 3

LES PROBLEMES D'UTDC A DETROIT



## ANNEXE 3

DETROIT CATS  
January 1987

### THE PROJECT

The Detroit Central Automatic Transit System (CATS) is a 2.9-mile single-lane elevated transit loop in downtown Detroit. There are 13 stations and 13 paired vehicles.

Design and construction began in August 1982. Presently (January 1987), construction of the guideway is complete, operational subsystems have been installed, the vehicles and control systems are undergoing precommissioning testing, and the stations are nearing completion. The project will be in revenue service in August 1987.

### PROBLEMS BESIEGING THE PROJECT

The project has been besieged with problems almost since its inception. Numerous and continuous problems produced these unfortunate end events:

- o Costs, originally budgeted at \$90 million, have escalated to over \$210 million.
- o Delivery of the final product is nearly two years behind schedule.

The primary reasons for these end results are presented below. Most of the problems are interrelated -- one problem is often both the cause and the effect of another problem.

### Financial Responsibility

UMTA contributed 80% of the funds for the projects and the State of Michigan provided the remaining 20%. The project owner and administrator, Southeastern Michigan Transportation Authority (SEMTA), had no financial stake in the project. SEMTA financed cost overruns with the same 80%-20% UMTA-Michigan contributions. It was not until UMTA demanded that continued cost overruns be financed by the State of Michigan and the City of Detroit without further UMTA contributions that meaningful financial controls were imposed.

The lack of financial control is illustrated by an early 1986 audit conducted at UMTA's request. The audit showed that engineering and management costs were 56% of the total capital costs! (This compares with 23% for the Atlanta MARTA and 27% for the Miami Metromover.) The same audit notes that design costs, while high, are not considered unreasonable. Engineering and construction management services costs were comparable to other similar projects. (Of the total engineering and management fees, ABAM received less than 6%.)

### Project Control

The lack of sound preliminary engineering definitions continuously hampered progress. Some significant deficiencies and changes are

- o Soils information was totally inadequate. In one area, for example, 120-foot piles had to be driven where shallow caissons were contemplated. Another example was the discovery of underground concrete structures during the construction of the maintenance facility.
- o The 40,000-square-foot maintenance facility was increased to 70,000 square feet.
- o Delays occurred in the design of virtually all stations as individualized private/public developments were attempted (and achieved in some areas).
- o The alignment was changed several times. In all, 70% of the entire guideway length was built along revised horizontal or vertical alignments. Some changes occurred after construction started. In one case, the guideway was raised from 15 to 18 feet above grade to over 40 feet above grade due to continuous "fine tuning." Of the 173 guideway beams, no two beams are identical.

### Political and Organizational Matters

During the course of design and construction, these organizational changes occurred:

- o Ownership of the system was transferred from SEMTA to the Detroit Transit Commission, a newly established agency of the City of Detroit.
- o The construction manager, Morrison-Knudsen (MK), and the turnkey contractor, UTDC, parted company following serious contractual differences. Morrison-Knudsen terminated its involvement in the project.
- o The Detroit Transit Commission engaged Turner Construction Co. to provide approximately the services which were earlier provided by MK to UTDC.
- o UTDC (USA) and its parent company, UTDC Ltd., were purchased by Lavalin. UTDC retained some responsibilities in the project and transferred others to Lavalin.

With each change, new policies, new directives, and new directions were issued. These often caused confusion and always caused delays.

### Personnel Matters

Not only were agencies playing musical chairs as noted above, but personnel within these agencies were also continuously changing. Thus, there was a continuous issuing of new subpolicies, subdirectives, and subdirections.

At one time, within a period of less than 1 year, the UTDC project management went from the original manager through three temporary or acting managers to the present fifth manager.

Earlier the SEMTA project directorship was changed frequently and there were several "resignations under fire." Necessary decisions were thus delayed and at times simply not coming forth.

#### Insurance and Legal Matters

During the course of the project, the project insurances (\$2 million base plus \$23 million second tier) were either cancelled or not renewed. Notwithstanding contractual obligations, project insurances were not provided. Serious contractual difficulties ensued; these are not resolved to this date. Insurance difficulties were directly responsible for the departure of MK from the project. Further, insurance claims made while insurances were in force were denied by the insurance carriers.

Thus, there are several claims and lawsuits which remain unresolved; these in turn have given rise to several lawsuits by insured parties against insurance carriers.

All of the above problems singly and in combination caused project cost overruns and delays. Technical problems also contributed to overruns and delays.

#### TECHNICAL PROBLEMS

Four problems of a structural nature have plagued the guideway. (Note: nonguideway technical problems are not discussed here.)

##### The Column Cover Problem

During construction, several cast-in-place concrete columns were constructed with less than the specified 2-inch concrete cover over the reinforcement. The seriousness and extent of this deficiency has been debated without conclusion. At the present, it appears that the problem is not as severe (concrete cover is generally 1 inch or more) and as widespread as originally believed.

##### The Beam Cover Problem

Several precast concrete beams were fabricated with insufficient concrete over the reinforcement. Unlike the column cover problem, the beam cover problem was severe and widespread.

Of the 173 beams in the project, approximately 70 were affected. Approximately 40 of those were satisfactorily repaired.

Thirty-two beams had to be recast. There is a dispute between UTDC and SEMTA about the number of beams which should have been replaced. UTDC believed 16 beams should have been replaced; the others, UTDC contended,

could have been repaired. SEMTA, however, differed in its opinion and ordered the replacement of the 32 beams. The precaster disagrees with UTDC and with SEMTA.

Eventually, all beams have been replaced or repaired. The deficiency (lack of cover) and the extent of it (32 beams or 16 beams) are the cause of several claims and counterclaims.

#### The Beam Cracking Problem

After installation and integration of the precast guideway beams into the final structures, longitudinal cracks were discovered in several curved beams. Following extensive analysis and consultation with all agencies involved in the project (and each agency's consultants), the design deficiencies were corrected. The cracks were epoxy grouted and internal diaphragms were installed in the affected beams. All beams were repaired in-situ.

#### The Restrained Tendons Problem

It was discovered after fabrication that certain hairpin reinforcement was not actually placed in some curved guideway beams. This hairpin reinforcement is intended to restrain the prestressing tendons so that the curved tendons would not chord. This omission was corrected in the field by introducing external restraining hardware. (This item received much publicity in Engineering News Record.)

#### CONCLUSIONS

Many problems have contributed to the large cost overruns and delays in the construction of the Detroit CATS. Major contributing causes are lack of financial and project controls and lack of institutional discipline.

Technical problems are contributing foes but are of a secondary nature. ABAM admits to partial responsibility for the occurrence of one of the several technical problems (beam cracking).

All problems notwithstanding, the system will open to the public in August 1987.

1-A

#### ANNEXE 4

GUIDE DE SPECIFICATION TECHNIQUE POUR MADRID

DETAILLE.

(redigé à partir du cahier des charges type  
pour ROB établi par B.T. Ref LBSI/BA/C.0034/88/BT/CN)

pour VAR 256

(textes adaptés au VAR 206)

top la Carrière NAF. Groler

1989

bruit extérieur

vent

dévers

bruit intérieur

diminution



## A. INTRODUCTION

### A.1. Généralités

### A.2. Modes d'exploitation automatiques

A.2.1. Mode d'exploitation normale

A.2.2. Mode d'exploitation dégradée

## B. SPECIFICATIONS

### B.1. Respect de l'environnement

B.1.1. Bruit et vibrations

B.1.2. Compatibilité électromagnétique

### B.2. Conditions climatiques

B.2.1. Opérations par vent violent

B.2.2. Surveillance météorologique

### B.3. Contraintes de tracé

B.3.1. Pente maximale

B.3.2. Courbes horizontales

B.3.3. Courbes verticales

### B.4. Interfaces avec les équipements fixes non liés au système

### B.5. Performances du système

B.5.1. Capacité du véhicule

B.5.2. Capacité du système

B.5.3. Temps d'arrêt en station

B.5.4. Terminus définitifs et terminus provisoires

B.5.5. Vitesse commerciale moyenne

B.5.6. Intervalles

B.5.7. Dimensionnement du parc de véhicules

B.5.8. Injection/Retrait des trains en ligne

B.5.9. Plan d'exploitation

B.5.10 Extensions futures du système

.../...

## B.6. Système de contrôle automatique

### B.6.1. Généralités

### B.6.2. Spécifications fonctionnelles

## B.7. Sécurité et Système

### B.7.1. Priorités du programme sécurité

### B.7.2. Programme sécurité

## B.8. Fiabilité - Disponibilité

### B.8.1. Analyse fiabilité

### B.8.2. Critère de disponibilité du système

### B.8.3. Disponibilité requise

## B.9. Gestion des incidents

### B.9.1. Conduite manuelle à vue d'un véhicule

### B.9.2. Commande locale de la séquence d'arrêt

### B.9.3. Etablissement d'un service provisoire

## B.10. Accès personnes âgées et personnes à mobilité réduite

## C. SPECIFICATIONS CONCERNANT LES SOUS-SYSTEMES

### C.1. Voie

#### C.1.1. Piste de roulement et/ou de guidage

#### C.1.2. Aiguillages

#### C.1.3. Signalisation pour la conduite manuelle à vue

#### C.1.4. Rail d'alimentation électrique

#### C.1.5. Chemins de câbles

#### C.1.6. Passerelle d'évacuation

### C.2. Véhicules

#### C.2.1. Caractéristiques

#### C.2.2. Confort des passagers

#### C.2.3. Compartiment passagers

#### C.2.4. Dispositions Anti-feu

#### C.2.5. Caractéristiques des éléments des véhicules

.../...

### C.3. Communications

- C.3.1. Sonorisation véhicule
- C.3.2. Interphonie véhicule
- C.3.3. Sonorisation des stations
- C.3.4. Interphonie station
- C.3.5. Système de communication radio
- C.3.6. Circuit de télévision

### C.4. Distribution d'énergie

- C.4.1. Poste de livraison
- C.4.2. Postes éclairage force dans les stations
- C.4.3. Distribution de l'énergie de traction
- C.4.4. Sectionnement
- C.4.5. Prise de terre et Protection électrique

### C.5. Poste central de contrôle

### C.6. Equipements de station

- C.6.1. Façade de quai
- C.6.2. Hauts Parleurs et Buzzers
- C.6.3. Nez de quai
- C.6.4. Interface véhicule/station
- C.6.5. Climatisation

### C.7. Alimentation de secours

### C.8. Garage Atelier

- C.8.1. Site du garage atelier
- C.8.2. Manoeuvres sur le site
- C.8.3. Equipements du Garage Atelier

## D. TESTS

- D.1. Planning des tests
- D.2. Description des tests sous-système
- D.3. Tests dynamiques et marche à blanc

## A. INTRODUCTION

### A.1 Généralités

Le système reliera le centre d'affaires de Madrid (les stations desservies seront indiquées par l'autorité organisatrice) au Parc des nations (une station) et à l'aéroport (deux stations : terminal national et terminal international).

Le système de transport sera de type métro léger automatique afin d'offrir la plus grande souplesse de fonctionnement, de réduire les difficultés d'insertion et en conséquence de favoriser l'accessibilité aux équipements desservis tout en limitant les coûts d'infrastructure.

### A.2. Modes d'Exploitation Automatiques

#### A.2.1. Mode d'Exploitation Normale

Une rame en exploitation normale s'arrêtera à toutes les stations. Une fois insérée en ligne, la rame circulera dans le sens correspondant à la qualité de service optimale et changera de sens et de voie à chaque terminus définitif. Chaque voie correspondra donc à une direction de circulation unique.

#### A.2.2. Mode d'Exploitation Dégradée

Lorsqu'un incident (panne sur véhicule ou sur équipement fixe, ...) interdira la circulation sur une partie de la ligne, un service partiel pourra être mis en oeuvre grâce à la communication de voie implantées près de la station Campo de Las Naciones. Le rebroussement des rames s'effectuera alors aux terminus normaux ou provisoires.

## B. SPECIFICATIONS

Ce chapitre B décrit la fourniture demandée à l'entrepreneur sous son aspect système. Cet aspect système comprend les fonctions à réaliser, les performances et "qualités" que l'on attend de la fourniture relativement à un environnement déterminé.

### B.1. Respect de l'Environnement

75 à 7.50 m 72 dB

#### B.1.1. Bruit et vibrations

Au voisinage du viaduc, en site urbain, le niveau maximal du bruit mesuré à 15 mètres de l'axe de la voie la plus proche et au niveau du plan de roulement du véhicule, ne dépasse pas 80 dBA et ceci quel que soit le régime du véhicule : accélération, décélération, marche à vitesse constante.

#### B.1.2. Compatibilité Electromagnétique

Sur le plan électromagnétique, le système de transport automatique devra être compatible avec son environnement urbain. Ceci concerne à la fois l'émission d'ondes électromagnétiques vers l'extérieur du système et la susceptibilité du système aux ondes électromagnétiques provenant de l'extérieur. ~~L'équipement électrique et électronique devra être compatible avec les normes MPL E 6051D et FCC part 15.~~

##### B.1.2.1 Emission d'Ondes Electromagnétiques

Le système ne devra pas causer d'interférences nuisibles à l'opération des appareils tels que les radios, les téléphones, télévisions, ordinateurs, microprocesseurs, appareils à rayons X, équipements électroniques de tests, pacemakers, radars.

##### B.1.2.2 Susceptibilité aux Ondes Electromagnétiques

Le client indiquera les problèmes particuliers au site du projet pour ce qui est de l'émission d'ondes électromagnétiques provenant de l'environnement extérieur. Ceci concerne notamment les stations de radios locales, les instruments scientifiques et médicaux de forte puissance, les radars d'aéroports.

En dehors de ces problèmes particuliers (le cas échéant), l'entrepreneur s'inspirera des règles de l'art en vigueur dans l'industrie des métros de la Communauté Européenne.

## B.2. Conditions climatiques

### B.2.1. Opérations par vent violent

En cas de vent extrême, les conditions d'exploitation retenues sont les suivantes :

X A partir de la première pointe de vent supérieure à 110 km/h, les rames sont mises à l'abri le plus rapidement possible (en tunnel ou en garage). Les rames sont à nouveau autorisées à circuler en aérien 1/4 d'heure après la dernière pointe de vent dépassant 110 km/h.

Pour le dimensionnement, on retiendra l'hypothèse qu'aucun véhicule ne roulera en vitesse nominale en aérien avec une vitesse de vent supérieure à 130 km/h.

Au cas où un véhicule serait encore en zone aérienne au-delà d'une vitesse de vent supérieure à 130 km/h, la vitesse sera limitée à une valeur que le concepteur du système fixera.

### B.2.2. Surveillance météorologique

L'exploitant doit fournir les prévisions météorologiques journalières au centre de contrôle. L'entrepreneur doit installer une mini-station météo très proche du système. Cette station mesurera l'humidité relative de l'air, la vitesse du vent et la température. Les capteurs devront envoyer les informations au centre de contrôle qui déclenchera des alarmes afin de mettre en oeuvre une exploitation dégradée en cas de conditions climatiques extrêmes.

### B.3. CONTRAINTES DE TRACE

#### B.3.1. Pente Maximale

La pente longitudinale maximale de la voie en ligne est de 7 %.

#### B.3.2. Courbes horizontales

Les transitions entre alignement droit et courbe horizontale prennent en compte le confort des passagers (voir § C.2.2.1.) et les performances du véhicule (voir § C.2.1.2). Le maximum de dévers est 10 %. Le rayon minimal de courbure horizontale de la voie est de 40 mètres. Cependant afin de ne pas pénaliser la vitesse commerciale, seront en principe évités les rayons inférieurs à 200 m.

#### B.3.3. Courbes Verticales

Les transitions entre une portion de voie à pente constante et une portion de courbe verticale prennent en compte le confort des passagers (voir § C.2.2.1). Le rayon minimal de courbure verticale de la voie en ligne est de 1500 mètres.

### B.4. INTERFACES AVEC LES EQUIPEMENTS FIXES NON LIES AU SYSTEME

Les équipements fixes non liés au système considéré sont :

- le génie civil de la ligne (tunnel, viaduc...)
- les stations
- de manière générale, tous les bâtiments qui contiennent des équipements liés au système de métro automatique.

Dans tous les cas, l'entrepreneur exercera le contrôle de la bonne réalisation des interfaces, et sera le conseiller du client sur tout ce qui concerne les interfaces.

### B.5 PERFORMANCES DU SYSTEME

Les performances système décrites ici caractérisent la qualité du service offert à l'utilisateur : vitesse commerciale, temps d'attente (intervalle entre trains). Elles constituent un élément très important de l'évaluation du système proposé par l'entrepreneur.

### B.5.1. Capacité du Véhicule

On définit les capacités (nombre de passagers) et charge (masse totale du véhicule au repos) suivantes :

<u>Situation</u>	<u>Capacité</u>	<u>Charge(kg)</u>
Véhicule vide	C0	M0
Véhicule en charge maximale normale	C1	M1
Véhicule en charge exceptionnelle	C2	M2
Véhicule en surcharge exceptionnelle	C3	M3

C1 sera calculé en considérant les sièges occupés et 4 passagers debouts par m<sup>2</sup> de surface de plancher utilisable. C2 sera calculé en considérant les sièges occupés et 6 passagers debout par m<sup>2</sup> de surface de plancher utilisable. C3 sera calculé avec tous les sièges occupés et 8 personnes debout par m<sup>2</sup> de surface utilisable.

La surface de plancher utilisable est définie comme la surface de plancher totale du véhicule diminuée de 0,4 m<sup>2</sup> fois le nombre de sièges du véhicule, et des surfaces des armoires d'équipements situés dans le compartiment voyageurs.

La masse moyenne d'un passager est de 70 kg.

### B.5.2. Capacité du système

Le système sera dimensionné de manière à répondre à 2 objectifs :

- assurer une qualité de service correspondant à un intervalle maximal de 5 minutes en heures de pointe en ce qui concerne les liaisons Madrid-Aéroport.
- écouler le trafic horaire Madrid-Parc des Nations tel qu'il ressortira des études de trafic.

En ce qui concerne les trafics de pointe correspondant à des manifestations normales, le dimensionnement s'effectuera avec une charge maximale normale (C1) des véhicules.

En ce qui concerne les trafic d'hyperpointe correspondat aux manifestations exceptionnelles 15 à 25 jours/an d'expositions les plus fréquentées,

le dimensionnement s'effectuera avec une charge exceptionnelle (C2) des véhicules.

.../...



### B.5.3. Temps d'arrêt en station

A l'heure de pointe, les temps d'arrêt en station seront évalués en additionnant :

- a) Le temps d'ouverture complète des portes à partir de l'arrêt du train en station.
- b) Le temps portes ouvertes (TPO) (voir ci-dessous)
- c) Le temps de fermeture des portes
- d) Le temps mort au démarrage du train (temps entre le moment où les portes sont complètement fermées et le démarrage effectif du train).

Le temps portes ouvertes (TPO) sera calculé pour chaque station comme étant :

$$TPO \text{ (sec)} = \frac{(M + D) \times 0,7}{N \times e} \times 1,2$$

où M est le nombre de passagers qui embarquent, D le nombre de passagers qui sortent à la station considérée, N est le nombre de portes sur un côté du train, e la largeur de passage dégagée par une porte du véhicule exprimée en mètres. Une unité de passage étant évaluée à 70 cm et le débit à 1 personne par unité de passage et par seconde.

Le coefficient de pondération (1,2) permettra d'obtenir une marge de régulation du temps d'arrêt en station.

### B.5.4. Terminus définitifs et terminus provisoires

Le système devra comprendre le fonctionnement automatique des terminus définitifs et terminus provisoires de la ligne tel que défini au paragraphe A.2.2. Le temps de rebroussement des trains en terminus est le temps entre l'instant où le train démarre du quai arrivée d'un terminus et l'instant où ce train s'arrête au quai départ (sur l'autre voie) du même terminus, après avoir rebroussé en fond de tiroir.

Un terminus provisoire sera réalisé au Parc des Nations afin de permettre des liaisons à fréquences différentes en ce qui concerne le Parc des Nations d'une part, et l'aéroport d'autre part. Les trafics correspondant à ces 2 équipements pouvant en effet être très différents suivant les périodes.

### B.5.5. Vitesse commerciale moyenne

L'entrepreneur calculera la vitesse commerciale moyenne des trains en ligne. Cette vitesse commerciale est définie comme le rapport de la longueur de la ligne au temps de parcours de toute la ligne en tenant compte de tous les temps d'arrêt en station. Les temps d'arrêt en station seront calculés comme indiqué au B.5.3.

La vitesse commerciale moyenne sera au moins de 40 km/h dans l'hypothèse de 5 stations desservies.

#### B.5.6. Intervalles

On définit deux types d'intervalle :

- l'intervalle théorique de conception du système : c'est l'intervalle théorique possible entre deux trains qui parcourent la ligne en fonctionnement normal. Cet intervalle minimal est le résultat de l'implantation des automatismes de pilotage des trains. Plus cet intervalle est petit meilleur est le service en cas de perturbation sur la ligne : le retard d'un train affecte les trains suivants d'autant moins que l'intervalle minimal de conception est petit.
- l'intervalle d'exploitation du système : c'est l'intervalle moyen entre trains en ligne qui permet d'assurer un certain débit du système. Cet intervalle est fonction de l'évolution du trafic. La qualité du système proposé sera notamment évaluée en fonction de l'intervalle d'exploitation lors de l'heure de pointe. Un intervalle court permet un meilleur service et augmente la productivité du matériel roulant.

X L'intervalle d'exploitation à l'heure de pointe pourra, en cas de manifestation au Parc des Nations, descendre jusqu'à 90 secondes sur la liaison Madrid-Parc des Nations.

X L'intervalle d'exploitation du système proposé ne devra pas être supérieur à 5 minutes en heures de pointe et 8 minutes en heure creuse sur la liaison Madrid-Aéroport.

#### B.5.7. Dimensionnement du Parc de Véhicules

Le parc de véhicules sera défini en tenant compte :

- des véhicules nécessaires en ligne pour satisfaire la capacité telle que définie au B.5.2.
- de la réserve d'exploitation et de maintenance.

#### B.5.8. Injection/Retrait des trains en ligne

L'injection et le retrait des trains pour le service en ligne seront automatiques et réalisés sur télécommande du Poste Central de Contrôle (PCC).

L'injection et le retrait automatiques doivent pouvoir s'effectuer à partir de la zone de garage ainsi qu'à partir des deux extrémités de la ligne.

#### B.5.9. Plan d'exploitation

Le contractant proposera un plan d'exploitation de la ligne qui satisfasse les hypothèses de trafic et d'intervalles définis au B.5.6. Le système devra être le plus souple possible pour adapter l'offre de places offertes à l'évolution anticipée de la demande au cours de la journée.

X D'autre part, dans les limites de capacités décrites au B.5.2., le plan d'exploitation du système devra être le plus souple possible pour s'adapter au trafic généré par des événements exceptionnels notamment au Parc des Nations (Expositions, Congrès).

#### B.5.10. Extensions Futures du Système

Le système proposé devra être conçu pour :

- intégrer les augmentations du parc de véhicules correspondant aux augmentations du trafic futures.
- étendre la ligne sans perturbation de l'exploitation ou avec une perturbation réduite dans le temps (notamment au voisinage des terminus définitifs de la ligne en exploitation.)

### B.6. SYSTEME DE CONTROLE AUTOMATIQUE

#### B.6.1. Généralités

Le système de métro léger proposé sera entièrement automatique. Les automatismes et l'ensemble du système seront conçus de manière à assurer les trois fonctions suivantes :

- protection des passagers et des véhicules,
- conduite automatique des véhicules,
- supervision du système.

Le système sera conçu de telle manière que les fonctions de protection et de conduite des véhicules en ligne et dans le garage ne nécessitent aucune intervention humaine. La supervision du système sera effectuée par des opérateurs situés au Poste Central de Contrôle (PCC). Lorsque le système fonctionne normalement, ces opérateurs surveillent mais n'agissent pas.

L'entrepreneur prévoira la possibilité de pallier les défaillances du système grâce aux moyens suivants (voir § B.9):

- Télécommande de la commutation des équipements redondants embarqués ou au sol (le cas échéant),
- possibilité de commander la séquence de stationnement en station et notamment les portes palières d'un quai de station par un seul agent sur le quai de station (voir § C.6),
- possibilité de conduire un véhicule en manuel avec un seul agent à bord du véhicule,
- service provisoire (voir aussi § A.2.2.)

Dès qu'il y a intervention humaine, la sécurité sur le lieu de l'intervention repose sur le respect des procédures d'exploitation par l'agent sur place et le poste de contrôle.

- la protection du véhicule en conduite manuelle est assurée par le conducteur à bord de ce véhicule,
- la protection sur le quai de station dont les portes palières sont manoeuvrées par un agent est assurée par ce même agent.

Cependant la sécurité de toutes les autres parties du système (autres véhicules, autres stations, etc) ne devra pas être diminuée par l'intervention humaine locale. En particulier, lorsqu'un véhicule est conduit manuellement, les automatismes continueront à assurer la protection de tous les véhicules en conduite automatique y compris vis à vis du véhicule en conduite manuelle.

L'atelier et ses accès directs et l'accès à la voie d'essais seront les seuls endroits où la conduite des véhicules sera systématiquement manuelle. Le fonctionnement des véhicules sera entièrement automatique sur toutes les autres parties de la ligne, y compris le garage. La transition d'un véhicule de la ligne où son fonctionnement est automatique vers l'atelier (et vice versa) se fera par le passage aux quais de reprise en manuel situés à l'entrée du faisceau de l'atelier.

#### B.6.2. Spécifications fonctionnelles

Les équipements d'automatismes nécessaires pour assurer les fonctions de protection et conduite des véhicules et pour la supervision du système pourront être répartis à bord des véhicules, au sol (sur la voie ou en station) ou au poste central de contrôle (PCC).

##### B.6.2.1. Conduite Automatique des Véhicules

La conduite automatique des véhicules comprend notamment les fonctions suivantes :

- régulation de la vitesse des véhicules
- contrôle de l'arrêt précis en station
- régulation du temps d'arrêt en station

##### B.6.2.1.1. Régulation de la vitesse des véhicules

Le système effectuera la régulation de vitesse de chaque véhicule en tout point excepté, dans l'atelier et sur les voies d'accès à l'atelier où la conduite est manuelle.

La régulation de la vitesse devra être réalisée de manière à respecter les contraintes de sécurité liées au dimensionnement des équipements (section C) et de manière à satisfaire les exigences système de la section B. En particulier, l'entrepreneur veillera à respecter les paramètres de confort passagers tels que décrits au § C.2.2.1. et les performances requises telles que décrites au § B.5.

L'entrepreneur prévoira un dispositif antisurvitesse tel que décrit au § B.6.2.2.4.

#### B.6.2.1.2. Arrêt en station

L'arrêt d'un véhicule en station devra être précis afin de faire coïncider les portes du véhicule et les portes palières au maximum. Le point d'arrêt optimal est le point d'arrêt qui fait coïncider l'axe médian de toutes les portes du véhicule et l'axe médian de toutes les portes palières. La précision de l'arrêt devra être telle qu'une tolérance de  $\pm 30$  cm par rapport à ce point d'arrêt optimal soit respectée dans 99 % des cas.

Après l'arrêt du véhicule en station, les portes du véhicule qui donnent sur le quai et les portes palières de station correspondantes s'ouvriront simultanément pour permettre l'échange des passagers.

Le temps d'arrêt en station sera normalement préprogrammé. Pendant l'arrêt en station, le système de freinage du véhicule fonctionnera en freinage d'immobilisation ou freinage d'urgence.

Il pourra être variable suivant la station et le quai de station considérés. Ce temps de stationnement pourra être modifié facilement par un opérateur du PCC, pour n'importe quel quai de n'importe quelle station, en cas d'affluence imprévue par exemple. Le "temps portes ouvertes" (voir § B.5.3) devra pouvoir être fixé entre 8 à 30 secondes avec une précision de une seconde.

Lorsque le temps de stationnement est écoulé, les portes du véhicule et les portes palières se ferment simultanément. Un signal sonore avertira de la fermeture imminente des portes.

L'entrepreneur prévoira un système de détection d'obstacle sur les portes du véhicule ainsi que sur les portes palières de station. Ce système de détection sera tel qu'il permette à tout objet (ou toute personne) d'être dégagé (ou de se dégager) sans effort important. Les spécifications de ce système sont présentées au § C.2.5.6. pour les portes du véhicule et § C.6.1. pour les portes de station.

Lorsque le temps nécessaire au dégagement de l'objet ou de la personne est écoulé, les portes du véhicule et les portes palières se referment automatiquement.

Le véhicule ne pourra partir que lorsque la fermeture de toutes les portes (véhicule et station) sera vérifiée en sécurité.

#### B.6.2.2. Protection des Passagers et des Véhicules

Le système proposé devra traiter de manière sécuritaire les points suivants :

- détection et anticollision des véhicules
- logique d'itinéraires
- vitesse maximale
- détection de survitesse
- sens de marche
- séparation des véhicules d'un même train
- verrouillage des portes du véhicule et des portes de station

##### B.6.2.2.1. Détection et Anticollision des Véhicules

Les véhicules seront détectés de façon continue en ligne et dans le garage. Cette détection sera faite en sécurité. Elle servira de base à la fonction d'anti-collision des véhicules qui sera de même réalisée en sécurité.

#### B.6.2.2.2. Logique d'itinéraires

En ligne, la logique d'itinéraires concerne les terminus définitifs, les terminus provisoires, ainsi que toute les zones de jonction entre le garage, l'atelier et la ligne d'exploitation.

La logique d'itinéraires du système devra permettre le franchissement automatique en sécurité de ces zones. Cette logique devra notamment assurer :

- le positionnement et le contrôle de position des aiguilles en accord avec l'itinéraire sélectionné pour un véhicule,
- l'interface avec les feux de signalisation pour permettre la conduite manuelle à vue (voir § C.1.3.) au niveau des terminus définitifs et provisoires,
- la protection d'un véhicule circulant sur une voie et destiné à passer sur une autre voie (en utilisant une communication de voie) vis à vis des véhicules circulant sur les deux voies.

Les zones de terminus et les zones du garage et de l'atelier sont les zones où sur une même voie le fonctionnement d'un véhicule pourra être bidirectionnel.

#### B.6.2.2.3. Vitesse maximale

Le système sera prévu pour communiquer en permanence à tout véhicule en conduite automatique sa vitesse maximale. Cette vitesse maximale sera fonction de la position du véhicule sur la ligne et de la situation du système à un instant donné (position de tous les véhicules, état des portes palières, itinéraires choisis en zone de terminus, etc... )

La fonction d'anti-collision et la détermination de la vitesse maximale seront réalisées de manière à ce que tout véhicule puisse s'arrêter en sécurité sans percuter le véhicule qui le précède lorsque ce véhicule qui le précède s'arrête instantanément (décélération infinie jusque vitesse nulle).

#### B.6.2.2.4. Détection de Survitesse

Le contrôle de la vitesse réelle du véhicule sera fait en sécurité. La vitesse réelle sera comparée en permanence à la vitesse maximale telle que décrite au § B.6.2.2.3. En cas de survitesse (vitesse réelle du véhicule supérieure à la vitesse maximale) le freinage d'urgence sera commandé jusqu'à l'arrêt complet du véhicule et une télémessure d'alarme sera transmise aux opérateurs du PCC.

#### B.6.2.2.5. Inversion du Sens de Marche

Dans les zones où le fonctionnement est bidirectionnel, l'entrepreneur définira les zones de rebroussement où l'inversion du sens de marche des véhicules sera possible, automatiquement. Cette inversion de sens devra être réalisée en sécurité (véhicule stoppé, etc).

#### B.6.2.2.6. Séparation des Véhicules

En fonctionnement normal, le système doit contrôler en sécurité la non-séparation des véhicules qui forment un train.

En cas de séparation accidentelle, les véhicules devront être stoppés automatiquement en freinage d'urgence.

#### B.6.2.2.7. Verrouillage des Portes du véhicule et des Portes de station

Le contrôle du verrouillage des portes du véhicule de même que le contrôle du verrouillage des portes de station sera effectué en sécurité. Le fonctionnement normal et automatique du système sera tel que les portes du véhicules et les portes du quai de station ne s'ouvrent que lorsque le véhicule est stoppé au point d'arrêt normal dans cette station (voir § B.6.2.1.2).

Le déverrouillage des portes d'un véhicule dans des conditions autres que celles prévues ci-dessus doit provoquer le freinage d'urgence immédiat de ce véhicule et l'envoi d'une alarme spécifique.

De même, le déverrouillage des portes d'un quai de station dans des conditions autres que celle prévues ci-dessus interdira tout mouvement de véhicule dans la zone du quai de station. Si au moment du déverrouillage intempestif d'une porte de quai de station, un véhicule se trouvait dans la zone du quai de station, celui-ci devra s'arrêter immédiatement en freinage d'urgence.

#### B.6.2.3. Télésupervision des véhicules

Le système de télésupervision (TCS) doit continuellement donner à l'opérateur du centre de contrôle des informations sous différentes formes d'affichage et doit mettre en oeuvre toutes les actions nécessaires pour maintenir l'efficacité du système.

Les consoles et les écrans de visualisation nécessaires au fonctionnement du système doivent être situés au centre de contrôle. Ils doivent donner les informations et permettre à l'opérateur les actions requises pour dialoguer avec le système de télésupervision.

Le calculateur (cœur du système) doit exécuter un certain nombre de tâches :

- suivi des trains (train tracking)
- gestion des itinéraires (train routing)
- régulation de trafic (headway management)
- injection (train dispatch)
- retrait (train removal)

et d'autres fonctions décrites dans les paragraphes suivants.

Pour assurer la disponibilité requise, le calculateur et les périphériques seront redondants.

##### B.6.2.3.1. Suivi des trains

Ce système doit suivre géographiquement les trains partout où ils se trouvent sur les zones automatisées. Il fournit des informations aux systèmes de gestion des itinéraires, de régulation du trafic et d'affichage. (C'est à dire les consoles et le tableau de contrôle optique).

##### B.6.2.3.2. Gestion des itinéraires

Ce système doit remplir toutes les fonctions concernant l'itinéraire de chaque véhicule (retournement, aiguillage) quelque soit la configuration (service partiel, terminus provisoire).

Le système définit automatiquement l'itinéraire en fonction du tableau horaire.

.../...



Le système doit aussi détecter les pannes éventuelles sur les communications de voie et les aiguillages pour permettre l'activation d'alarmes le cas échéant (voir B.6.2.3.7).

#### B.6.2.3.3. Régulation du trafic

Ce logiciel doit faire démarrer les trains de chaque station de telle sorte que les horaires du tableau horaire, choisi chaque matin par l'opérateur, soient respectés.

Il existe plusieurs tableaux qui tiennent compte des différents trafics journaliers (jour ouvrable, samedi, dimanche, journée spéciale...).

Pendant la journée le passage d'un intervalle à un autre entrainera automatiquement des injections ou des retraits (B.6.2.3.4.) sans action de l'opérateur. Le logiciel de régulation de trafic doit maintenir un intervalle uniforme entre les trains en service en modifiant individuellement les temps en station et les vitesses des véhicules. Le retard ou l'avance d'un train sera contrôlé à chaque station pour automatiquement allonger le temps d'arrêt si le train est en avance, le diminuer et si besoin augmenter la vitesse du véhicule si le train est en retard. La vitesse de recouvrement doit être d'au moins 10 % supérieure à la vitesse normale pour laisser une marge de régulation suffisante.

#### B.6.2.3.4. Injection - Retrait

Deux zones de parking situées à chaque extrémité de la ligne devront être conçues comme parking injection-retrait.

Elles devront recevoir les équipements de contrôle automatique nécessaires à leur fonctionnement (voir C.8.2.1 et C.8.2.2).

Le TCS doit superviser l'injection et le retrait ce qui inclut :

- l'alarme au centre de contrôle lorsqu'aucun train n'est disponible dans la zone parking,
- la gestion des itinéraires,
- le suivi des véhicules dans les zones de parking
- la régulation du trafic
- l'identification du train retiré

.../...

#### B.6.2.3.5. Affichage

Le TCS doit afficher continuellement l'état du système et le cas échéant les pannes ou mauvais fonctionnements des sous-systèmes. Pour cela deux moyens d'affichage doivent être mis en place :

- Une console centrale. Un affichage doit être dédié à chaque sous-système (véhicule, stations, poste de redressement ... ) pour visualiser l'état de l'équipement, les alarmes et autoriser l'opérateur à envoyer des télécommandes au sous-système associé.
- un panneau synoptique situé en face de la console sur un mur. Il doit comprendre :
  - . un représentation schématique de la ligne et du garage atelier indiquant la direction de circulation et la position du véhicule,
  - . un indicateur de l'état des équipements fixes d'automatisme pour chaque section de la ligne et du garage atelier)
  - . un indicateur de l'état des aiguillages
  - . l'identification des trains en station
  - . des indicateurs d'état des postes de distribution d'électricité

#### B.6.2.3.6. Alarmes et exploitation

Pour assurer le fonctionnement sécuritaire et efficace du système, il est nécessaire que les composants les plus importants du système soient automatiquement surveillés permettant ainsi de détecter des fonctionnements défectueux et/ou des pannes.

Lorsqu'une panne se présente, le système d'affichage doit indiquer la nature de la panne. Une alarme sonore doit être mise en route.

Chaque alarme doit être affichée séparément. La prise en compte de l'alarme par l'opérateur doit entraîner l'arrêt de l'alarme sonore mais les voyants doivent rester allumés jusqu'à ce que la cause de l'alarme soit disparue.

.../...

#### B.6.2.3.7. Fonctions de contrôle automatique

La console du centre de contrôle doit comporter un certain nombre de fonction permettant le dialogue opérateur-TCS.

- a) entrer individuellement/afficher les temps d'arrêt pour chaque station
- b) sélectionner le mode de service d'exploitation (normal, partiel)
- c) sélectionner les itinéraires au garage atelier
- d) identifier les trains qui se trouvent sur les zones automatisées
- e) insérer
- f) retirer
- g) donner la position du véhicule n° ...
- h) prise en compte d'alarme
- i) arrêter d'urgence le système
- j) remise à zéro de l'arrêt d'urgence
- k) stopper le train n° ...
- l) réduire la vitesse entre les stations ... et ....
- m) réduire la vitesse du train n° ...
- n) N'arrêter le train n° ... à aucune station
- o) maintenir les portes du train n° .. ouvertes en station
- p) maintenir les portes du train n° .. fermées en station

.../...

#### B.6.2.3.8. Télémessures d'Etat du Véhicule

Chaque véhicule en service enverra en permanence vers le PCC l'état de chacun de ses équipements.

Le choix des alarmes et des affichages doit être fait par l'entrepreneur en se basant sur son expérience et son savoir faire. Mais, les informations suivantes doivent au moins être fournies :

##### a) Etat du véhicule :

- . numéro du véhicule
- . conduite automatique/manuelle
- . activation du freinage d'urgence
- . sens de marche
- . position véhicule
- . état des portes (commande ouverture ou non)

##### b) Alarmes :

- . ouverture du pupitre de conduite manuelle
- . poignée d'évacuation d'urgence
- . détection d'obstacle sur la voie
- . séparation des véhicules d'un même train
- . température du système de motorisation élevée
- . défaut du système de freinage
- . défaut de la commande moteur
- . porte ouverte en interstation
- . défaut compresseur (pression, température) (le cas échéant)
- . défaut système hydraulique (pression, température) (le cas échéant)
- . défaut batteries
- . défaut convertisseurs
- . défaut éclairage

#### B.6.2.4. Télécontrôle des Zones Passagers

A partir du PCC, les opérateurs pourront télécommander la mise en/hors service des ascenseurs et escaliers mécaniques. Ils pourront superviser le fonctionnement de ces équipements ainsi que celui des distributeurs de billets de transport, des composteurs.

Les opérateurs pourront fermer/ouvrir les stations au public par la télécommande de grilles d'accès automatiques.

Ces opérations de télécommande et télésurveillance seront effectuées par l'intermédiaire des consoles et claviers informatiques placés en face des opérateurs du PCC.

Pour faciliter ces opérations, les opérateurs du PCC disposeront de la couverture de vidéosurveillance telle que décrite au C.3.6.

Les détecteurs d'incendie en station feront aussi l'objet d'une télésurveillance à partir du PCC.

.../...

### B.7. SECURITE DU SYSTEME

La sécurité des passagers, du personnel d'exploitation et du public en général est un élément essentiel du système proposé. L'ensemble du système sera conçu de manière à obtenir un niveau de sécurité au moins égal à celui des métros réputés sûrs.

L'entrepreneur doit établir et maintenir un programme sécurité concernant le système qui tienne compte en particulier des directives concernant la sécurité dans les spécifications techniques des équipements et sous-systèmes (Chapitre C).

Les objectifs du programme doivent être en accord avec les principes suivants.

Il faut assurer que :

- les critères de sécurité soient définis et respectés,
- les risques soient identifiés et évalués le plus tôt possible pendant la phase de conception,
- les actions appropriées soient prises pour éliminer, minimiser ou contrôler les différents risques identifiés.

L'entrepreneur est seul responsable envers le client de la réalisation du programme.

#### B.7.1. Priorités du programme sécurité

Les risques et accidents doivent être classés sous différentes catégories.

Catégorie 4 : Négligeable. Accident n'ayant pas entraîné de blessé (parmi les voyageurs ou le personnel), ni de dommage apparent au système.

Catégorie 3 : Marginal. Dommage mineur n'ayant occasionné :

- que des blessures, chocs ou hématomes nécessitant uniquement des premiers soins sans hospitalisation,
- que des dommages facilement réparables.

Catégorie 2 : Critique. Dommage sévère envers le système, le personnel ou les passagers, nécessitant une action d'urgence pour éviter un décès ou la destruction partielle du système.

Catégorie 1 : Catastrophique. Accident pouvant causer de multiples blessés ou décès ou la destruction du système.

#### B.7.2. Programme sécurité

Le but du programme sécurité est d'éliminer les risques des catégories 1 et 2 et de contrôler les risques des catégories 3 et 4 en accord avec l'analyse du système, ses tests, son fonctionnement et sa maintenance.

## B.8. FIABILITE - DISPONIBILITE

### B.8.1. Analyse fiabilité

Une analyse de la fiabilité du système et des sous-systèmes doit être faite par l'entrepreneur.

Cette analyse doit comprendre :

- définition du système avec les hypothèses faites
- diagramme fiabilité du système (avec les valeurs de fiabilité des éléments)
- l'indication des bases de données
- les hypothèses de pannes système et sous-systèmes et les TMEP ou taux de défaillance associés

TMEP : Temps Moyen Entre Perturbations

Lorsque des éléments existent déjà, qu'ils sont utilisés pour la même application que celle envisagée pour le projet et que des données existent sur leur fiabilité opérationnelle, on pourra proposer ces données pour montrer que la fiabilité demandée a été atteinte.

### B.8.2. Critère de disponibilité du système

La disponibilité sera calculée à partir du temps moyen entre perturbations (TMEP) et du temps moyen de recouvrement (TMR) suivant la définition :

$$D = \frac{\text{TMEP}}{\text{TMEP} + \text{TMR}}$$

Le temps moyen entre perturbations (TMEP) est le rapport entre le temps de fonctionnement du système (TF) et le nombre de pannes indépendantes affectant le service offert par le système (NP)

$$\text{TMEP} = \frac{\text{TF}}{\text{NP}}$$

Pour déterminer NP, on exclura les pannes suivantes :

- a) Les pannes détectées au cours de la maintenance d'équipements hors service (c'est à dire n'intervenant pas dans l'exploitation lors de la détection de la panne)
- b) les pannes liées au vandalisme ou à la malveillance
- c) les pannes liées à l'intrusion de personnes ou d'objets étrangers au système
- d) les pannes qui perturbent le système pendant moins de 4 minutes consécutives.
- e) les pannes liées à la coupure de l'électricité de la part du fournisseur en énergie du système
- f) les pannes attribuables aux erreurs d'exploitation et/ou de maintenance.

Le temps de fonctionnement du système TF est le temps d'ouverture du système au service.

Le temps moyen de recouvrement (MTTR) est le rapport entre la somme de tous les temps de recouvrement (TTR) pour chaque panne perturbant le service et le nombre de pannes perturbant le service :

$$TMR = \frac{\sum TTR}{NP}$$

Pour chaque panne retenue dans le calcul de NP, TTR sera calculé comme la période de temps séparant le début de perturbation du service et la reprise du service.

### B.8.3. Disponibilité requise

La disponibilité du système devra être supérieure ou égale à :

- 0,94 durant la qualification du système dans son ensemble (période de marche à blanc)
- 0,98 par la suite en moyenne annuelle durant toute la vie du système.

### B.9. GESTION DES INCIDENTS

Le système sera conçu de manière à minimiser le nombre de pannes et leur impact sur le service offert aux usagers. L'entrepreneur devra notamment prévoir un certain nombre de procédures qui permettront la reconfiguration du système après une panne, de manière à rétablir un service, même partiel.

Le système devra notamment permettre : la conduite manuelle à vue d'un véhicule, la commande locale en station de la séquence d'arrêt sur quai, l'établissement d'un service provisoire, reprise manuelle des terminus définitifs ou provisoires.

L'entrepreneur indiquera les dispositifs de gestion des incidents et pour différents types d'incidents, les temps de remise en service normal.

.../...

#### B.9.1. Conduite Manuelle à Vue d'un Véhicule

Le système proposé devra permettre la conduite d'un véhicule par un agent d'exploitation quelle que soit la position du véhicule sur la ligne.

La conduite manuelle d'un véhicule ne devra pas être incompatible avec le fonctionnement automatique des autres véhicules.

En particulier, la présence du véhicule conduit manuellement sur la ligne ne doit pas constituer un danger pour les autres véhicules circulant en automatique. Réciproquement, la présence des véhicules circulant en automatique ne doit pas constituer un danger pour le véhicule conduit manuellement. La sécurité des passagers à bord du véhicule reposera en partie sur le conducteur.

La vitesse du véhicule en conduite manuelle devra être réduite à une valeur admissible au point de vue de la sécurité (conduite à vue).

L'entrepreneur indiquera comment est assurée la compatibilité de présence en ligne d'un véhicule en conduite manuelle avec celles d'autres véhicules en conduite automatique.

Dans tous les cas, l'entrepreneur devra prévoir deux pupitres de commande manuelle dans chaque train et une signalisation au voisinage des stations et des zones de communication de voie (voir § C.1.3).

#### B.9.2. Commande Locale de la Séquence d'Arrêt

En cas de défaut survenant sur les portes palières d'un quai de station (voir § C.6.1) il devra être possible de commander localement la séquence d'arrêt en station. Pour ce faire, le technicien disposera d'un pupitre manuel sur chaque quai de station. A partir de ce pupitre, le technicien devra pouvoir notamment :

- permettre le départ d'un véhicule même si les portes de quai de station ne sont pas complètement verrouillées,
- immobiliser un train en station
- ouvrir/fermer les portes du quai de station lorsque le véhicule est stoppé normalement en station
- disposer des moyens nécessaires (voyants, boutons) pour réaliser les actions ci-dessus.

Conformément au § B.6.1., la sécurité au voisinage des portes palières du quai de station sera de la responsabilité du technicien en cas de commande locale.

.../...



### B.9.3. Etablissement d'un Service Provisoire

En cas de blocage d'une partie de la ligne, il sera possible de télécommander à partir du PCC, l'établissement d'un service provisoire (voir § A.2.2). Cet établissement ne nécessitera pas la présence de technicien en ligne. La sécurité du système ne sera pas réduite suite à cet établissement.

### B.10. ACCÈS PERSONNES ÂGÉES ET PERSONNES A MOBILITE REDUITE

Afin de faciliter l'accès de tous les usagers (y compris les personnes âgées et/ou à mobilité réduite), le système proposé doit respecter :

- une différence de niveau entre le plancher du véhicule et le quai de station qui n'excède pas 2,5 cm (+/- 2,5 cm) lorsque le véhicule est à l'arrêt dans les cas de charge allant de C0 à C1 (voir paragraphe B.5.1).
- un vide entre le seuil du véhicule et le bord du quai qui n'excède pas 5 cm lorsque le véhicule est arrêté.

.../...

## C. SPECIFICATIONS CONCERNANT LES SOUS-SYSTEMES

### C.1. VOIE

L'entrepreneur définit les éléments qui font partie de la voie (passerelle d'évacuation, chemin de câbles, aiguillages, pistes de roulement et/ou de guidage, moyen d'alimentation en courant de traction, etc.).

#### C.1.1. Pistes de roulement et/ou de guidage, feeders d'alimentation en courant de traction

Les pistes de roulement et/ou de guidage, les feeders d'alimentation en courant de traction peuvent être intégrés ou fixés sur les ouvrages de génie civil.

#### C.1.2. Aiguillages

Le système proposé doit comporter des aiguillages dont le fonctionnement sera entièrement automatique que ce soit en ligne ou dans la zone de garage (hors zone d'atelier). La commande normale des aiguillages fait fonctionnellement partie du système de pilotage automatique des trains, tant sur le plan de la sécurité que sur le plan des performances.

Les aiguillages seront conçus de manière à :

- assurer le passage des trains sans aucune rupture de captation
- permettre le contrôle en sécurité de la position de l'aiguillage,
- être interfacés avec les feux de signalisation pour permettre la conduite manuelle à vue (voir paragraphe C.1.3),
- permettre la manoeuvre manuelle d'un aiguillage par une seule personne en cas de perte de motorisation pour cet aiguillage.

Le coffret de commande local pourra être actionné par un agent technique en cas de problème de télécommande/télécontrôle de l'aiguille. Un rupteur permettant de couper le courant de traction dans la zone de l'aiguillage sera placé à proximité du coffret d'aiguillage avec un téléphone d'urgence assurant une liaison "au décroché" entre l'agent technique et les opérateurs du PCC.

### C.1.3. Signalisation pour la Conduite manuelle à vue

L'entrepreneur devra fournir des équipements de signalisation qui permettront l'évolution des véhicules en conduite manuelle à vue dans certains cas de pannes des automatismes fixes ou embarqués.

Cette signalisation autorisera :

- la protection par feux des portes palières des stations vis à vis du mouvement du véhicule en conduite manuelle, que ce véhicule soit en station ou arrive dans la station ;
- la protection par feux des communications de voie.

Les signaux seront commandés à partir des équipements d'automatismes fixe et leur logique de commande répondra aux principes de sécurité. Ils devront être implantés de façon à être visibles à une distance garantissant l'arrêt normal d'un train en conduite manuelle.

### C.1.4. Rail d'alimentation électrique

Les feeders d'alimentation en courant de traction doivent être conçus de manière à assurer la captation du courant par le véhicule partout sur la ligne y compris le garage mais à l'exception de l'atelier de maintenance (Voir section C.4.3.4).

### C.1.5. Chemins de Câbles

Les interfaces véhicule/chemins de câble peuvent concerner tous les câbles pour les courants forts ou les courants faibles et qui relient les stations, les locaux techniques, le bâtiment de maintenance, le garage, le PCC. Ces interfaces sont internes au système.

### C.1.6. Passerelle d'évacuation

En plus des provisions décrites au paragraphe B.7.2., en cas de panne d'un véhicule en ligne, l'entrepreneur devra prévoir un cheminement piétonnier sur toutes les interstations.

Ce cheminement piétonnier permettra l'évacuation des passagers d'un véhicule bloqué sur la ligne.

Le chemin piétonnier devra être conçu de manière à éviter les risques d'accidents graves en cas d'évacuation précipitée du véhicule. En particulier, la différence de niveau entre le plancher du véhicule et le chemin piétonnier ne devra pas excéder 50 cm. Ce chemin piétonnier devra être constitué d'une surface plane et, de manière générale, sans obstacle.

## C.2. VEHICULES

### C.2.1. Caractéristiques

#### C.2.1.1. Capacité et Poids

Les capacités et poids de charge du véhicule sont décrits au paragraphe B.5.1.

#### C.2.1.2. Performances

Le véhicule doit avoir les performances suivantes :

- 1) Vitesse : en charge C1, sur une voie de pente nulle, à l'air libre et sans vent, le véhicule doit atteindre 80 km/h.
- 2) Accélération : en charge C1, l'accélération de service du véhicule atteint  $1,3 \text{ m/s}^2$  à partir d'une vitesse nulle.
- 3) Freinage de service : en charge C2, le freinage de service atteint  $1,3 \text{ m/s}^2$ .
- 4) Freinage d'urgence : en cas d'urgence et avec une charge C3, la décélération du véhicule est garantie à  $1,80 \text{ m/s}^2$  en palier.  
La décélération d'urgence ne devra pas dépasser  $2,4 \text{ m/s}^2$  en palier, ceci afin de préserver la sécurité des passagers debout dans les véhicules.

#### C.2.1.3.1. Contraintes maximales

Le dimensionnement à la rupture du véhicule sera tel que tout événement dont la probabilité d'occurrence est supérieure ou égale à  $10^{-9}$  par heure n'entraîne pas d'effort supérieur à 80 % de la limite élastique de la partie du véhicule où s'applique cet effort.

### C.2.2. Confort des Passagers

#### C.2.2.1. Paramètres de confort

Lorsque le système fonctionne de manière normale, le véhicule et la voie doivent être conçus de manière à respecter les paramètres de confort-passager suivants :

.../...

- 1) Accélération longitudinale inférieure ou égale à  $1,3 \text{ m/s}^2$
- 2) Accélération latérale (non compensé par le dévers) inférieure ou égale à  $1,3 \text{ m/s}^2$
- 3) Accélération verticale inférieure ou égale à  $0,33 \text{ m/s}^2$
- 4) Jerk longitudinal inférieur ou égal à  $0,65 \text{ m/s}^3$
- 5) Jerk latéral inférieur ou égal à  $0,65 \text{ m/s}^3$
- 6) Jerk vertical inférieur ou égal à  $0,17 \text{ m/s}^3$
- 7) Gauche (c'est à dire la variation du dévers par seconde, variation ressentie par le passager) inférieur ou égal à  $6 \text{ mm/m}$ .

#### C.2.2.2. Bruit intérieur

Le niveau moyen de bruit mesuré à 1,2 mètre au dessus du plancher du véhicule ne dépasse pas 76 dB en moyenne sur 54 quelque soit le mode de traction : accélération, marche sur l'erre ou freinage sur une voie en alignement droit et en champ libre.

#### C.2.2.3. Nivellement

Le véhicule sera doté d'un dispositif régulant la hauteur du plancher par rapport à la voie. Ce dispositif devra satisfaire aux conditions décrites dans le paragraphe B.10.

Par ailleurs, un dispositif de nivellement devra être prévu pour obtenir une hauteur identique de caisse par rapport aux essieux en station, quelle que soit la charge de la rame.

#### C.2.2.4. Air conditionné (option)

L'entrepreneur proposera et chiffrera un dispositif d'air conditionné sur chaque véhicule.

Ce dispositif sera dimensionné pour lorsque le véhicule circule normalement en charge C1 sur la ligne (avec arrêts en station) la température du véhicule soit au plus de  $27^\circ\text{C}$  avec une humidité relative de au plus 60 % lorsque la température extérieure est de  $33^\circ\text{C}$  (températures de l'air sec).

La circulation d'air devra être de  $3500 \text{ m}^3/\text{h}$  avec  $8 \text{ m}^3/\text{h}/\text{personne}$  d'air neuf en charge C1.

### C.2.3. Compartiment passager

#### C.2.3.1. Revêtement Intérieur

Les revêtements intérieurs doivent répondre aux exigences suivantes :

- l'aspect intérieur doit être agréable, sobre et harmonieux. Une représentation en sera remise ;
- il est fait exclusivement usage de matériaux présentant des surfaces visibles peu salissantes, résistant bien à l'usure et aux rayures et faciles à entretenir (panneaux stratifiés, tôles prélaquées, etc.) ;
- les ouvertures (portes d'armoires, trappes) doivent s'intégrer au maximum dans le décor interne.

#### C.2.3.2. Plancher

Le plancher est établi pour répondre à la charge des voyageurs et des équipements soumis aux sollicitations normales et exceptionnelles.

La présence d'humidité ne doit pas entraîner de détérioration du plancher ainsi que des structures environnantes et des éléments qui seront fixés sous plancher.

Il est précisé que ce plancher et les parois des coffres situés sous les sièges, devront jouer le rôle de cloison coupe-feu isolant le compartiment voyageurs des organes de puissance pendant une durée de 15 minutes.

#### C.2.3.3. Baies vitrées

Les baies ne sont pas ouvrantes.

L'entrepreneur proposera leur nombre et leur emplacement. Il étudiera le verre à utiliser ainsi que le montage des vitres afin d'assurer une sécurité complète contre les déboitements intempestifs sous les plus grands efforts pouvant venir de l'intérieur de la cabine ou sous l'effet du vent. Il s'agira de verre dit "de sécurité".

#### C.2.3.4. Sièges

Les places assises comportent un siège et un dossier (les strapontins ne comportant qu'un siège (le cas échéant)).

L'entrepreneur étudiera des profils assurant une assise aussi confortable que possible aux voyageurs ; il indiquera les caractéristiques des matériaux utilisés qui devront être facilement nettoyables, ainsi que les moyens de fixation prévus pour les sièges.

.../...

#### C.2.3.5. Barres d'appui

Le véhicule sera équipé de barres d'appui en nombre suffisant pour permettre :

- d'une part aux voyageurs de cheminer en toute sécurité dans les voitures,
- d'autre part aux voyageurs debout de se tenir en position stable dans les rames en marche.

#### C.2.3.6. Aménagements Divers

L'entrepreneur devra prévoir à l'intérieur du véhicule :

- une commande d'évacuation d'urgence par porte ; l'action sur cette commande devra déclencher en sécurité :
  - . le freinage d'urgence de la rame,
  - . le déverrouillage et la libération temporisés de la porte considérée
  - . la transmission de l'information correspondante au poste de contrôle.
- deux interphones par voiture permettant la communication phonique avec le poste central de contrôle ;
- une sonorisation permettant la diffusion de messages aux voyageurs ;
- un extincteur par véhicule ;
- une signalétique appropriée, particulièrement soignée, indiquant aux voyageurs les procédures d'évacuation d'urgence.
- des rack à bagages

.../...

#### C.2.4. Dispositions Anti-feu

##### C.2.4.1. Extincteurs

Chaque véhicule comportera deux extincteurs de type homologué à l'intérieur du compartiment passagers du véhicule avec un étiquetage approprié (voir § C.2.3.6).

##### C.2.4.2. Evacuation d'Urgence du Véhicule

Chaque porte du véhicule sera munie d'une poignée d'évacuation d'urgence qui permettra l'évacuation des passagers en cas d'incendie. Chaque poignée sera bien visible, accessible aux passagers et comportera un étiquetage approprié. L'action sur une poignée d'évacuation d'urgence provoquera l'arrêt du véhicule en freinage d'urgence, le déverrouillage temporisé de la porte correspondante et la coupure de la haute tension (courant de traction) dans la zone où se trouve le véhicule. La temporisation du déverrouillage de la porte sera calculée de manière à ce que tout véhicule circulant au voisinage de cette même zone se trouve à l'arrêt complet à la fin de la temporisation. Ceci permettra aux voyageurs d'évacuer le véhicule en sécurité vis à vis de la haute tension en ligne et des autres véhicules circulant sur la ligne. Une fois le déverrouillage de la porte effectué, les voyageurs pourront ouvrir cette porte manuellement.

#### C.2.5. Caractéristiques des éléments du véhicule

L'entrepreneur décrira les éléments constitutifs du véhicule tels que :

- la caisse
- les moteurs
- les portes
- le pupitre de commande manuelle
- les coupleurs

et devra respecter les recommandations concernant les dispositifs suivants : freins, batterie, train de roulement, décrites dans les paragraphes suivants.

##### C.2.5.1. Système de freinage

Le système de freinage du véhicule doit remplir les trois fonctions de freinage suivantes :

- freinage de service (freinage "normal"),
- freinage d'urgence,
- freinage d'immobilisation.

.../...



Le freinage normal du véhicule doit satisfaire aux performances décrites au paragraphe C.2.1.3 quelle que soit la charge du véhicule de C0 à C3. Le freinage normal devra faire appel aux moteurs de traction fonctionnant en génératrices. L'énergie fournie dans ces conditions par les moteurs devra être récupérée sur le réseau d'alimentation en courant de traction. L'entrepreneur précisera le taux de récupération.

L'entrepreneur s'assurera qu'en cas de surcharge exceptionnelle (C3) et d'un freinage à partir de la vitesse maximum possible, le système de freinage ne risque pas de dépasser les limites admises concernant l'échauffement.

Le freinage d'urgence doit pouvoir être déclenché soit par l'automatisme de conduite, soit par un voyageur actionnant le dispositif d'évacuation (voir paragraphe C.2.4.2.2).

Les performances du système de freinage d'urgence doivent être conformes à ce qui est décrit dans le paragraphe C.2.1.3.

En cas de freinage d'urgence, aucun courant ne doit parcourir les moteurs. Ce freinage en sécurité positive ne doit nécessiter ni présence d'énergie électrique ou hydraulique ou pneumatique à bord du véhicule ni apport d'énergie extérieure.

L'actionnement du frein d'urgence sera irrévocable jusqu'à l'arrêt complet du train. Cet actionnement entraînera une télémessure d'alarme transmise aux opérateurs du PCC. Après freinage d'urgence, le redémarrage du véhicule ne sera possible qu'après acquittement de l'alarme par un opérateur du PCC et si la cause de l'alarme a disparu ou par l'agent technique qui conduit le véhicule en cas de conduite manuelle (voir paragraphe C.2.5.10) sauf en cas de freinage du aux sécurités embarquées.

Ce dispositif de freinage d'immobilisation permettra d'immobiliser le véhicule quelle que soit sa position sur la ligne, quelle que soit sa charge (C0 à C3) et quelles que soient les conditions météorologiques prévues au paragraphe B.2. Ce freinage d'immobilisation ne doit pas nécessiter une présence d'énergie ni sur la ligne ni à bord du véhicule.

L'entrepreneur s'assurera qu'en cas de charge C2, 5 freinages d'urgence consécutifs de 80 à 0 km/h, avec les disques, ne risquent pas de faire dépasser au système de freinage les limites d'échauffement.

.../...

#### C.2.5.2. Batteries et Chargeurs de batteries

Le véhicule sera équipé de batteries assurant l'alimentation de secours des équipements suivants :

- a) éclairage intérieur de secours
- b) automatismes embarqués
- c) liaison phonique

Les batteries seront dimensionnées pour fournir l'énergie de secours nécessaire au fonctionnement des équipements mentionnés ci-dessus pendant 30 minutes au moins.

Le dispositif de charge des batteries devra comprendre la surveillance permanente de la tension des batteries afin d'éviter les surtensions ou sous-tensions.

#### C.2.5.3. Mise à la terre

Pour une personne se trouvant sur le quai de station, la différence de potentiel entre cette personne et le véhicule sera inférieure à 50 volts. Ceci sera réalisé grâce à des méthodes usuelles dans l'industrie ferroviaire européenne.

#### C.2.5.4. Trains de Roulement et Suspensions

Des traverses permettant de détecter la présence d'obstacles sur la voie seront prévues sur tous les trains.

Elles seront asservies à un contact électrique déclenchant l'arrêt d'urgence en cas de choc avec un obstacle présent sur la voie.

Dans le cas de roulement sur pneumatiques, l'entrepreneur proposera un dispositif de secours pour la sustentation et le guidage en cas de crevaisson des pneumatiques.

Ce dispositif aura pour effet de limiter l'aïffaissement du pneu correspondant et sera suffisamment résistant pour permettre le service normal du véhicule jusqu'au dispositif de détection le plus proche, avec la charge exceptionnelle du véhicule (C2).

En cas de roulement sur pneumatique, un dispositif de détection de dégonflement de roues porteuses et de guidage (le cas échéant), situé au sol à proximité des terminus activera une signalisation au poste central et bloquera obligatoirement le train à la station terminus sans intervention des opérateurs du poste de commande.

#### C.2.5.5. Portes d'Accès

Les portes doivent pouvoir s'effacer entièrement lors de l'ouverture ; elles seront suspendues. L'entrepreneur précisera la construction de chaque vantail qui devra nécessairement comporter une baie vitrée non ouvrante, ainsi que le mode de suspension et de guidage (partie supérieure et inférieure).

.../...

### C.3. COMMUNICATIONS

Le système de communication doit permettre à l'opérateur du centre de contrôle d'établir et/ou de maintenir un contact audio et vidéo avec les différents éléments du système y compris les stations et le garage atelier. Le système de communication doit comprendre :

- sonorisation véhicule (vers un ou plusieurs trains)
- interphonie véhicule pour les voyageurs
- sonorisation des stations (vers une ou plusieurs stations)
- interphonie de station pour les voyageurs
- réseau radio (pour l'exploitation et la maintenance)
- circuit de télévision (CCTV)

Le système de communication doit être géré par les opérateurs du centre de contrôle à l'aide des pupitres de console aloués à la communication. Ce système comprendra des moyens d'enregistrement (audio, vidéo).

#### C.3.1. Sonorisation véhicule

Un système doit être installé pour permettre à l'opérateur de faire une annonce dans les trains. Ce système doit pouvoir atteindre le train sélectionné quelle que soit sa position sur la ligne ou dans le garage atelier.

Ce système permet en retour d'obtenir "le bruit ambiant" du véhicule grâce à des micros à l'intérieur du véhicule.

#### C.3.2. Interphonie véhicule

Un système de communication bidirectionnel doit être prévue à l'usage des passagers et du personnel à bord du véhicule. Ce système doit permettre à l'opérateur de répondre à un voyageur appelant d'un train. Le numéro du train doit apparaître sur le pupitre de l'opérateur du PCC.

#### C.3.3. Sonorisation des stations

Une ligne hardware de communication monodirectionnelle doit être installée pour que l'opérateur du centre de contrôle puisse faire des annonces. Ce système doit couvrir toutes les stations et le garage atelier. Le système doit permettre de sélectionner plusieurs stations pour y faire une annonce simultanée.

#### C.3.4. Interphonie de station

Un réseau d'interphones doit permettre une liaison bidirectionnelle entre le PCC et toutes les stations. Ces interphones sont situés sur chacun des quais et des halls des stations.

#### C.3.5. Système de communication radio

Ce système doit permettre d'établir une communication bidirectionnelle entre l'opérateur du centre de contrôle et un agent de maintenance ou entre 2 agents de maintenance. Ce système doit utiliser 2 fréquences porteuses, une pour les communications poste mobile - poste mobile, une autre pour les communications poste mobile - centre de contrôle.

#### C.3.6. Circuit de télévision

Ce circuit doit être conçu pour permettre la surveillance vidéo, à partir du centre de contrôle,

- des stations
- des distributeurs
- des escaliers mécaniques et des ascenseurs
- des grilles d'accès
- du faisceau d'entrée sortie du garage
- des tiroirs des terminus définitifs
- de la zone de retrait des trains de la ligne vers le garage

.../...

#### C.4. DISTRIBUTION D'ENERGIE

##### C.4.1. Poste de livraison

Le Client fournira l'énergie à deux postes de livraison dont l'un sera situé au niveau du garage-atelier.

L'énergie sera apportée par le client à chaque poste de livraison par deux câbles haute tension redondants. Chaque câble sera ensuite doté des protections nécessaires par l'entrepreneur.

Les deux postes de livraison sont à la charge de l'entrepreneur. Chaque poste de livraison contiendra si nécessaire des transformateurs de tension. Ces transformateurs seront redondants, un seul pouvant assurer la fourniture d'énergie normale.

Chaque poste de livraison alimentera :

- les postes éclairage force au niveau de chaque station
- le réseau de traction par l'intermédiaire de tous les postes de redressement.

##### C.4.2. Postes Eclairage Force dans les stations

Chaque station comportera un poste éclairage force. Ce poste éclairage force comprendra deux unités de transformation moyenne tension/ basse tension avec les protections nécessaires. Chaque unité sera alimentée par un câble moyenne tension différent. Chaque unité sera dimensionnée de manière à fournir l'alimentation totale nécessaire à la station passagers, y compris l'éclairage, l'épuisement d'eau (le cas échéant) de chaque demi interstation qui flanque la station, y compris la ventilation des deux interstations qui flanquent la station.

En cas de défaillance d'un des deux câbles d'alimentation de la moyenne tension ou en cas de défaillance d'une des deux unités de transformation, le transfert sur l'autre câble et l'autre unité se fera automatiquement.

##### C.4.3. Distribution de l'énergie de traction

###### C.4.3.1. Performances du système

Le système doit être conçu de telle sorte que la disponibilité réponde aux spécifications du paragraphe B.8.

###### C.4.3.2. Postes de redressement

Ces postes doivent comprendre les transformateurs, redresseurs, commutateurs nécessaires pour convertir la tension de distribution alternative en tension de traction, pour piloter et contrôler le flux d'énergie vers le rail d'alimentation. En fonctionnement normal le facteur de puissance moyen, sur 30 minutes, doit être au minimum égal à 0,90. Si ce n'est pas le cas, l'entrepreneur doit fournir les équipements pour corriger le facteur de puissance.

.../...

#### C.4.3.3. Spécifications

L'entrepreneur doit déterminer la taille et l'emplacement des postes de redressement requis par le système pour supporter la demande d'énergie nécessaire lors des pointes.

Le nombre de postes de redressement répartis sur la ligne et leur puissance nominale seront tels que la défaillance d'un de ces postes n'empêche pas le fonctionnement normal du système.

#### C.4.3.4. Rail d'alimentation

Les rails d'alimentation doivent être rigides et montés près du sol le long de la voie.

Ils doivent être isolés des structures où ils sont fixés et conçus pour faciliter la fixation et la liaison avec le feeder.

Les joints de dilatation du rail d'alimentation doivent être régulièrement disposés. Au niveau du joint, la continuité électrique doit être assurée par des tresses électriques et la continuité mécanique par des éléments coulissants.

Entre 2 joints le rail doit être ancré à la voie et les points d'ancrage doivent permettre un remplacement facile des sections endommagées.

#### C.4.3.5. Isolation

Le matériau d'isolation doit avoir des propriétés diélectriques et des caractéristiques mécaniques lui permettant de résister aux efforts auxquels sont soumis les rails d'alimentation.

#### C.4.4. Sectionnement

Chaque poste d'éclairage force (voir C.4.2.) doit être équipé de sectionneurs contrôlant l'alimentation des 2 transformateurs et pouvant être actionnés localement ou par télécommande.

Les postes de sectionnement compatibles avec les services provisoires doivent être situés le long de la voie pour que le centre de contrôle puisse les piloter et que les agents de maintenance puissent facilement ouvrir le circuit.

Des sectionneurs d'arrêt d'urgence doivent être installés dans chaque station pour permettre la coupure de l'alimentation électrique. Ces sectionneurs ne doivent couper l'alimentation que sur un tronçon de voie.

.../...

#### C.4.5. Prise de terre et protection électrique

Le système de distribution d'électricité doit être conçu de telle sorte que la sécurité maximale pour le personnel, les usagers et le système soit l'objectif principal. La conception doit rendre très improbable l'apparition d'une situation mettant en jeu la sécurité du personnel et des passagers.

Pour les moteurs à courant alternatif, un rail relié à la terre doit être prévu pour assurer une mise à la terre continue du véhicule. Les éléments en métal des stations et de la voie et toute partie métallique exposée au contact des voyageurs doit être reliée à la terre selon les règles de l'art de l'industrie ferroviaire.

Pour les systèmes à moteur à courant continu, le rail négatif ne doit pas avoir plus d'un seul point relié à la terre et le dispositif de mise à la terre doit satisfaire aux exigences du paragraphe C.2.5.3.

#### C.5. POSTE CENTRAL DE CONTROLE PCC

Le centre de contrôle permet aux opérateurs de superviser les opérations sur la ligne et dans la zone de garage.

La majeure partie des équipements nécessaires à l'activité de supervision est constituée par la console centrale et les systèmes de visualisation (tableau de contrôle optique, écran TV, console) requis pour remplir correctement les fonctions suivantes :

- a) Surveillance station météo (voir B.2.2.)
- b) Supervision des équipements en ligne (voir B.6.2.4.)
- c) Supervision des train (voir B.6.2.3.)
- d) Supervision du système de communication (voir C.3)
- e) Supervision de la distribution d'énergie (voir C.4)

Tous les équipements dans le centre de contrôle doivent être alimentés par des alimentations de secours pouvant fournir l'énergie pendant au moins une heure après la coupure d'électricité.

La conception du centre de contrôle doit tenir compte de la surface nécessaire aux équipements supplémentaires si une extension du système est prévue.

.../...

## C.6. EQUIPEMENTS DE STATION

### C.6.1. Façades de Quai

Le système proposé doit comprendre des façades de quai dans toutes les stations afin d'assurer une sécurité totale des voyageurs se trouvant sur les quais.

Les façades de quais comprendront des portes automatiques et des portes de secours.

#### C.6.1.1. Rôle des façades de quai

Le rôle des façades de quai, comprenant portes automatiques et portes secours, est double :

- isoler complètement le quai, où stationnent les passagers, de la voie,
- n'autoriser les mouvements entre les véhicules et le quai, que lorsque la rame est complètement arrêtée.

Seules les portes automatiques permettront le transfert de passagers entre quais et véhicules. Néanmoins, dans le cas d'arrêt de la rame en dehors de la plage maximale admissible pour l'ouverture automatique des portes, l'évacuation des passagers se fera par les portes secours.

Les portes automatiques seront coulissantes et les portes secours pivotantes autour d'un axe vertical.

Toute porte automatique de la façade de quai et du véhicule devra comporter deux vantaux.

#### C.6.1.2. Description des Façades de Quai

Situés en bordure de quai, les façades doivent être implantées de telle sorte que, lorsque un train s'arrête en station au point d'arrêt optimal (voir § B.6.2.1.2), les portes du train coïncident avec les portes automatiques de quai. Le nombre des portes automatiques de quai sera donc compatible avec le nombre maximal de véhicules par train.

Le plan extérieur, côté voie, des façades de quai doit être situé au plus près du plan de tangence du gabarit dynamique du véhicule.

En particulier, il ne devra pas être possible à une personne de rester immobilisée entre le véhicule et la façade de quai lorsque les portes se ferment.

La largeur de passage dégagée par chaque porte automatique sera au moins égale à la largeur de passage dégagée par la porte du véhicule en vis à vis augmentée de 30 cm.

Enfin, à chaque extrémité de la façade de quai sera implantée une porte de service similaire aux portes de secours. Cette porte de service servira de passage aux personnes venant sur la voie.

.../...



### C.6.1.3. Fonctionnement des Façades de quai

#### C.6.1.3.1. Fréquence de Fonctionnement

Les façades de quai seront dimensionnées de manière à fonctionner avec la fréquence maximale que l'entrepreneur déterminera à partir de l'étude système du § B.5.

#### C.6.1.3.2. Séquences d'Exploitation

On distingue plusieurs séquences d'exploitation correspondant à plusieurs positions d'arrêt du train en station. L'arrêt en station sera fait avec la précision indiquée au § B.6.

##### a) Position normale d'arrêt

Les portes automatiques de quai dégagent une largeur de passage supérieure de 30 cm au moins par rapport à la largeur de passage dégagée par les portes du véhicules, le train sera considéré comme normalement arrêté lorsque la largeur de passage offerte aux voyageurs est égale à la largeur de passage dégagée par les portes du véhicule.

Cette disposition autorise une tolérance d'arrêt du train de  $\pm 15$  cm par rapport à la position d'arrêt optimale (voir § B.7.2.1.2).  
L'ouverture et la fermeture des portes coulissantes est automatique.

##### b) Position décalée

Le train peut aussi s'arrêter dans une plage décalée. L'ouverture et la fermeture automatique se fait également mais au prix d'une réduction de la largeur de passage offerte aux voyageurs.

Cette plage décalée correspond à un décalage maximal de l'axe des portes véhicules de  $\pm x$  cm par rapport à l'axe des portes automatiques du quai.

##### c) Position "Mode dégradé"

Lorsque le train s'arrête au delà de cette tolérance de  $\pm x$  cm, l'ouverture des portes automatiques de quai n'est plus possible. La procédure consiste alors à ouvrir manuellement les portes secours, se trouvant en face des portes du véhicule. La manoeuvre se fait par une poussée sur la barre "anti-panique" des portes de secours. Les portes de secours seront dotées d'un système de rappel automatique assurant leur fermeture et verrouillage. L'entrepreneur indiquera la valeur de  $x$ .

.../...

#### C.6.1.3.3. Modes Opératoires

Les portes des façades de quai sont normalement fermées et verrouillées. Elles ne s'ouvrent qu'en présence de la rame et celle-ci ne peut repartir que si les portes automatiques, les portes de secours et les portes véhicules sont fermées et verrouillées.

La rame n'entrera en station, également, que si toutes ces conditions sont remplies (voir § B.6.2.2.8).

##### a) Mode normal

###### a.1) Ouverture-Fermeture

Les temps d'ouverture et fermeture seront tels qu'ils doivent correspondre aux impératifs liés au système et au temps d'arrêt du véhicule en station. Les temps de manoeuvre seront réglables de manière à respecter, d'une part les contraintes d'énergie cinétique, d'autre part le synchronisme des mouvements des portes du quai.

L'ouverture est amortie en fin de course par un dispositif incorporé à la partie électrique de chaque porte. La porte est maintenue ouverte pendant le temps d'échange des passagers.

La fermeture des portes automatiques de quai s'effectuera en deux temps, le deuxième en vitesse plus lente jusqu'au verrouillage.

###### a.2) Verrouillage

En fin de fermeture, la porte automatique sera verrouillée mécaniquement.

##### b) Mode manuel

###### b.1) Ouverture manuelle depuis le véhicule en station

En cas d'arrêt d'une rame en face des portes automatiques de quai, non suivie de l'ouverture de l'une ou de la totalité de ces dernières, les voyageurs doivent pouvoir sortir et accéder au quai proprement dit.

Pour ce faire, un loquet ou tout autre système, intégré dans chaque porte automatique doit pouvoir être manoeuvré.

Cette manoeuvre aura pour effet de déverrouiller la porte mécaniquement. Il doit être possible ensuite d'ouvrir la porte manuellement afin de permettre le transfert de passagers.

.../...

### b.2) Ouverture manuelle depuis le quai

Chaque porte de la façade de quai (automatique ou de secours) doit pouvoir être manoeuvrée et ouverte depuis le quai.

Cette manoeuvre, étant exceptionnelle, est réservée uniquement aux agents d'intervention habilités. Elle se fera au moyen d'une clé de service dont la manoeuvre aura les mêmes conséquences que l'action sur le loquet depuis la voie pour les portes automatiques ou l'action de la barre anti-panique pour les portes de secours. Après déverrouillage l'ouverture des portes sera manuelle.

### b.3) Fermeture

La fermeture des portes automatiques après les manoeuvres b.1) et b.2) décrites ci-dessus, doit se faire automatiquement après une temporisation réglable comprise entre 3 et 8 secondes.

### c) Fermeture mode secours

En cas de rupture de l'alimentation principale, un dispositif de sécurité supplémentaire installé sur chaque porte automatique doit permettre :

- la fermeture des portes après une ouverture manuelle depuis le véhicule ou depuis le quai,
- d'entrer en action après une panne d'alimentation, notamment après la phase d'ouverture. Dans le cas du retour de l'alimentation principale avant le démarrage de la phase de fermeture, celle-ci devra se faire de la même façon qu'une fermeture normale.

Ce dispositif ne doit pas, par son influence, compromettre le respect des deux contraintes : de l'énergie cinétique maximale à la fermeture et du temps minimum de manoeuvre.

En revanche, il doit avoir une force résiduelle en fin de fermeture capable de réarmer le dispositif de verrouillage.

Le dispositif de fermeture de secours aura une autonomie permettant un minimum de 5 fermetures.

#### C.6.1.3.4. Energie cinétique

Les masses des parties mobiles seront telles que l'énergie cinétique par porte automatique ou vantail de porte automatique ne devra pas excéder 10 joules, calculée à la vitesse maximale de fermeture.

#### C.6.1.3.5. Arrêt sur obstacle

En cas de présence d'un corps ou objet sur le trajet de fermeture d'une porte automatique, il y aura détection d'obstacle qui entraînera la réduction de l'effort de fermeture de la porte. Cependant, le dispositif devra prévenir le blocage volontaire de la fermeture automatique d'une porte de quai par un passager. L'entrepreneur prévoira donc le système décrit ci-après.

.../...

44

A partir de la détection d'obstacle, le moteur maintiendra son effort de poussée normal pendant un temps inférieur à une seconde. Au bout de ce laps de temps, l'effort de poussée sera annulé pendant une durée réglable de 1 à 4 secondes. A la suite de cela, le moteur reprendra son effort de poussée normal et une nouvelle fermeture de cette porte sera tentée.  
Le cycle décrit ci-dessous se renouvellera jusqu'à la disparition de l'obstacle.

Le dispositif de détection d'obstacle sera actif quelle que soit la position de la porte automatique.

#### C.6.1.3.6. Verrouillage

L'ensemble devra être conçu de telle sorte :

- qu'il ne puisse y avoir d'information "portes verrouillées" si les portes ne sont pas réellement verrouillées (voir § B.6.2.2.8).
- qu'il ne puisse y avoir un verrouillage sur un obstacle cylindrique de diamètre supérieur ou égal à 30 mm à 20 cm du sol.

Le déverrouillage anormal d'une porte automatique ou d'une porte de secours fera l'objet d'une télémessure d'alarme envoyée aux opérateurs du PCC. Le déverrouillage anormal empêchera tout train d'entrer en station ou le départ d'un train qui se trouve en station. Un train qui est en train de pénétrer dans la station devra s'arrêter en freinage d'urgence.

#### C.6.1.4. Pupitre manuel de station

Pour pallier certaines avaries du déroulement automatique de la séquence d'arrêt en station, un pupitre manuel de station est implanté sur chaque quai de station. Ce dispositif est décrit au § B.9.3.

La disposition de ce pupitre sera telle qu'un technicien utilisant ce pupitre ait une vision sans obstacle de l'ensemble de la façade de quai. Il y aura un pupitre par façade de quai.

#### C.6.2. Hauts Parleurs et Buzzers

Les hauts parleurs assurant la sonorisation du quai de station et les buzzers annonçant la fermeture imminente des portes (voir § C.3.3) seront intégrés à la façade de quai.

#### C.6.3. Nez de Quai (le cas échéant)

La fonction du bastaing de nez de quai est :

- . de servir de butée à la caisse des véhicules dans le cas accidentel où le gabarit entre l'équipement et le quai serait engagé.
- . de rattraper les tolérances d'exécution du génie civil des stations par rapport aux axes réels de la voie.

.../...

#### C.6.4. Interface véhicule/station

L'entrepreneur calculera le gabarit dynamique sécuritaire des véhicules en station. Ce gabarit dynamique est défini comme l'enveloppe des gabarits dynamiques qui résultent d'événements dont la probabilité d'occurrence est supérieure ou égale à  $10^{-9}$  par heure x élément.

Le positionnement des équipements de station (portes palières) sera effectué de manière à ce que ces équipements soient en dehors du gabarit dynamique sécuritaire en station.

D'autre part, la position du véhicule par rapport au quai devra satisfaire aux exigences du B.10.

Il est admis que le bas de caisse du véhicule muni de patins renforcés puisse interférer avec le nez de quai (le cas échéant) (voir § C.6.3).

#### C.6.5. Climatisation

En cas de climatisation des stations aériennes, les façades de quai devront permettre de minimiser les échanges thermiques entre la station et l'extérieur.

#### C.7. ALIMENTATION DE SECOURS

Une alimentation de secours basée sur des batteries doit être prévue pour, en cas de problèmes, alimenter en électricité :

- le système de contrôle automatique
- le système de communication
- le système d'acquisition de données
- le système de sonorisation
- les systèmes de surveillance vidéo
- les détecteurs d'incendie

Les batteries de cette alimentation doivent permettre de fournir de l'énergie aux différents systèmes ci-dessus pendant au moins une heure après la coupure d'électricité.

Des alimentations de secours séparées doivent être prévues pour chaque station et pour le garage atelier. Ces alimentations doivent avoir une autonomie d'au moins une heure pour fournir en électricité l'éclairage de secours de la ligne et des stations.

.../...

## C.8. GARAGE ATELIER

L'entrepreneur doit concevoir le garage atelier pour permettre le parking et la maintenance des véhicules nécessaires lors de l'ouverture initiale de la ligne mais aussi prévoir des possibilités d'extension en cas de croissance du parc de véhicules.

### C.8.1. Site du garage atelier

La maintenance et le garage des véhicules doivent être réalisés au garage atelier implanté sur un site choisi avec le client.

Le garage atelier doit comprendre :

- un garage couvert avec des installations pour garer les véhicules, les nettoyer à l'intérieur et faire une inspection sommaire,
- un atelier, avec des voies d'accès, pour les opérations de maintenance sur le véhicule,
- un poste de lavage automatique,
- une voie test avec des pseudo stations à chaque extrémité,
- un poste de lavage de nettoyage haute pression,
- un emplacement pour le garage du train de travaux et du véhicule d'intervention,
- un centre de contrôle de la piste d'essai équipé pour superviser les mouvements des trains en essai,
- une zone de transition (conduite manuelle/conduite automatique) sur les voies menant à l'atelier (zone parking atelier)
- une zone parking (injection retrait) pour les véhicules prêts à être injectés en ligne. Cette zone doit être proche de la ligne principale.

### C.8.2. Manoeuvres sur le site

Tous les mouvements des trains dans la zone garage atelier peuvent être commandés de 3 façons dépendantes de l'endroit où se trouve le train :

- a) le garage et la zone parking (injection retrait) où les véhicules sont commandés à partir du PCC
- b) la voie d'essais où les mouvements des trains sont contrôlés par le pupitre, du centre de contrôle dédié aux essais
- c) l'atelier, la zone d'accès à la voie d'essai, et la zone de parking atelier (quai de reprise manuelle) où les trains sont conduits à vue et où les aiguillages sont commandés à partir d'un pupitre de contrôle près de l'atelier.

.../...

#### C.8.2.1. Injection des trains

Les opérateurs du centre de contrôle sélectionneront les trains à injecter en se basant sur les tables journalières et les véhicules disponibles au garage. Quand un train qui est au garage doit être mis en service, il doit être dirigé par télécommande par un opérateur du PCC vers le parking injection d'où il peut être automatiquement mis en service.

#### C.8.2.2. Retrait

Des trains peuvent être automatiquement retirés du service du fait des prévisions de trafic décroissantes mais aussi par les opérateurs du PCC.

Quelquesoit la raison du retrait, les trains sont dirigés par les opérateurs du PCC depuis la zone parking, retrait jusqu'au garage ou parking atelier (où les trains seront repris manuellement).

#### C.8.3. Equipements du garage atelier

##### C.8.3.1. Généralités

L'entrepreneur doit pourvoir le garage atelier en équipements de voie (tels que prévus au paragraphe C.1), en équipements de contrôle automatique (voir B.6), en équipements de communication (voir C.3), en équipements d'alimentation (voir C.4), d'un pupitre de contrôle des aiguillages et d'un centre de contrôle de voie d'essais tels que décrits précédemment.

##### C.8.3.2. Construction de l'atelier

L'atelier doit comprendre au minimum :

- des lignes de vérins,
- des ateliers de maintenance électrique et électronique
- un atelier mécanique
- des magasins de pièces de rechange
- des bureaux
- des locaux de service (ex : réfectoire, vestiaires, toilettes, etc... )

.../...

#### C.8.3.3. Train de travaux

L'entrepreneur fournira un train de travaux formé d'un véhicule tracteur, et, si nécessaire, d'un ou plusieurs plateaux attelés. Le véhicule tracteur sera auto-tracté (moteur diesel par exemple). Ce véhicule sera conduit manuellement. Il sera muni de tous les équipements nécessaires pour que sa conduite en ligne parmi d'autres véhicules en conduite automatique normale soit possible. Notamment, il ne devra pas causer de préjudice à la sécurité des véhicules en conduite automatique, réciproquement, ces véhicules en conduite automatique ne constituent pas de danger pour la sécurité du train de travaux.

Le train de travaux est destiné à la maintenance de la voie en général : rails/pistes de roulement, rails/barres de guidage, feeders de courant de traction, isolateurs, aiguillages, équipements d'automatismes situés sur la voie, etc...

#### C.8.3.4. Véhicule d'intervention

L'entrepreneur fournira un véhicule auto-tracté (moteur diesel par exemple) muni de coupleurs à l'avant et à l'arrière et d'un équipement de guidage. Ce véhicule sera conduit manuellement.

Ce véhicule devra être capable de tracter ou pousser un train en panne totale de motorisation sur la ligne sans causer aucune contrainte anormale à la voie. Ce véhicule sera aussi capable de manoeuvrer les véhicules dans l'atelier de maintenance pour les besoins de la maintenance.

#### C.8.3.5. Poste de lavage automatique

Le poste de lavage automatique doit être situé près du garage atelier, il doit être commandé par le PCC mais un pupitre de commande manuelle doit être prévu à côté du poste. Une liaison de communication doit être prévue entre ce pupitre et le PCC.

Le poste de lavage doit permettre de nettoyer les côtés, le devant, le toit et l'arrière du véhicule ou train.

#### C.8.3.6. Garage

Le garage couvert doit permettre de parquer toute la flotte de véhicules.

Des plateformes doivent permettre d'accéder à l'intérieur de tous les véhicules pour les nettoyer et faire la maintenance de l'éclairage par exemple.

.../...



## D. TESTS

L'entrepreneur testera les différents sous-systèmes au cours de l'avancement du projet : fabrication, assemblage et installation. Après installation, tous les sous-systèmes seront testés individuellement ; ensuite, le système dans son ensemble sera testé.

### D.1. Planning des tests

L'entrepreneur présentera un planning des tests qu'il compte effectuer avant la mise en service du métro. Il distinguera notamment les tests concernant les équipements suivants :

- équipements de voie
- moyens de communication en station (sonorisation, télésurveillance, etc ...)
- véhicules
- équipements fournissant l'énergie de traction
- automatismes
- équipements d'opérations et maintenance

Le planning fera aussi apparaître les tests dynamiques pour l'ensemble du système ainsi que les tests de vérification des performances du système.

### D.2. Descriptions des Tests Sous-Système

L'entrepreneur décrira les tests des différents sous-équipements pour les phases de fabrication et d'installation. Ces tests comprendront ce qui est décrit ci-après sans être limités à cette description.

L'entrepreneur précisera notamment le lieu où seront effectués les tests (chez le sous-traitant, sur site, etc... ).

#### D.2.1. Voie et Equipements de Voie

Les équipements de voie assurent notamment le guidage, l'alimentation en courant de traction et permettent la propulsion du véhicule. L'entrepreneur décrira les tests mécaniques et électriques qui seront pratiqués sur les différents équipements de voie.

#### D.2.2. Moyens de Communication

Les tests des moyens de communication concerneront notamment les sous-ensembles suivants :

- sonorisation
- interphonie
- liaisons radio
- circuit vidéo

.../...

#### D.2.3. Véhicules

Lors de la livraison d'un véhicule sur le site du projet, les tests devront être effectués sur les éléments suivants :

- confort et environnement (bruit, ventilation, éclairage, vibrations)
- freinage
- portes
- fonctionnement en conduite manuelle à vue
- performances propulsion
- accostage
- fonctions de sécurité embarqués

#### D.2.4. Equipement fournissant l'Energie Traction

L'Entrepreneur décrira les tests électriques effectués.

#### D.2.5. Automatismes

Les tests des automatismes effectués sur site devront permettre de vérifier la conformité aux spécifications fonctionnelles.

#### D.2.6. Equipements de Maintenance

Les équipements spécifiques utilisés pour la maintenance feront l'objet de tests :

- train de travaux (bruit, propulsion, freinage, gabarit ... )
- véhicule d'intervention (bruit, propulsion, freinage, effort de couplage, gabarit, ... )
- vérins hydrauliques
- machines à laver

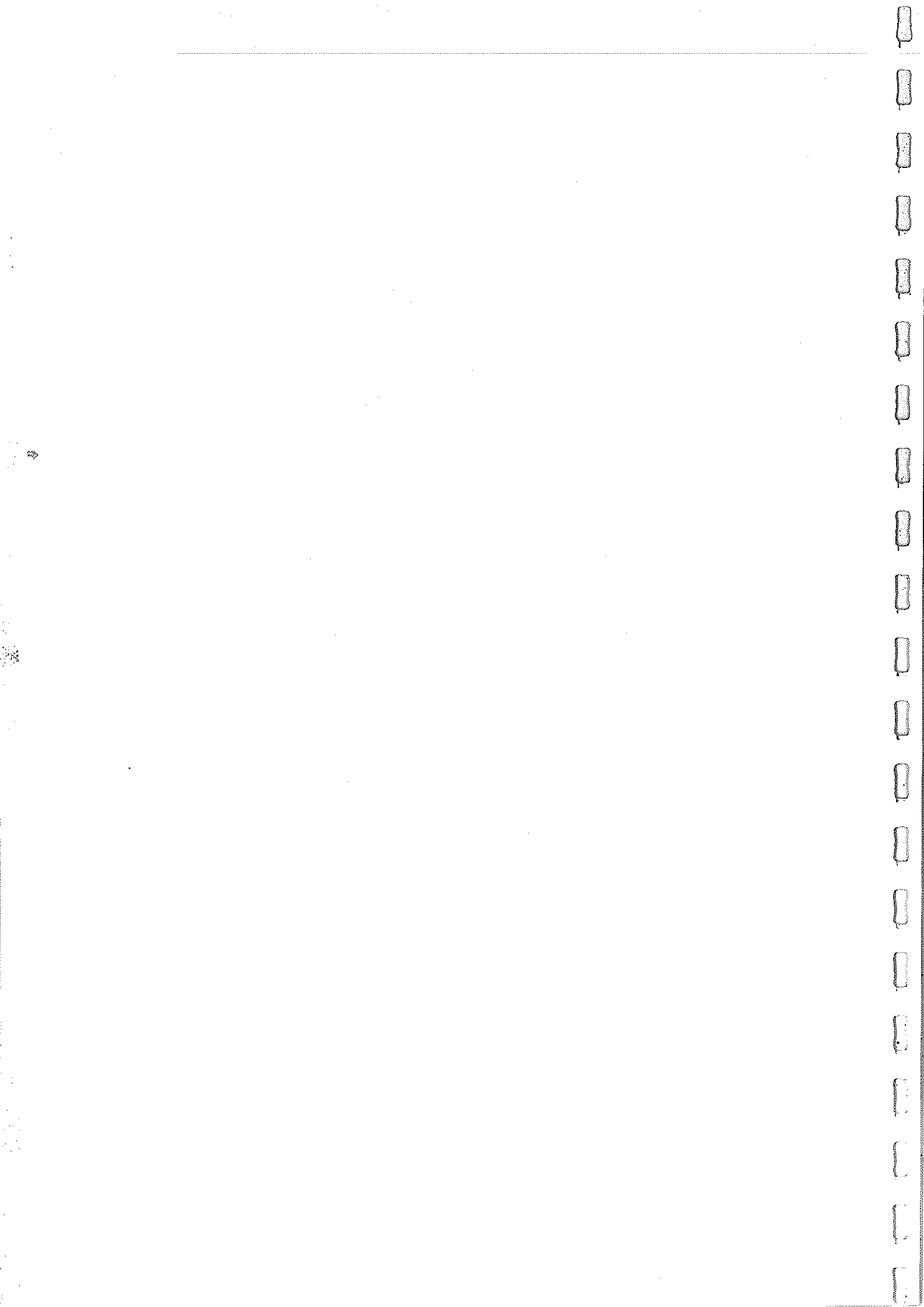
#### D.2.6. Tests Dynamiques et Marche à Blanc

Après que tous les tests des sous-systèmes aient été effectués l'entrepreneur prévoira les tests dynamiques de l'ensemble du système et une période de "marche à blanc" pendant laquelle le système fonctionnera normalement mais ne sera pas ouvert au public. La vérification des performances du système sera effectuée lors de la marche à blanc.

ANNEXE 5

SPECIFICATION D'UN SYSTEME DE TRANSPORT (MADRID)

Version réduite et généralisée  
à d'autres modes (VM - Tramway)



ACF1/XX/9.3579/89/JMD/CV

Montrouge, le 23 juin 1989

SPECIFICATIONS D'UN SYSTEME DE TRANSPORT

LIAISON MADRID - BARAJAS

1 - GENERALITES SUR LE SYSTEME

2 - SERVICE OFFERT AUX USAGERS

2.1. Service

2.2. Confort

2.2.1. Aménagement

2.2.2. Paramètres de confort

2.2.3. Bruit intérieur

2.2.4. Climatisation

2.2.5. Accessibilité personnes âgées, personnes à mobilité réduite et porteurs de bagages

2.3. Signalétique et architecture

2.4. Disponibilité

2.5. Gestion des indicents

2.5.1. Service Provisoire

2.5.2. Service Exceptionnel

3 - SECURITE

3.1. Anticollision

3.2. Antisurvitesse

3.3. Freinage d'Urgence

3.4. Détection de chute

3.5. Evacuation d'urgence

3.6. Surveillance audio et vidéo

4 - RESPECT DE L'ENVIRONNEMENT

4.1. Bruit extérieur

4.2. Compatibilité électromagnétique

4.3. Contraintes d'insertion

## 1 - GENERALITES SUR LE SYSTEME

Le système de transport devra relier le centre d'affaires de Madrid (Nuevos Ministerios et Colombia) au Parc des Nations et à l'Aéroport de Barajas (Terminal International et Terminal National). Il devra être affranchi des aléas de la circulation et assurer un niveau de service élevé (temps de parcours, facilité d'accès, confort).

Ce système devra notamment se caractériser par :

- une souplesse d'exploitation permettant d'écouler d'importants flux en heures de pointe et d'assurer une bonne qualité de service en heures creuses,
- une grande fiabilité,
- un taux de ponctualité élevé,
- un très haut niveau de sécurité.

L'obtention de cette qualité de service passera obligatoirement par la construction d'un système en site propre, éprouvé, ayant fait l'objet d'une exploitation commerciale, en tant que système de transport urbain.

## 2 - SERVICE OFFERT AUX USAGERS

### 2.1. Service

L'entrepreneur devra garantir une qualité de service minimale, c'est-à-dire répondre aux deux objectifs suivants :

- assurer une desserte de l'Aéroport avec un intervalle maximal de 5 mn en heure de pointe et de 8 mn en heure creuse,
- écouler le trafic horaire Nuevos Ministerios - Campo de las Naciones tel qu'il ressortira des études de trafic sachant que :
  - . lors des manifestations normales, le nombre de voyageurs debout sera limité à 4 passagers par m<sup>2</sup>,
  - . lors des manifestations exceptionnelles (15 à 25 jours/an) le nombre de voyageurs debout sera limité à 6 passagers par m<sup>2</sup>.

### 2.2. Confort

#### 2.2.1. Aménagement

Le véhicule devra présenter un aspect intérieur agréable, sobre et harmonieux.

Il devra comporter :

- des sièges ayant une assise aussi confortable que possible,
- des barres d'appui permettant aux voyageurs debout de se maintenir en position stable,
- des racks à bagages.

#### 2.2.2. Paramètres de confort

Le système devra être conçu de manière à respecter les paramètres confort-passager suivant :

- accélération longitudinale inférieure ou égale à 1,3 m/s<sup>2</sup>,
- accélération latérale inférieure ou égale à 1,3 m/s<sup>2</sup>,
- accélération verticale inférieure ou égale à 0,33 m/s<sup>2</sup>,
- jerk longitudinal inférieur ou égal à 0,65 m/s<sup>3</sup>,
- jerk latéral inférieur ou égal à 0,65 m/s<sup>3</sup>,
- jerk vertical inférieur ou égal à 0,17 m/s<sup>3</sup>,

### 2.2.3. Bruit intérieur

Le niveau de bruit moyen sur 5 secondes mesuré à 1,2 mètre au-dessus du plancher du véhicule ne devra pas dépasser 78 dBA quel que soit le mode de traction : accélération, marche sur l'erre ou freinage sur une voie en champ libre.

### 2.2.4. Climatisation

Du fait des températures élevées régnant à Madrid en période d'été, les véhicules ainsi que les stations aériennes (Parc des Nations, Terminaux de l'Aéroport) devront être climatisés.

### 2.2.5. Accessibilité pour les personnes à mobilité réduite et les porteurs de bagages

De façon à offrir, aux personnes âgées, aux personnes à mobilité réduite et aux porteurs de bagages une qualité de service la meilleure possible, certaines dispositions devront être prises :

- la différence de niveau entre le plancher du véhicule (dont la charge correspond à 4 passagers au m<sup>2</sup>) et le quai de station ne devra pas excéder  $\pm 2,5$  cm lorsque le véhicule est à l'arrêt.
- le vide entre le seuil du véhicule et le bord du quai ne devra pas dépasser 4 cm en fonctionnement normal véhicule arrêté.
- les parcours dénivelés en stations seront facilités dans la majorité des cas, par des escaliers mécaniques. Des ascenseurs permettront aux personnes à mobilité réduite, et aux personnes avec bagages d'accéder au système.

## 2.3. Signalétique et architecture

L'entrepreneur indiquera et chiffrera les actions envisagées en matière de signalétique (en station, dans les véhicules...).

D'autre part, l'aménagement des stations devra présenter une qualité architecturale au moins égale à celle des stations des lignes récentes du métro de Madrid.



#### 2.4. Disponibilité

L'utilisateur doit pouvoir compter sur un moyen de transport dont la disponibilité sera élevée. L'entrepreneur doit donc évaluer la disponibilité du système qu'il propose.

La disponibilité sera calculée à partir du temps moyen entre perturbations (TMEP) et du temps moyen de recouvrement (TMR) suivant la définition :

$$D = \frac{\text{TMEP}}{\text{TMEP} + \text{TMR}}$$

Le temps moyen entre perturbations (TMEP) est le rapport entre le temps de fonctionnement du système (TF) et le nombre de pannes indépendantes affectant le service offert par le système (NP).

$$\text{TMEP} : \frac{\text{TF}}{\text{NP}}$$

Pour déterminer NP, on exclura les pannes suivantes :

- a) Les pannes détectées au cours de la maintenance d'équipements hors service (c'est-à-dire n'intervenant pas dans l'exploitation lors de la détection de la panne),
- b) Les pannes liées au vandalisme ou à la malveillance,
- c) Les pannes liées à l'intrusion de personnes ou d'objets étrangers au système,
- d) Les pannes qui perturbent le système pendant moins de 4 minutes consécutives,
- e) Les pannes liées à la coupure de l'électricité de la part du fournisseur en énergie du système,
- f) Les pannes attribuables aux erreurs d'exploitation et/ou de maintenance.

Les temps de fonctionnement du système TF est le temps d'ouverture du système au service.

Le temps moyen de recouvrement (MTTR) est le rapport entre la somme de tous les temps de recouvrement (TTR) pour chaque panne perturbant le service et le nombre de pannes perturbant le service :

$$\text{TMR} = \frac{\sum \text{TTR}}{\text{NP}}$$

Pour chaque panne retenue dans le calcul de NP, TTR sera calculé comme la période de temps séparant le début de perturbation du service et la reprise du service.

La disponibilité du système devra être supérieure ou égale à :

- 0,94 durant la qualification du système dans son ensemble (période de marche à blanc),
- 0,98 par la suite en moyenne annuelle durant toute la vie du système.

## 2.5. Gestion des incidents

### 2.5.1. Service Provisoire

Lorsqu'un incident interdira la circulation sur une partie de la ligne, un service partiel pourra être mis en oeuvre entre la station Nuevos Ministerios et le Parc des Nations.

### 2.5.2. Service Exceptionnel

En cas de panne exceptionnelle du système et si aucune intervention ne peut rétablir rapidement le service normal, les passagers devront pouvoir être évacués par une passerelle jusqu'à des points de rencontre d'où ils pourront être acheminés vers leur destination grâce à un service exceptionnel.

L'entrepreneur précisera les dispositifs de gestion des incidents et pour différentes pannes types, les modes d'intervention et les temps de remise en service normal.

### 3. LA SECURITE

#### 3.1. Anticollision

Les véhicules devront être détectés de façon continue en ligne et dans le garage. Cette détection sera faite en sécurité. Elle servira de base à la fonction d'anti-collision des véhicules réalisée elle aussi en sécurité. Un véhicule ne devra pas s'approcher du véhicule qui le précède d'une distance inférieure à la distance de sécurité définie comme la somme des distances parcourues pendant :

- le temps de réaction,
- le temps de freinage,

augmentée d'une distance de glissement calculée dans les conditions les plus défavorables (vent arrière, coefficient d'adhérence minimal, etc...).

#### 3.2. Anti-survitesse

La vitesse du véhicule devra en permanence être comparée à la vitesse maximale que lui aura imposé le système. Cette vitesse maximale sera fonction de la position du véhicule et du tracé de la ligne.

En cas de survitesse le freinage d'urgence devra être commandé jusqu'à l'arrêt complet du véhicule.

#### 3.3. Freinage d'Urgence

Le freinage d'urgence du système devra s'effectuer en sécurité positive, c'est-à-dire qu'il ne doit nécessiter ni présence d'énergie électrique, hydraulique ou pneumatique à bord du véhicule, ni apport d'énergie extérieure.

L'entrepreneur s'assurera :

- qu'en cas de charge exceptionnelle (6 p/m<sup>2</sup> debout) le système peut exécuter 5 freinages d'urgence consécutifs à partir de la vitesse maximale sans dépasser les limites d'échauffement.

- qu'en cas de surcharge exceptionnelle (8 p/m<sup>2</sup> debout) le système de freinage ne dépasse pas les limites d'échauffement lors d'un freinage d'urgence (le véhicule roulant initialement à vitesse maximale).

#### 3.4. Détection de chute

Pour éviter les incidents et les arrêts de fonctionnement dus à des chutes intempestives sur la voie, l'entrepreneur proposera un système de détection. Ce système déclenchera la coupure de l'alimentation électrique dans la zone où a eu lieu la chute et arrêtera en urgence les véhicules au voisinage de cette zone.

#### 3.5. Evacuation d'urgence

Chaque porte du véhicule devra être munie d'une poignée d'évacuation. L'action sur cette poignée provoquera l'arrêt du véhicule en freinage d'urgence, la coupure de l'alimentation électrique haute tension dans la zone où se trouve le véhicule et le déverrouillage des portes si elles sont côté passerelle (dans le cas contraire les portes devront rester bloquées et les passagers devront être avertis qu'il faut tirer une poignée d'évacuation du côté opposé).

La temporisation du déverrouillage des portes devra permettre que tout véhicule au voisinage de la zone soit à l'arrêt complet à la fin de la temporisation. Une fois le déverrouillage effectué, les portes pourront être ouvertes manuellement.

#### 3.6. Surveillance audio et vidéo

Pour faciliter la surveillance des véhicules et des stations, l'entrepreneur devra prévoir des systèmes de couverture audio dans les véhicules et les stations et des système de couverture vidéo dans les stations. Cette surveillance est destinée à rassurer les usagers et faciliter leur protection.

#### 4 - RESPECT DE L'ENVIRONNEMENT

##### 4.1. Bruit extérieur

Au voisinage du système, en site urbain, le niveau maximal du bruit mesuré à 15 mètres de l'axe de la voie et au niveau du plan de roulement du véhicule, ne devra pas dépasser 80 dBA et ceci quel que soit le régime du véhicule : accélération, décélération, marche à vitesse constante.

##### 4.2. Compatibilité électromagnétique

Sur le plan électromagnétique, le système de transport devra être compatible avec son environnement urbain. Ceci concerne à la fois l'émission d'ondes électromagnétiques vers l'extérieur du système et la susceptibilité du système aux ondes électromagnétiques venant de l'extérieur. L'environnement de l'Aéroport devra être particulièrement pris en compte.

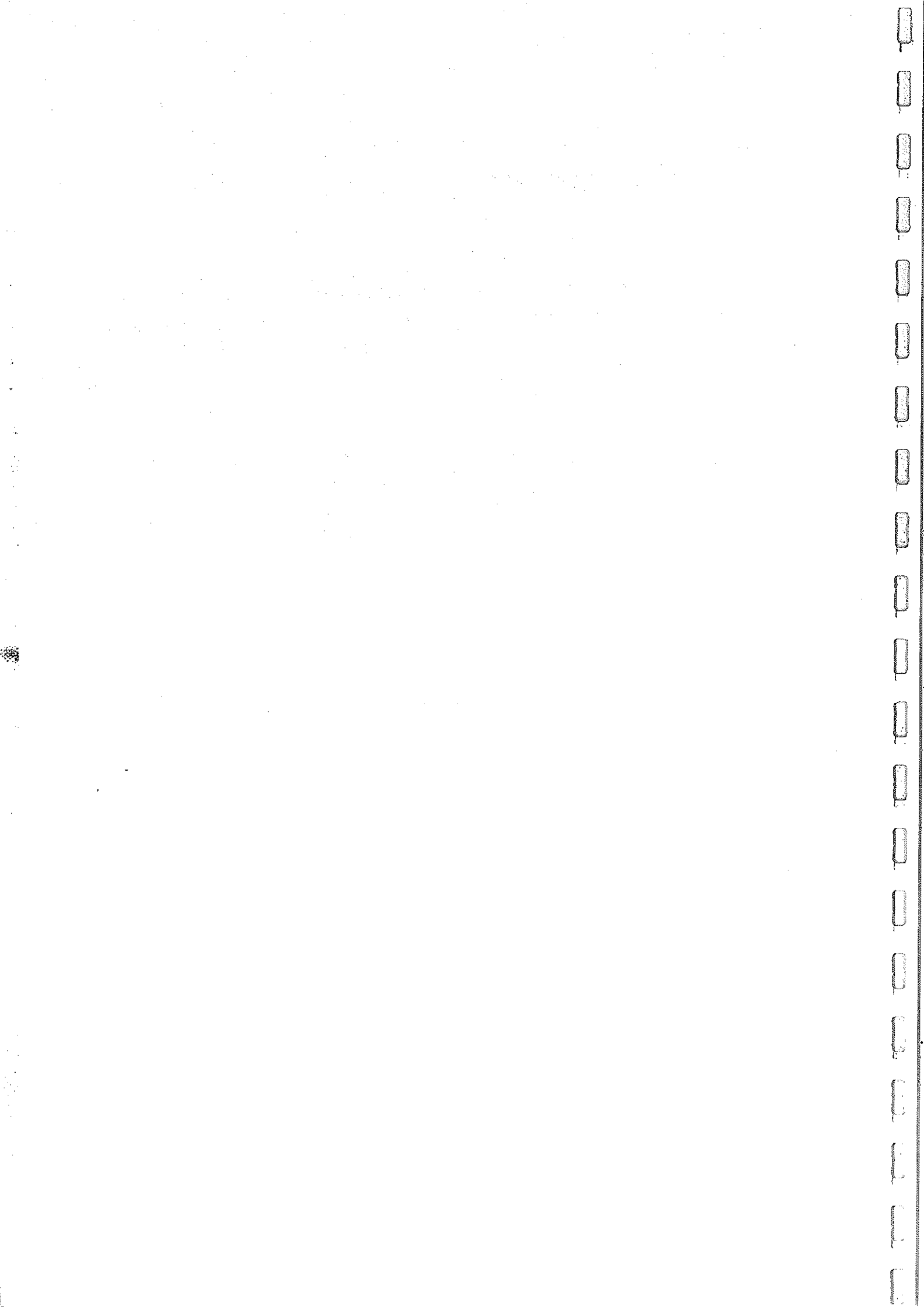
##### 4.3. Contraintes d'insertion

L'insertion de la ligne s'effectuera en souterrain depuis la station Nuevos Ministerios jusqu'au franchissement de la M30. A partir de ce franchissement et jusqu'à l'Aéroport, l'insertion pourra être aérienne (en viaduc ou au sol) ou souterraine, en fonction des contraintes d'environnement.

Dans le cas d'une voie au sol, l'emprise devra être clôturée de façon à éviter toute intrusion.

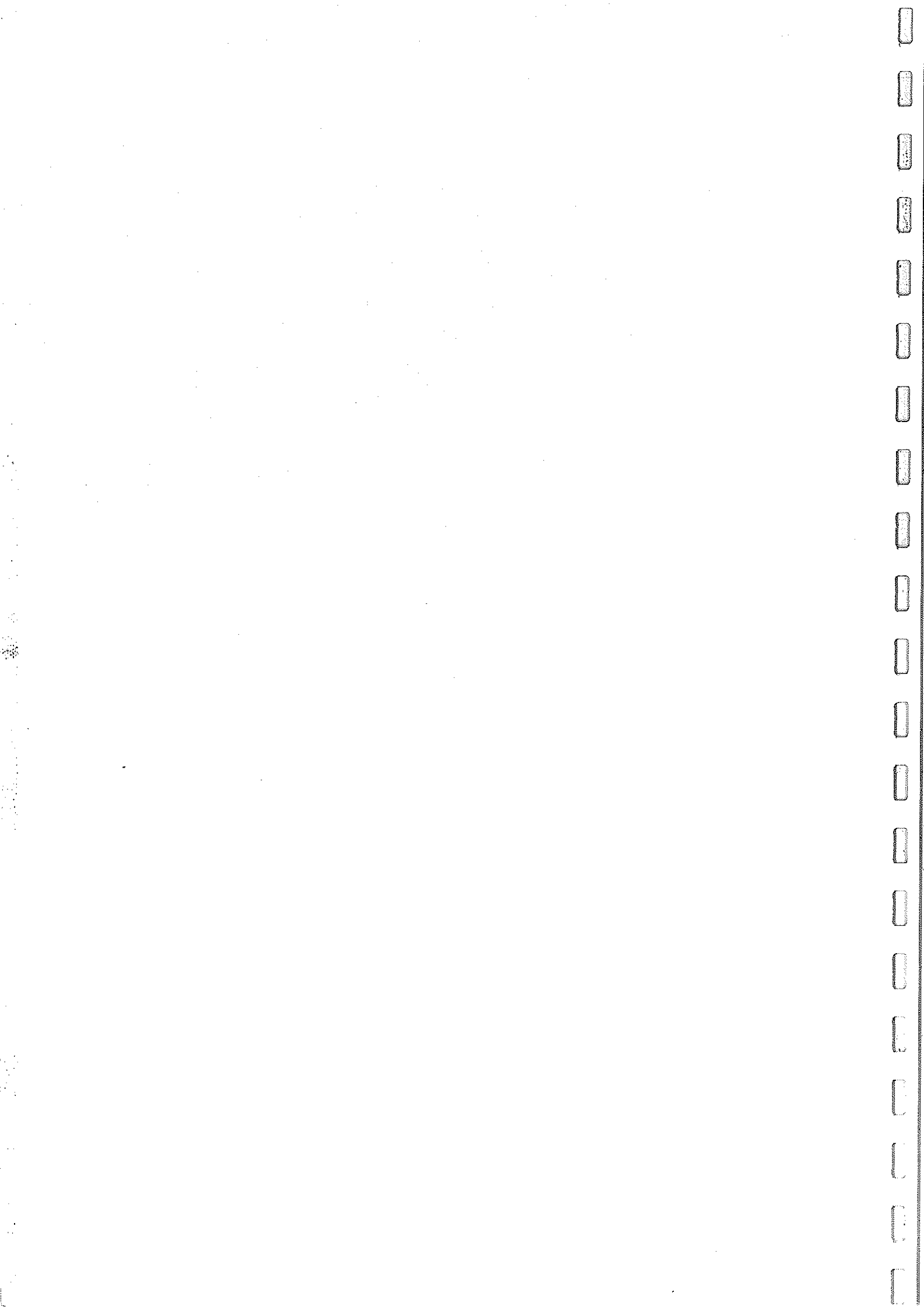
L'entrepreneur s'assurera, auprès des autorités responsables du Parc des Nations et de l'Aéroport, de la faisabilité du tracé et de son insertion dans chacun des 2 sites concernés.

Par ailleurs, sera examiné le problème des correspondances avec les lignes de métro, en concertation avec le Métro de Madrid.



**ANNEXE 6**

DESCRIPTION DU SYSTEME NTS DE YOKOHAMA





# ANNEXE 6

## ON SYSTEM IMPLEMENTATION OF YOKOHAMA NEW TRANSIT SYSTEM

Kazuo Ishii  
YOKOHAMA NEW TRANSIT CORPORATION

Hidekichi Kanematsu  
MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD.

### CONTENTS

1. Introduction of New Transport System to Kanazawa Reclamation Land Area
  - 1.1 Project Background
  - 1.2 Basic Standardized Specification of the Medium Capacity Guideway Transit System
2. Specification of Yokohama New Transit System
  - 2.1 Project Outline
  - 2.2 Specification of the System
3. On Train Operation

# 1. Introduction of New Transport System to Kanazawa Reclamation Land Area

## 1.1 Project Background

Yokohama with a population of approx. 2.9 million, is the second largest city in Japan and is located about 30 km south of Tokyo.

The Kanazawa Reclamation Land Area where the Yokohama New Transit System is now under construction is located on the coast south of Yokohama as shown in Figs. 1.1.1 and 1.1.2. The Kanazawa land reclamation project, begun in 1968, is part of the urban redevelopment plan of Yokohama.

Many factories, which had been operating in the central area of the city, have already moved to this reclaimed land where they form a modern industrial area free from pollution.

At the same time, a number of residential buildings, public facilities, Seaside Park and green belts have also been constructed.

All of them are well coordinated with the overall development plan of the new town. After 16 years, most of the construction work has been completed.

In the area linking Shin-Sugita, the reclaimed land area and Kanazawahakkei, the Keihin Electric Express Railway (Keihin Kyuko) and National Route 16 currently serve as the main means of transportation. The Keihin Kyuko serves as a commuter line carrying people living in the Miura Peninsula and the

southern part of Yokohama to the metropolitan area of Tokyo and Yokohama.

On weekends and holidays, it also serves as a leisure line which carries people living in Tokyo and Yokohama area to the Miura Peninsula. Route 16, together with the Yokohama-Yokosuka Highway, a limited access expressway, is one of the few main roads that lead to the Miura Peninsula via Yokosuka from Yokohama and because of that, it has heavy traffic all the time.

In particular, during the summer season, the added traffic of cars heading to the beach causes a traffic jam every day.

On the other hand, buses are used in the reclamation area as the major means of transportation. The routes include one that goes from Japanese National Railway (JNR) Shin-Sugita Station to Kanazawa Industrial Estate and another which goes from Kanazawa Bunko to the Industrial Estate.

Since it is expected that the resident population and commuting population of the reclamation area will both increase to 30,000 respectively by 1987, and approximately 2 million people will also visit Seaside Park annually, the demand will exceed the capacity of the current bus service in this area.

Thus another means of transportation must be sought. However, a railway is not practical considering the volume of the traffic demand and additional buses would present problems relating to operation intervals and on-time scheduling.

Therefore, it is assumed that a new type of transportation with a capacity midway between railway and bus featuring safety, comfort and low pollution would be most suitable to this area. Based on this idea, with a subsidy from the National Government, the City of Yokohama began the studies surveying traffic demand and the economic feasibility of a new transport system in 1977. In December 1981, the city decided to introduce a medium capacity guideway transit system to the Kanazawa reclamation land area. In April 1983, the Yokohama New Transit Corporation, which is the managing and operating organization of the system, was established.

It should be mentioned that the Yokohama New Transit System Kanazawa Seaside Line described in this paper is the first application of the basic standardized specification, established in 1983 by Japanese Government of the Medium Capacity Guideway Transit System. The standards of the Medium Capacity Guideway Transit System is briefly described below.

#### 1.2 Basic Standardized Specification of the Medium Capacity Guideway Transit System

In Japan, four medium capacity guideway transit systems (Kobe, Osaka, Omiya in Saitama Pref. north of Tokyo and Yukarigaoka in Chiba Pref. east of Tokyo) are operating revenue service and two systems (Tokadai in Aichi Pref. north of Nagoya and Yamaguchi in Saitama Pref. north east of Tokyo) are now under

construction. Construction of the Yokohama New Transit System has already started. Several other projects are under planning. Thus it can be said that new transit systems have entered the stage of practical use in the 1980's.

The Japanese Ministries of Transport and Construction established the basic standardized specification of the Medium Capacity Guideway System in 1983, because the widespread adoption of new transport systems could be promoted by the simplification of preliminary studies and infrastructure design and by the reduction of construction costs.

The subsystems laid down under this basic specification are limited to such basic systems as guidance system, switching system, electric power supply system, construction and vehicle clearance (gauge), fully loaded vehicle weight and guideway design load in order not to specify every subsystem and thereby hinder future technical progress.

Fig. 1.1.1 PROJECT LOCATION MAP

The map shows the following locations and features:

- Yokohama**: The main city area, including the **YOKOHAMA PORT** and **KANAGAWA CITY HALL**.
- Kanagawa Prefecture**: The area to the south and west of Yokohama.
- Kanagawa Seaside Line**: A railway line running along the coast.
- JNR Tokaido-Yokosuka Line**: A major railway line connecting Yokohama to Tokyo.
- JNR Negishi Line**: A railway line running through the city.
- Meihin Electric Express Railway**: A railway line connecting Yokohama to Kanagawa.
- Kanagawa Bunko**: A cultural center in Kanagawa.
- Kanagawa Hakkei**: A company or facility in Kanagawa.
- Tokyo Bay Loop Road**: A road connecting Yokohama to Tokyo.
- Sagami River**: A river flowing through the area.
- Sagami Bay**: A bay located to the south of Yokohama.
- Scale**: A scale bar indicating distances of 5km, 10km, and 15km.
- North Arrow**: A compass rose indicating North.

YOKOHAMA PORT

NEGISHI BAY

KANAZAWA SEASIDE LINE

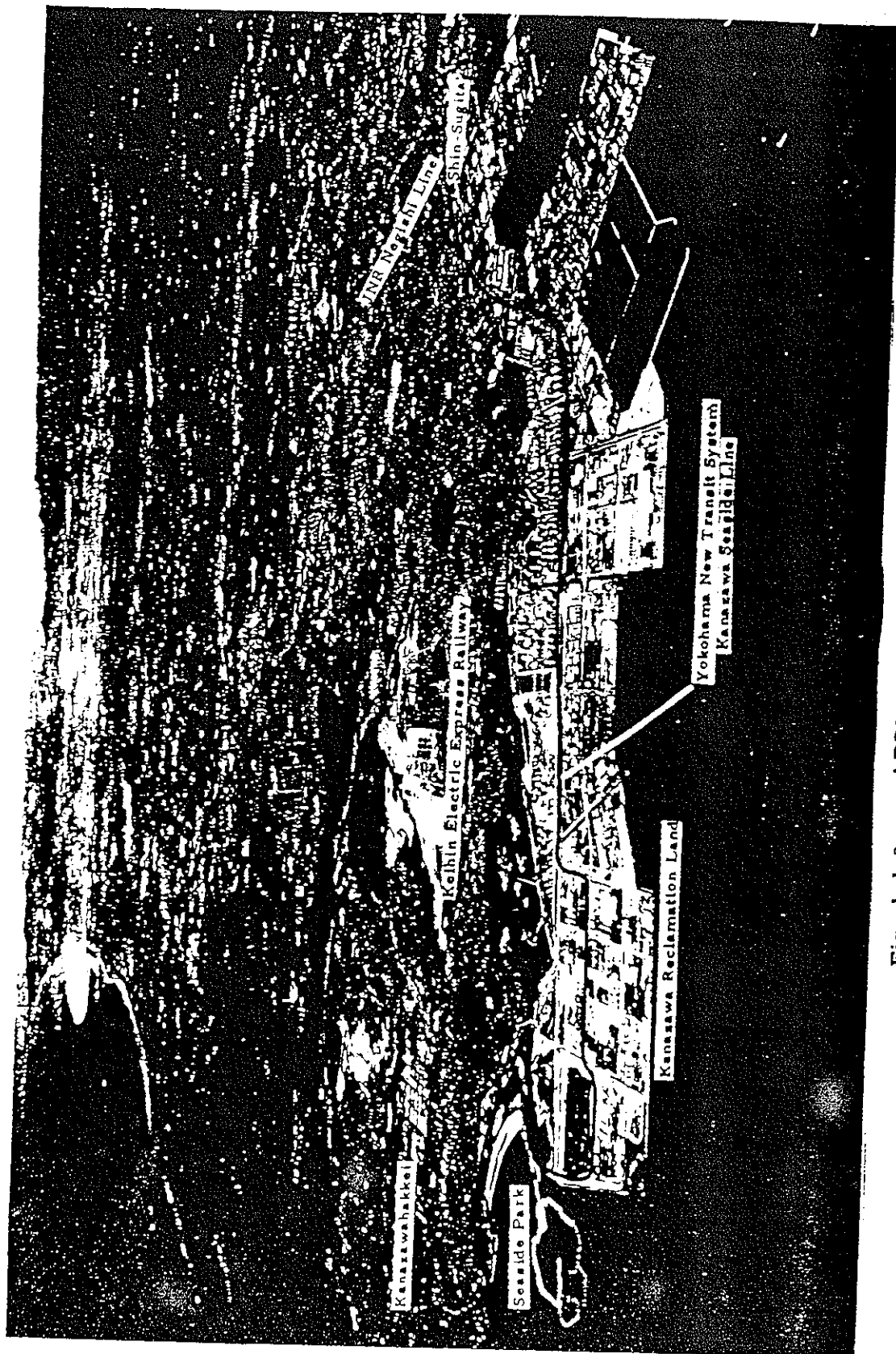
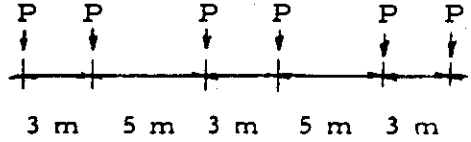


Fig. 1.1.2 AERIAL VIEW OF KANAZAWA SEASIDE LINE

Table 1.2 Basic Standardized Specification of the Medium Capacity Guideway Transit System

Item	Details
Preconditions	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Vehicle shall accommodate 75 persons</li> <li>2) System shall be applicable to fully automated operation</li> </ol>
Systems	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Guidance system: Side guide system</li> <li>2) Switch system : Horizontally movable guide plate type</li> <li>3) Power supply system: 750V DC</li> </ol>
Vehicles	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Vehicle clearance (gauge):</li> <li>2) Fully loaded weight : Under 18 tons</li> </ol>
Guideway	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Construction clearance (gauge) :</li> <li>2) Dimensions of guide rail surface: Face to face distance of guide rail: 2900 mm and center of guide rail surface: 300 mm above running surface</li> <li>3) Platform height: 1070 mm above running surface</li> <li>4) Design load : Design live load <math>P=9</math> tons Arrangement of axle load</li> </ol> <div style="text-align: center;">  <p>3 m   5 m   3 m   5 m   3 m</p> </div>



9

## 2. Specification of Yokohama New Transit System

### 2.1 Project Outline

#### 2.1.1 Design Concepts

The system is designed according to the following basic concepts:

(a) Improvement in commercial profitability

To reduce the initial investment and construction cost by simplifying the system. For the present, manual one-man operation (OMO) will be adopted, although unmanned fully automated train operation will be considered in future.

(b) Improvement in riding comfort

To design stations and vehicles to maximize passenger riding comfort.

(c) Design to express the International Seaport City of Yokohama

To design a system appropriate to the International Seaport City Yokohama.

### 2.1.2 Project Details

Details of the Yokohama New Transit System are as follows:

- **System Name:** Yokohama New Transit System  
-Kanazawa Seaside Line
- **Operating and Managing Organization:** Yokohama New Transit Corporation
- **Construction Participants:**  
Ministry of Construction  
City of Yokohama  
Yokohama New Transit Corporation
- **Schedule:** Start of construction: November, 1984  
Completion of line: December, 1986  
Start of revenue service: April, 1987
- **Route Section:** Between Shin-Sugita Station (JNR)  
and Kanazawahakkei Station  
(Keihin Kyuko)
- **Type of Service:** Shuttle, linking residential,  
redevelopment and recreational  
areas with direct connections to  
JNR and Keihin Kyuko stations
- **Route Length:** 10.9 km. Route map is shown in  
Fig. 2.1.1
- **Projected Traffic Volume:** 78,000 persons/day in 1987  
Refer to Fig. 2.1.3
- **Guideway:** Elevated double track over entire  
length

- Stations: 14
- Train Formation: 5 vehicles per train set
- Nominal Train Capacity: 360 persons/train
- Power Supply System: 750V DC
- Max. Speed: 60 km/h
- Train Operation: Manual OMO
- Hours of Operation: 5:30 to 24:00
- Headway:
  - Peak hours: 3 - 5 min.
  - Normal hours: Approx. 10 min.
  - Late night and early morning hours: 12 - 15 min.
- Depot:
  - Located adjacent to Namikichuo Station
  - Accommodation for 20 train sets

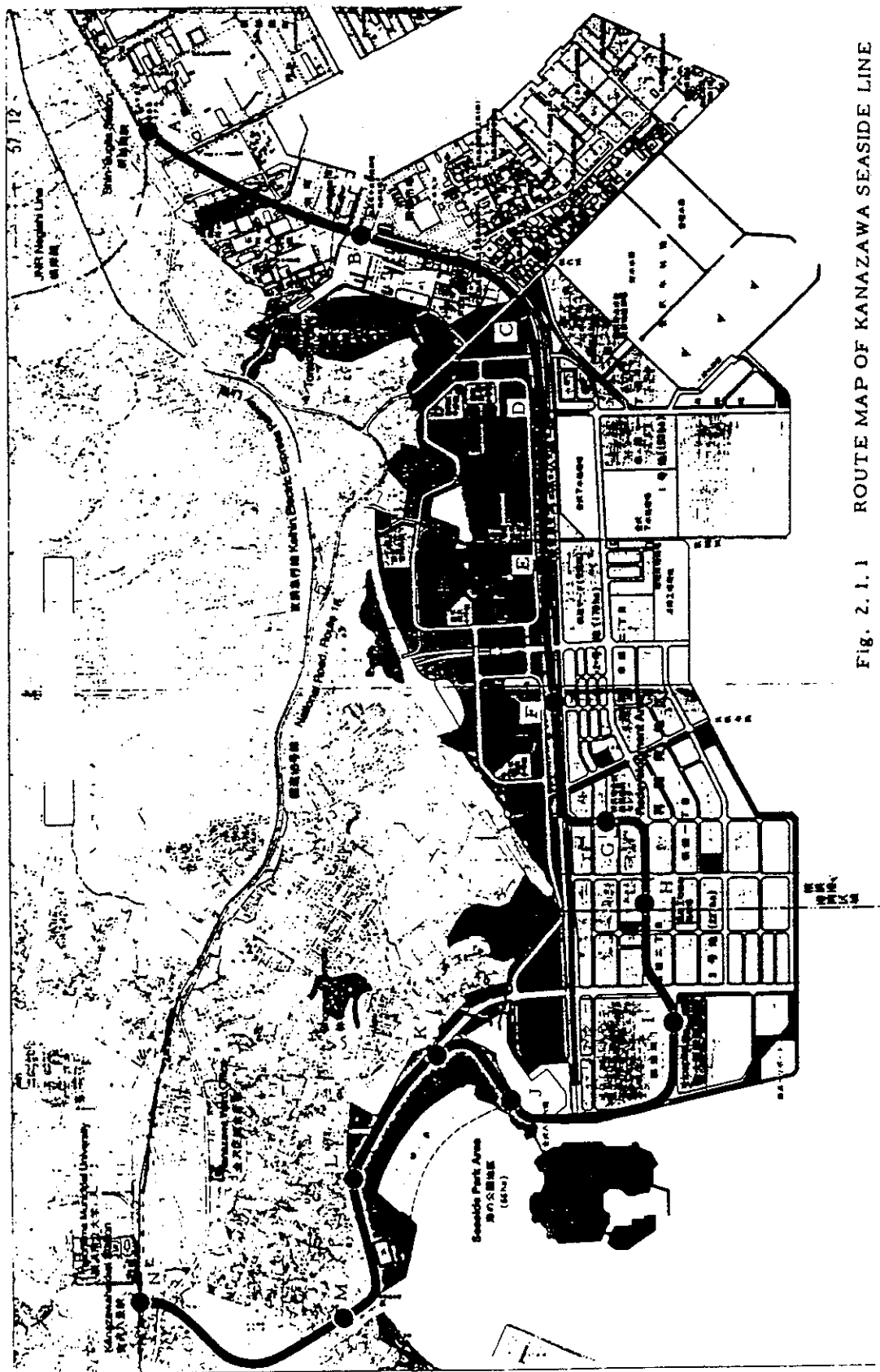


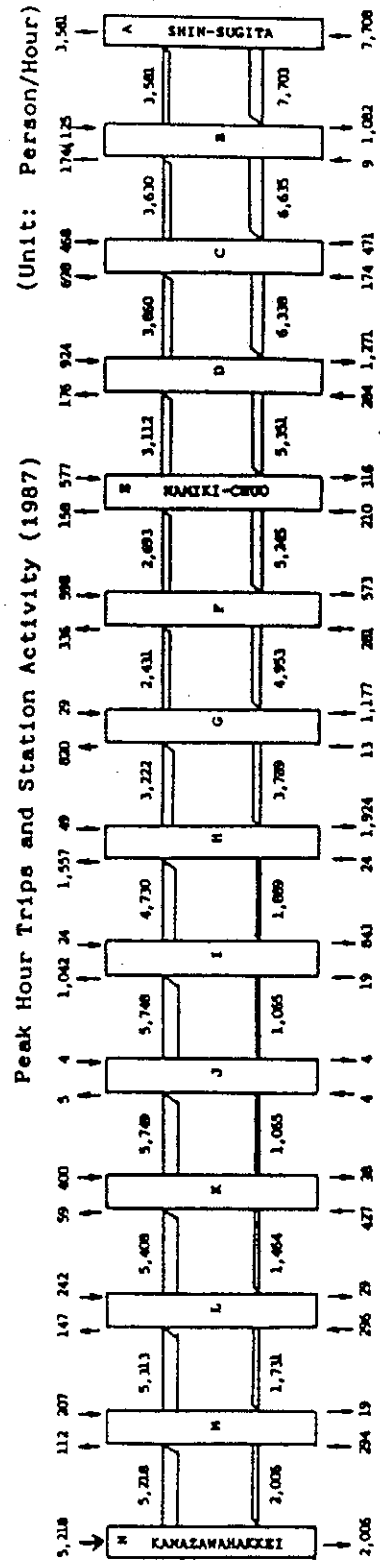
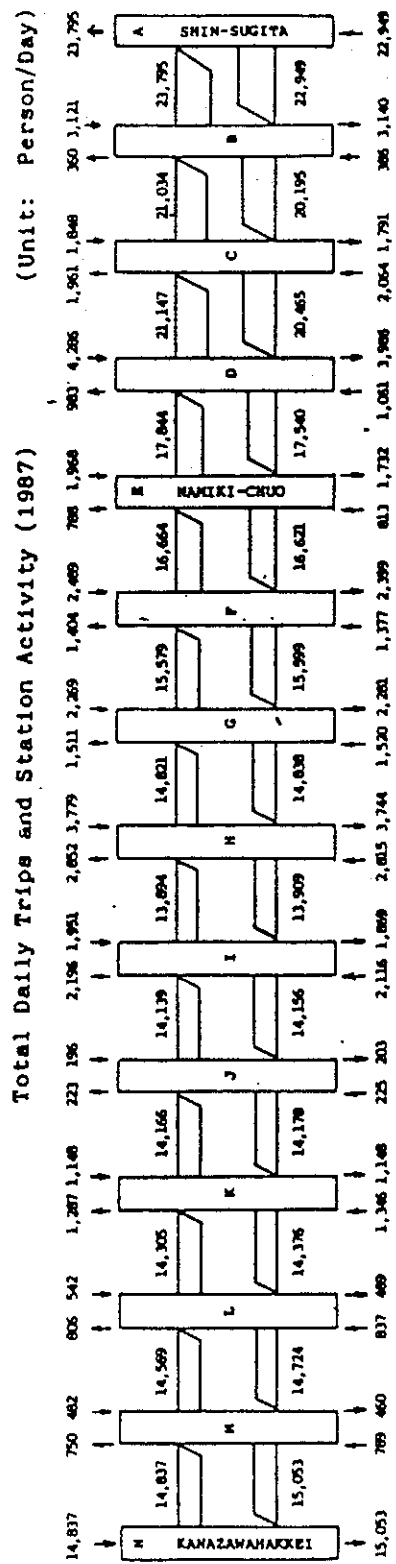
Fig. 2.1.1 ROUTE MAP OF KANAZAWA SEASIDE LINE

Year	1984	1985	1986	1987
Environmental Impact Statement made public	→			
License formally received under Railway Line Act	→			
Approval for construction applied for	→			
Approval for construction received	→			
Detailed design		→		
Construction		→	→	
Test run & training				.....▲

▲ Begin revenue service

Fig. 2.1.2 YOKOHAMA NEW TRANSIT SYSTEM IMPLEMENTATION SCHEDULE

Fig. 2.1.1.3 TRAFFICE VOLUME OF KANAZAWA SEASIDE LINE



## 2.2 Specification of the System

### 2.2.1 Guideway

A typical guideway cross section is shown in Fig. 2.2.1.

The width of the standard double track is 7.45 m and a maintenance path is provided at the center of the guideway.

Under the maintenance path, a cable rack for signals and communications is installed.

The standard guideway composition is a running surface of concrete set on the concrete slabs. The track surface is almost the same as that of an ordinary road.

Passengers may therefore leave the train and walk on the track to the nearest station in case of emergency.

Two guide rails are provided for vehicle guidance in standard sections. At switch and station area, however, the guide rail is provided at only one side of the track.

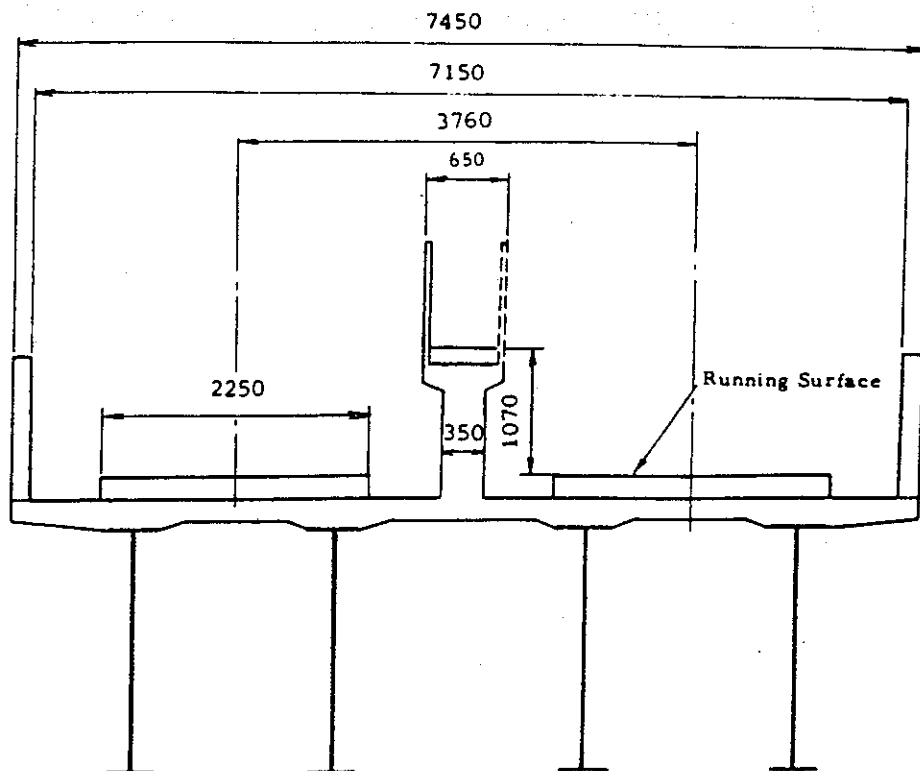


Fig. 2.2.1 CROSS SECTION OF TYPICAL GUIDEWAY

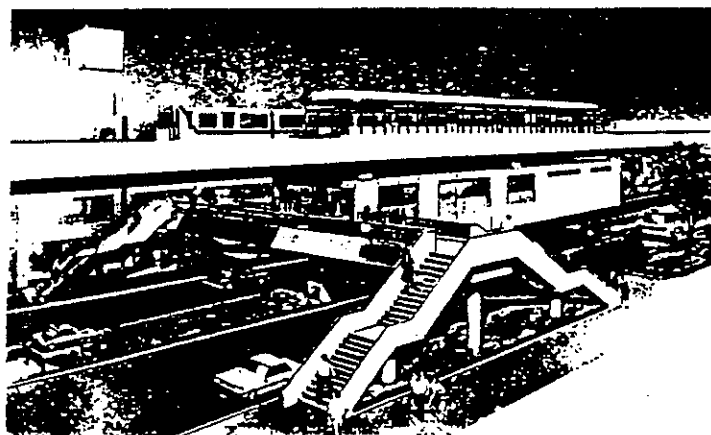


Fig. 2.2.2 CONCEPTUAL VIEW OF STATION



### 2.2.2 Stations

A total of fourteen stations serve the passengers of the Kanazawa Seaside Line. Thirteen stations have double-track, center-platform-type stations. Station platform length is 42 meters to accommodate five-vehicle trains.

The distance between stations ranges from 600 m to 1,300 m and the average distance is 830 m.

Stations are designed for the safety and comfort of passengers. Platform are enclosed to protect passengers from rain, wind and other inclement weather. Platform and vehicle doors are controlled as one set.

The opening and closing of platform doors is controlled by the train operator from the train.

Station exteriors are designed to blend in with the surrounding environment.

Fig. 2.2.2 illustrates the conceptual view of a station.

Three stations, Shin-Sugita, Namikichuo and Kanazawahakkei, are control stations with station personnel while the other eleven stations are unmanned. Unmanned stations are monitored by CCTV and patrols.

### 2.2.3 Train

The side guide motor driven vehicle are designed so as to meet the various requirements of the Kanazawa Seaside Line in accordance with the basic standardized specification utilizing the latest technology and based on the vehicles of new transport systems already under revenue service.

#### Main features of the vehicle

- (1) Type: Side-guide four-wheels steering type
- (2) Kind of Vehicle: Two-axle motored coach
- (3) Train Formation: Five fixed vehicles per train
- (4) Power Supply System: 750V DC. Two rigid power rails
- (5) Dimensions:

Max. length	8,400 mm (Coupler to coupler)
Max. width	2,340 mm
Max. height	3,280 mm (Above running surface)
Body length	8,000 mm
Train length	42,000 mm
Center to center wheel tread	1,700 mm
Face to face distance between guide rails	2,900 mm

- (6) Tare Weight: Approx. 11 tons
- (7) Max. Axle Load: Less than 9 tons

- |      |                           |   |
|------|---------------------------|---|
| (8)  | Traction Motors:          | DC series wound motor   |
| (9)  | Controller:               | Chopper control, one controller /train  |
| (10) | Braking System:           | Combination of electro-pneumatic straight brakes and regenerative brakes  |
| (11) | Signal:                   | Automatic Train Protection (ATP) with cab signal. Continuous Train Detecting (TD) device by inductive radio loop  |
| (12) | Door Control Unit:        | Vehicle and station platform doors are interlocked  |
| (13) | Communications Equipment: | Train radio by inductive radio loop with emergency alarm function   |
| (14) | Operation:                | Manual OMO  |
| (15) | Performance:              | <p>Acceleration <math>3.5 \text{ km/h/s} = 0.97 \text{ m/s}^2</math></p> <p>Deceleration (max. service brake)</p> <p><math>3.5 \text{ km/h/s} = 0.97 \text{ m/s}^2</math></p> <p>(emergency) <math>4.5 \text{ km/h} = 1.25 \text{ m/s}^2</math></p> <p>Max. speed <math>60 \text{ km/h}</math></p> <p>Min. turning radius <math>30 \text{ m}</math></p> |

The general view of the train is shown in Fig. 2.2.3.

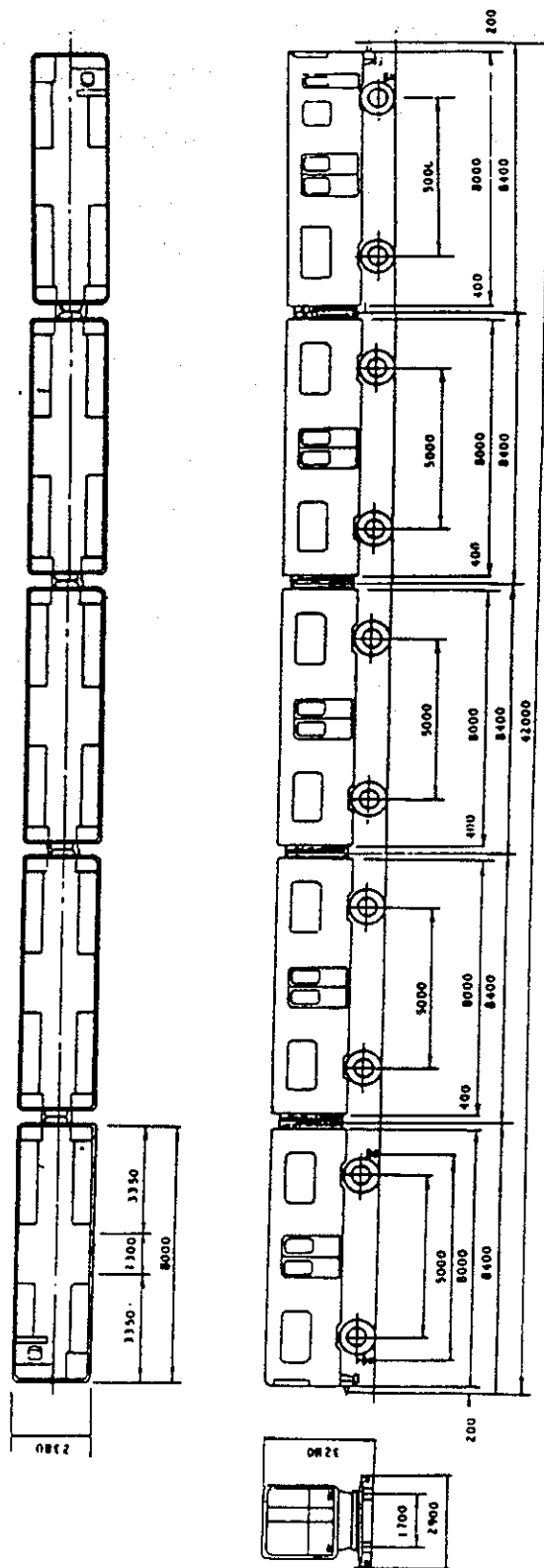


Fig. 2.2.3 GENERAL VIEW OF TRAIN

#### 2.2.4 Power Facility

This facility supplies electric power to the trains and all subsystem of the Kanazawa Seaside Line such as signal and communications equipment, station facilities and various facilities in the depot.

The power system is designed to consist of two circuits, one for regular supply and the other for emergency supply, at 66KV 3 phase 50Hz.

The power is transformed to 6.6 KV at the primary substation in the depot and distributed to the relevant substations by two circuits where the voltage is further transformed for supply to various facilities and rectified at 750V feed the power rails.

An emergency diesel generator is installed at the 6.6 KV circuit of the primary substation in order to ensure an emergency power supply for important power demands.

Power distribution to the trains is by two rigid power rails mounted on the guide rail, one positive, the other negative one. The power rails are of stainless steel clad aluminum.

All substations and power rooms are remotely controlled and supervised by the Centralized Substation Control (CSC) System at the Central Control Office.

22

#### 2.2.5 Signal System

The signal system is installed in order to operate the trains safely, accurately and efficiently. The signal system consists of the following four subsystems:

Train Detecting (TD) Equipment

Automatic Train Protection (ATP) Equipment

Relay Interlocking (RIL) Device

Centralized Traffic Control (CTC) System

The block diagram of the signal system is shown in Fig. 2.2.5.

Signal equipment is installed in the signal equipment rooms of the three control stations and the administration building in the depot.

The signal system is to be independent from all other systems and is designed in accordance with the fail-safe principle, by having redundancy system, parallel or stand-by systems built-in.

Specifications of the signal system are as follows:

- (1) Block System: Cab-signal, fixed block system
- (2) Signal Aspect: Multiple aspects by cab signal
- (3) Shunting : Wayside fixed signal and route indicator
- (4) Train Protection: ATP
- (5) Train Detection : Continuous check-in and check-out system
- (6) Train Operation : Manual OMO

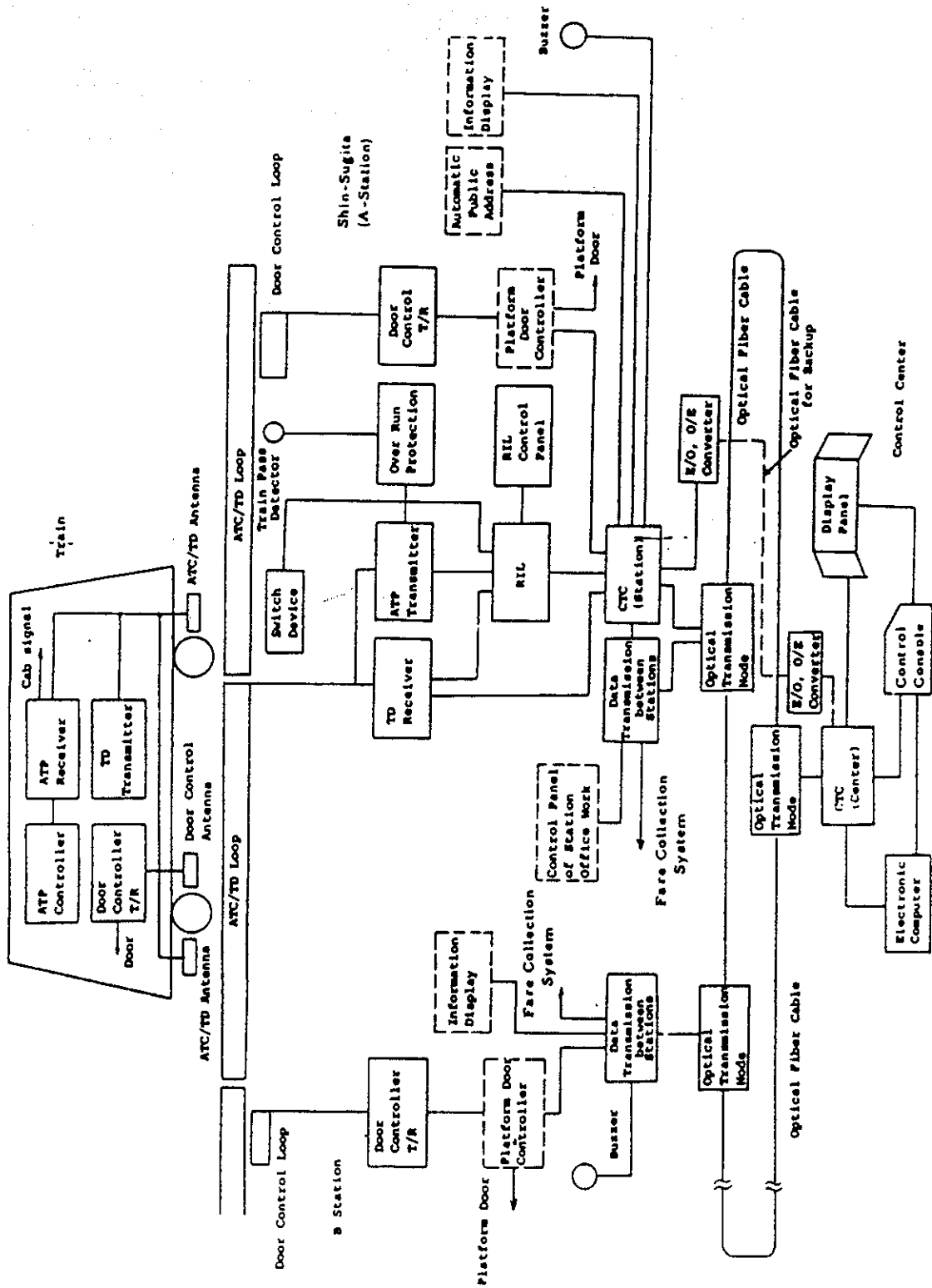


Fig. 2.2.5 BLOCK DIAGRAM OF SIGNAL SYSTEM

#### 2.2.6 Communication System

In order to operate the transportation system safely and securely, the following communications equipment is provided:

- (a) Train Radio
- (b) Emergency Alarm Equipment
- (c) Dispatch Telephone
- (d) Business Telephone
- (e) Wayside and Switch Telephone
- (f) Automatic PA System
- (g) Intercom Equipment
- (h) CCTV



#### 2.2.7 Station Facilities

Station control will be automated as much as possible by introducing the following equipment to save labor:

- (a) Automatic Ticket Vending Machines
- (b) Automatic Ticket Collection Equipment
- (c) Sales Data Collection Equipment
- (d) Commuter Ticket Issuing Equipment and Controllers
- (e) Equipment Monitors

The facilities in unmanned stations will be controlled and supervised by station staff from control stations.

If necessary, a patrol can be dispatched to unmanned stations from the control stations.

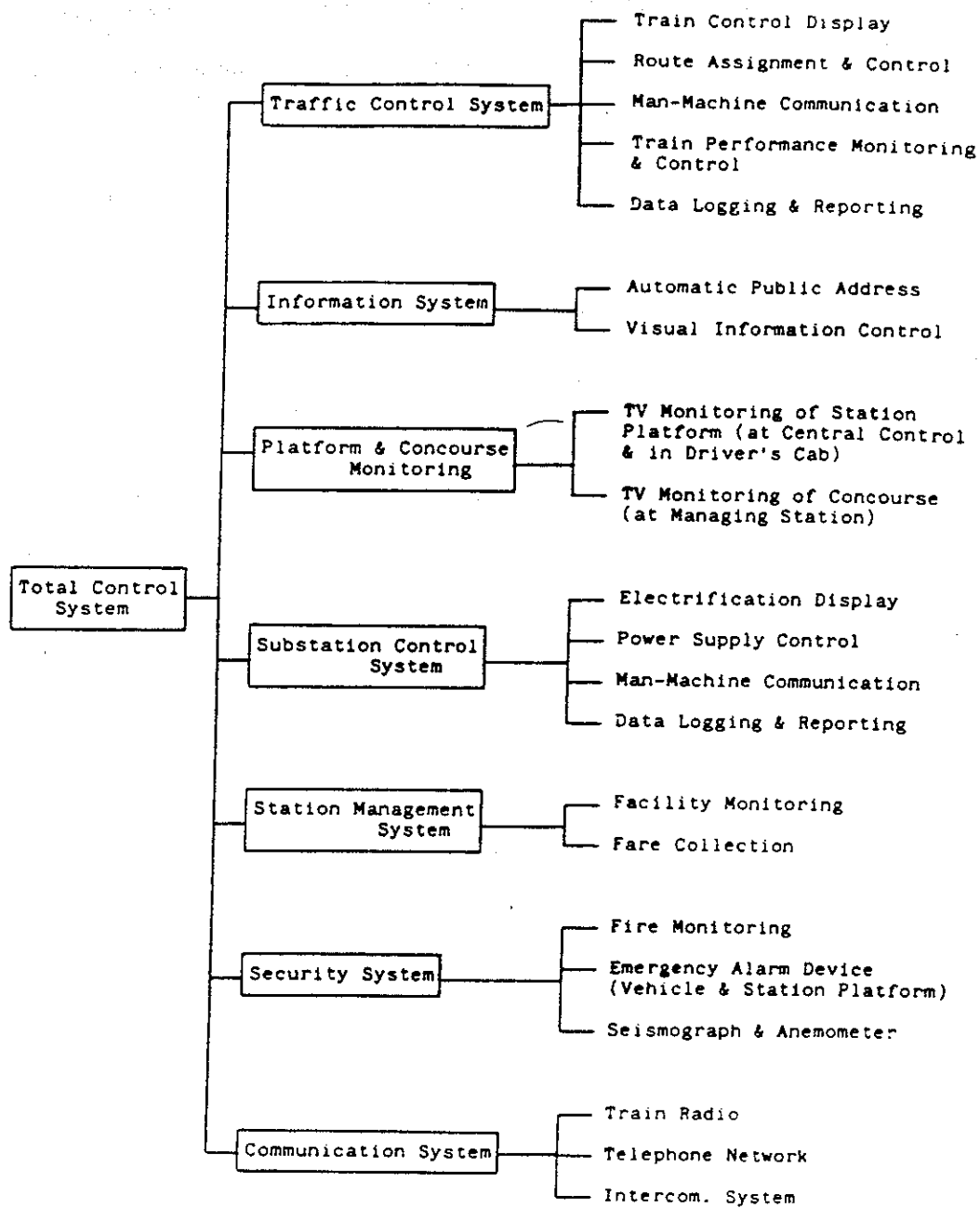


Fig. 2.2.8

CONFIGURATION OF THE TOTAL CONTROL SYSTEM

#### 2.2.8 Total Control System

The total control systemutilizing computers will be introduced to improve passenger service, save labor and maximize operational functions. The configuration of the total control system is shown in Fig. 2.2.8.

#### 2.2.9 Depot

The depot is an integral part of the overall Yokohama New Transit System. It is located adjacent to Namikichuo Station and the site area is 4.3 ha. The depot is at ground level and is connected with the elevated main line by a single incomingoutgoing track. The layout is shown in Fig. 2.2.9.

The depot will provide a space for the storage, inspection, maintenance, repair, washing and testing of the trains. In addition, it will serve as the administrative and central control operation headquarters.

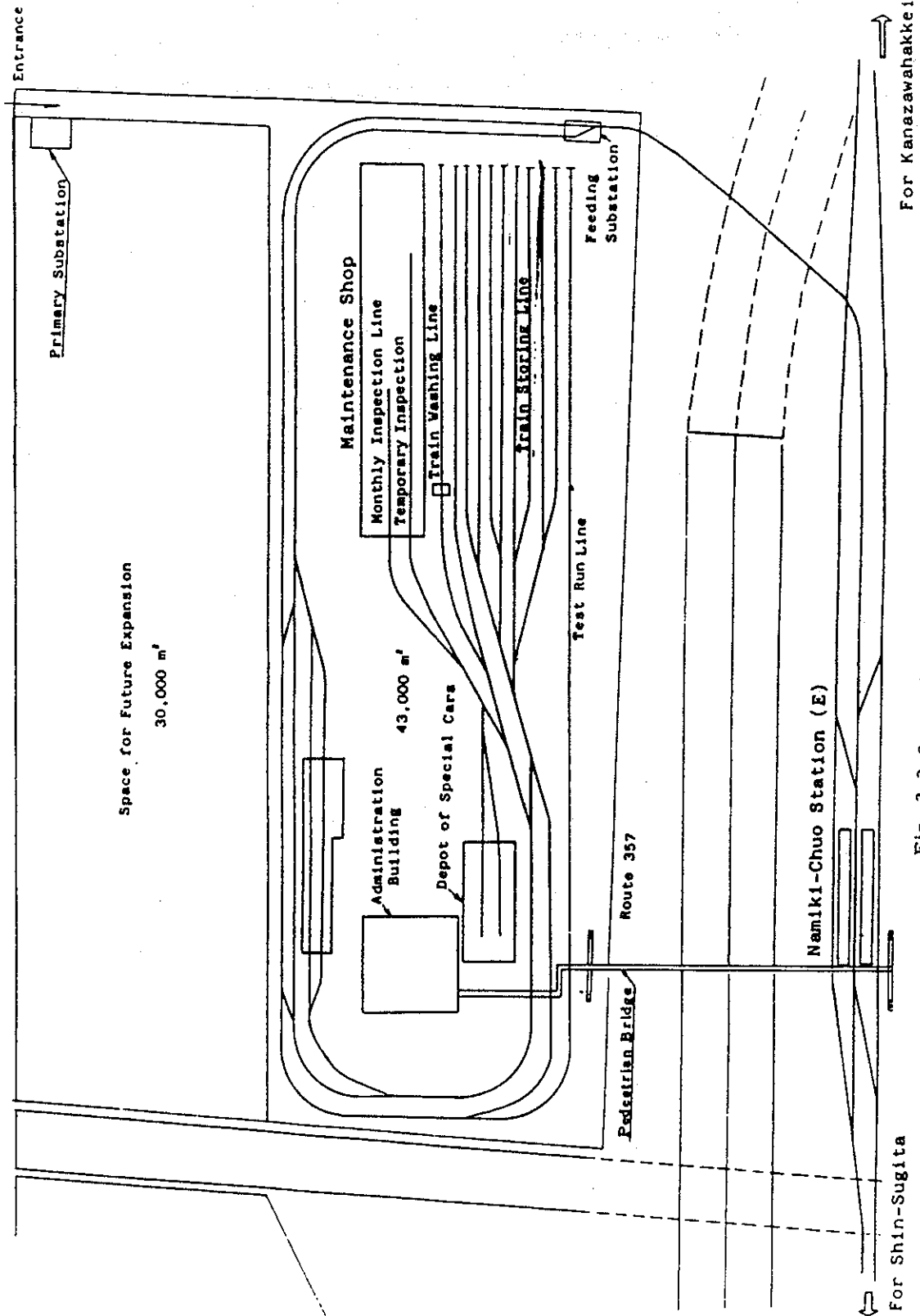


Fig. 2.2.9 LAYOUT OF DEPOT

30

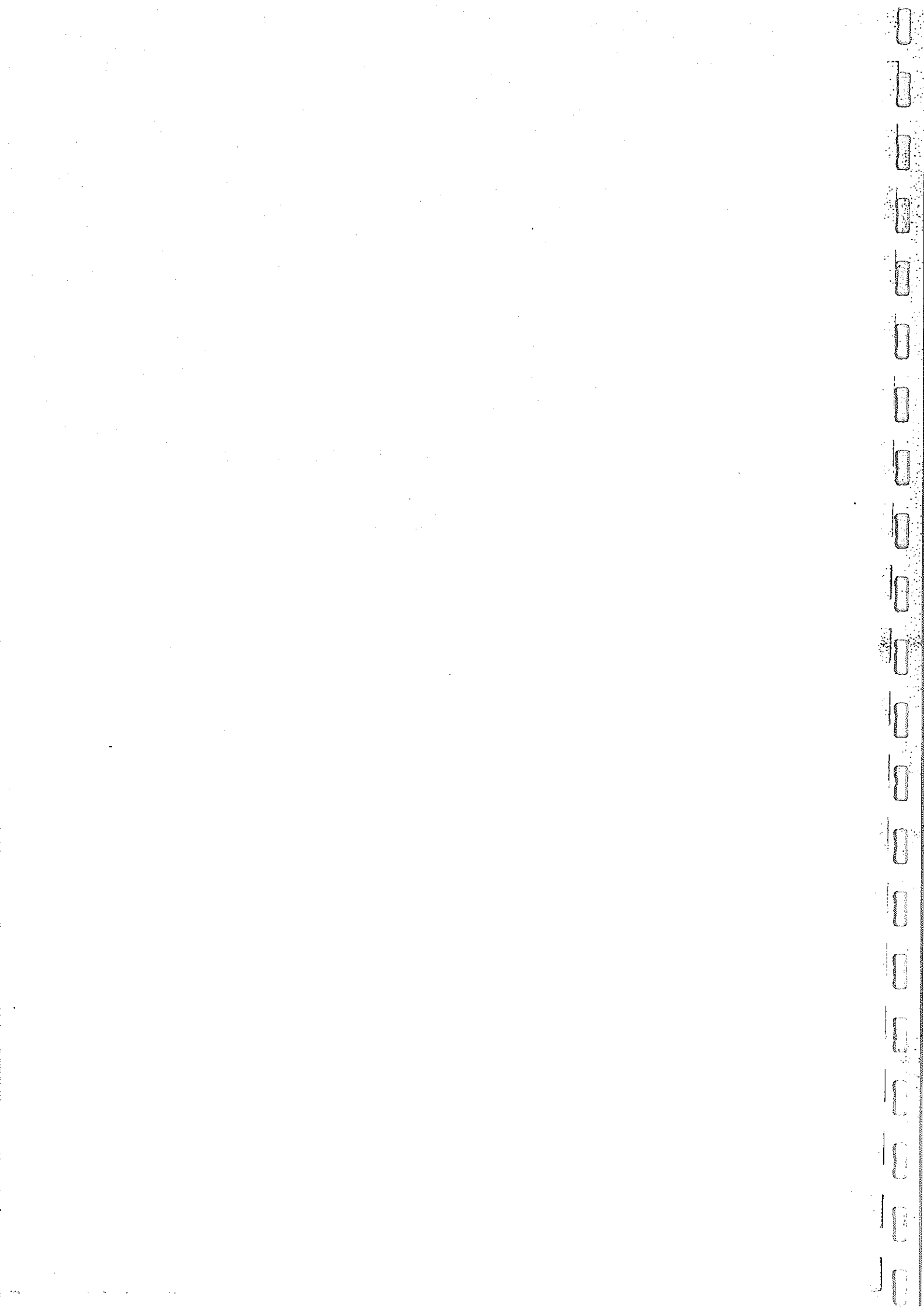
3. On Train Operation

After an extensive investigation from various points of view, it was decided that, for the present, manual OMO would be adopted for the Yokohama New Transit System, while unmanned fully automated operation is being considered for the future.

Recent trends of train operation of Medium Capacity Guideway Transit Systems and a comparison of manual and unmanned operation using a standard model line of 10 km will next be shown and discussed.

## **ANNEXE 7**

EXPLOITATION ET MAINTENANCE DES SYSTEMES DE MIAMI ET VANCOUVER





# ANNEX E 7

## OPERATIONS AND MAINTENANCE OF AGT: MIAMI AND VANCOUVER

Ira Hirschman

### ABSTRACT

This paper examines operations and maintenance (O&M) practices of AGT systems in a conventional urban transit setting. The paper, which focuses on the labor requirements of maintaining and operating urban AGT systems, consists of case studies of automated people movers in Miami (Metromover) and Vancouver (SkyTrain). The Miami and Vancouver systems were chosen because they provide wide contrasts in size, configuration, technology, operating philosophy, and urban environment.

Each case study includes a general description of the system. Detailed data on O&M practices and resources are also presented, including information about the methods and numbers of personnel assigned to various functions. Following this, various issues are discussed, including key O&M problems encountered, as well as efficiencies. The O&M experiences of each system are also briefly assessed in the context of system size and configuration, technology, operating philosophy, and urban environment. A final issue is the extent to which cost savings from unmanned operation may be offset by other O&M costs incurred specifically because of automated operation.

The data presented in the paper can be useful to transportation planners as they evaluate proposed new AGT systems or extensions to existing systems. Labor requirements and productivity rates for maintaining and operating AGT systems can be used to assist in developing O&M cost forecasts for proposed AGT systems. Guidelines and examples showing how the productivity information can be applied are presented in a brief concluding section.

### MIAMI METROMOVER

#### General System Description

The Miami Metromover, which began revenue service in April 1986, is a 1.9 mile elevated double guideway loop system that distributes passengers around the Miami CBD. Vehicles travel clockwise on the inner loop and counterclockwise on the outer loop, distributing passengers to ten stations, eight of which are served by both loops. Metromover's 33,500 square foot maintenance building, located inside the southwest corner of the outer loop, is also used to store the system's twelve Kawasaki-built vehicles.

The automated driverless Westinghouse system utilizes rubber tires on concrete-pad. The guideway is equipped with a central rail to guide and deliver power to vehicles. Horizontally mounted guidewheels beneath the vehicle clamp onto the guiderail. Metromover utilizes computer train

\*Senior Transportation Economist, Parsons Brinckerhoff  
Quade and Douglas, One Penn Plaza, New York, NY 10019

control and fixed block train protection. Power is three-phase AC converted to DC on the vehicle.

Vehicles, which have a capacity of up to 140 standing passengers and eight seats for the elderly and handicapped, are generally operated singly, although two car trains are also operated at times for special events. During regular peak periods, eight cars are in service; during off-peak periods, cars in service vary from six to fewer during late night hours. Peak headways on each loop are about 100 seconds, giving a combined bi-directional headway of about 50 seconds at the eight stations served by both loops. At present, Metromover's service span is from about 6 am to 11:30 pm on weekdays.

Vehicles are automatically controlled via a hierarchical computer system, in which on-board computers monitor vehicle status and communicate with a central control computer. The central control computer tracks vehicles, maintains schedules, and controls speed, stops, door opening, and other functions. Communication between the central control computer and on-board computers is monitored by a third computer. The control system is monitored by train control personnel (RTCs) at the Central Control Facility. RTCs, who can override automatic control when alarms are activated, also monitor the CCTV screens, other system alarms such as those for unauthorized entry onto the guideway, and the status of the power system. They also make emergency announcements and otherwise respond to emergency situations.

Fare collection utilizes turnstiles which accept coins or magnetically encoded monthly passes. Fare evasion is monitored by CCTV; RTCs monitor the turnstile screens, which display fare control areas on about a ninety second cycle. Because the Metromover fare structure is a simple flat fare (currently 25 cents), tickets and ticket dispensing machines are not needed. Some stations provide dollar bill changers.

#### Operations and Maintenance Resource Requirements

1. Vehicle and Guideway Maintenance: Because Metromover is a relatively small-scale system, vehicle and guideway maintenance -- including maintenance of the power delivery system -- are performed by a small core group of 28 technicians and supervisors operating out of the maintenance building. In addition to normal vehicle, guideway, and power system maintenance, technicians perform the following functions:

- move cars into and out of service, and perform pre-service inspection of door operation, tires, emergency communication, car cleanliness, and the undercarriage
- manually operate the sweep train each morning prior to commencing revenue service
- secure and open stations for system shut-down
- respond to vehicle trouble conditions as they occur on the system.

Technicians are split into three eight-man crews, each crew working an eight hour shift, plus a shift supervisor. Six technicians are on duty during any given shift.

Vehicle maintenance and inspection is conducted throughout the day. Most guideway and some vehicle testing is performed by the night shift during system shut-down. Technicians are generalists cross-trained to work on all types of systems and equipment.

**2. Vehicle Maintenance Support:** Internal and external cleaning of cars is done by hand at the maintenance facility on a frequent, regularly scheduled basis. In addition, cars that have received graffiti are taken out of service and cleaned as soon as possible after the graffiti is observed. According to Metromover's chief maintenance supervisor, graffiti has not been a significant problem due to the quick response.

Over a 24-hour period, four car cleaners are assigned. A total of about six cleaners are needed to cover all shifts.

**3. Communications/Fare Collection:** Maintenance of communication systems and fare collection is performed jointly for both Metromover and Metrorail. Communications equipment include walkie-talkies, on-board emergency phones and radios, and control center radios. Fare collection maintenance involves mostly turnstiles.

Metro-Dade County employs eleven technicians (including three supervisors) for maintenance of communications and fare collection equipment for Metrorail and Metromover together. Because this function is shared between the two systems, it is not possible to clearly separate out the amount of labor or other resources which are needed to maintain just the Metromover. However, it can be estimated, based on the number of stations and vehicles for each system, that the Metromover alone requires about four communications equipment/turnstile maintainers.

**4. Security:** Security is a primary concern of automated systems, requiring that both actual and perceived risk be minimized. Metromover's security plan combines a limited deployment of security and police personnel with CCTV; emergency radios installed in stations and on vehicles; and design elements, including clear sight lines in stations and visual exposure of stations and vehicles to the streets below. In addition, short headways minimize station waiting time, while short intervals between station stops minimize the time passengers are enclosed in the vehicle. As can be seen from this, Metromover has relied mainly on capital investment such as CCTV, emergency communications systems, and design elements to provide security. A relatively minor role is assigned to police, security, or other operational personnel.

47

While formal crime statistics for Metromover were not available, interviews with Dade County police officials indicated that crime on Metromover has been low, averaging one or two incidents per month, mainly purse snatchings or other minor crimes.

Metromover's current security force consists of two non-police security officers (contracted from a private security service) permanently assigned to two of the Metromover stations. In addition, Metromover and Metrorail police forces who circulate through both systems in uniform and in plain clothes. Police officials indicated that two or three transit officers are assigned just to Metromover on an average day.

5. Control Center: RTCs monitor (and override as needed) the automatic train control system, the power grid board, alarm systems, and the CCTV monitors. Presently, Metromover RTCs are dedicated to Metromover, but plans are to crosstrain Metromover and Metrorail RTCs, who work a few feet away in the control room. Shift assignments call for two RTCs for both the morning and midday/evening shift, and one RTC for the night shift. About seven RTCs are needed to cover all shifts.

6. Other: Station cleaning is a contracted service, supervised by one Metromover superintendent. Metromover's latest yearly station cleaning contract was for \$165,000. Stations receive a light daily cleaning using one cleaner for every two stations. Each station also receives a heavy cleaning two nights per week. Light station maintenance, such as for replacement of lights, and maintenance of the maintenance facility, comprise the remainder of Metrorail's direct staffing plan.

Overhead functions, such as general administration, operations planning, marketing, and accounting, are not included in this, since these functions are already in-place to serve the much more extensive bus and heavy rail systems. In effect, the staffing plan represents the marginal resource requirements of operating and maintaining the Metromover system.

Metromover's staffing requirements as well as information on materials and supplies and power consumption are summarized in Table 1. The table also presents productivity factors, which relate resources to measures of service supply on a per unit basis.

#### Discussion

1. Problems: The major maintenance problem encountered so far has been premature tire wear; manufacturer's specs indicate an expected tire life of 80,000 miles, but tires are now averaging about 40,000 miles. This is attributed to the two-part construction of the bogies, which tend to shift laterally, separate, and crack. The lateral separation causes uneven and premature wear of the tires.

5

**TABLE 1: METROMOVER O&M RESOURCE REQUIREMENTS**

<u>Category</u>	<u>Quantity</u>	<u>Productivity Factor</u>
<u>Labor</u>		
1. Vehicle/Guideway/ Power Maintenance	27 fte*	2.25/vehicle
2. Car Washers	6 fte	0.50/vehicle
3. Store Room	3 fte	0.25/vehicle
4. Turnstiles/Comm. Equipment Maint.	4 fte	0.40/station
5. Maint. Bldg Upkeep	3 fte	0.25/vehicle
6. Control Center RTCs	7 fte	0.58/vehicle
7. In-Station Security	2 fte	0.20/station
8. Roving Police	3 fte	0.30/station
9. Supervisory/Admin.	3 fte	0.25/vehicle
Total Personnel:	58 fte	4.83/vehicle

Materials/Contract Services

10. Propulsion Power	-	3.6 kwh/vehicle mile
11. Station Power	-	230,000 kwh/station/year
12. Station Cleaning	-	\$16,500/station
13. Maintenance Building	-	1.7 mkwh/facility/year
14. Tires		
- current	40,000 miles/tire	\$0.044/v.mile
- optimal	80,000 miles/tire	\$0.022/v.mile
15. Guidewheels		
- current	70,000 miles/wheel	\$0.01/v.mile
- optimal	70,000 miles/wheel	\$0.01/v.mile

\*full time equivalents

**2. Efficiencies:** Metromover experiences economies of "functional integration" and "configuration".

Economies of functional integration refers to both: a) integration into an existing transit organization, which eliminates the need to establish new administrative functions like personnel or accounting; and b) integration with an existing similar mode (Metrorail), which allows sharing of some functions such as turnstile maintenance, security forces, and central control activities.

Economies of configuration means that Metromover's double loop is easier to maintain and service than a similarly sized linear shuttle system. Examples of this include quicker response time to trouble conditions via surface vehicle on the unaffected loop, and quicker deployment of security personnel.

**3. Automated Operation:** Potential reasons that automated operation could entail higher O&M costs than non-automated systems include the need for increased levels of security, more elaborate safety features, increased potential for fare evasion, and a higher level of maintenance force technical skills.

While capital costs of the Metromover are undoubtedly higher than they would be if trains and stations were manned, there is little evidence that much of the O&M costs savings from driverless operation are lost as a result of these other factors. A reasonably high level of security and safety is maintained on Metromover with a relatively small commitment of labor resources, mainly because of extensive CCTV and design features. Crimes are generally minor, averaging one or two per month, while only two fatalities have occurred on the system in over two years, both a result of unauthorized and undetected entry onto the guideway by vagrants during system shut-down. These results are good when viewed in the context of urban conditions in Miami, which suffers high rates of crime and homelessness. In addition, the high level of solid state technology appears labor efficient at the current scale of Metromover, as in-house troubleshooting is usually conducted to the printed circuit board level only; bad boards or panels are sent to the manufacturer for repair or replacement, obviating the need for much in-house bench repair.

#### VANCOUVER SKYTRAIN

##### General System Description

BC Transit's SkyTrain, which began revenue service in January, 1986, is a 13.4 mile dual guideway intermediate capacity line haul system, which now stretches from New Westminster to Vancouver's downtown waterfront. (The system will soon expand southeast across the Fraser River.) Some 10.4 miles is on elevated guideway, 2.2 miles are at-grade, and there is a 0.8 mile tunnel section downtown.

SkyTrain has fifteen stations -- eleven elevated, two at-grade, and two larger underground "showpiece" stations downtown. Platforms are 250 feet long to accommodate up to six-car trains. SkyTrain's maintenance facility is located approximately mid-way along the line, and has extensive track for vehicle testing and storage. SkyTrain vehicles can also be stored along the line on various pocket tracks.

The UTDC-developed system uses smaller than conventional LRT steel wheels on standard gauge track, collecting 600 volts DC from side-facing third and fourth rails. Innovative features of SkyTrain's vehicle/guideway system include the use of linear induction motors and steerable trucks.

SkyTrain vehicles, which have a normal capacity of 75 people (40 seated, 35 standees), are operated as married pairs; normal operation is a four car consist, while six car trains may be operated under high peak conditions. The system currently has 114 vehicles, of which about 88 (22 four-car trains) are in service during a typical peak period. Peak headways average about three minutes, with midday and evening headways about five minutes. Current service hours are from about 5am to 2am on weekdays, 6am to 2am on Saturday, and 8am to 1am on Sunday.

7

Automatic train control is provided by an inductive loop communications system linking wayside and on-board computers. The hierarchical computer system has three levels: Vehicle On-Board Control, which monitors conditions on the vehicle and communicates with wayside computers; Vehicle Control Center, a wayside computer system for train operation and protection; and System Management Center, a wayside computer for automatic train regulation and enhanced control operator interface. Automated operation and control is maintained on the mainline and in most of the yard, and trains are also automatically dispatched between the yard and the mainline. Trains can be taken into and out of service automatically at any point along the mainline. Trains can also be operated manually when necessary. Associated with the train control system is variable-length moving block train protection.

Train control is monitored by controllers at the Control Center, located in the maintenance building. Controllers monitor train operations, enter train routings, and dispatch vehicles into and out of service and in the yard (e.g., trains are automatically sent through the car washer). They also monitor the power system, all system alarms, the CCTV monitors, make emergency and other announcements in the station, communicate with passengers via passenger initiated and activated emergency radios inside vehicles, and secure stations for system shut-down.

Fare collection is barrier-free, requiring proof of payment to SkyTrain Attendants (STAs), who make inspections in the station and on board vehicles. Scattered among the fifteen stations are 84 multi-function ticket machines which dispense single-ride tickets and day passes, and also allow for an "add-fare" to upgrade multi-zone fares. Regular passengers can also buy monthly passes.

#### Operations and Maintenance Resource Requirements

1. Vehicle and Wayside Maintenance: SkyTrain differs from Metromover in that its much larger size requires more specialized maintenance personnel. Vehicle and wayside systems maintainers are not cross-trained, nor do technicians move trains into or out of service; instead, this is handled automatically. As shown in Table 2, SkyTrain's current staffing plan lists 49 guideway/electronics/power systems maintainers, 19 maintainers dedicated to testing and quality control, 63 vehicle maintainers, and 12 maintenance support positions. Total maintenance staff numbers 152 full time positions. The 63 vehicle maintainers do not include interior car cleaners, which is done by contract maintenance. External car cleaning is done through the automated car wash.

2. SkyTrain Attendants: In order to achieve the operating economies and efficiencies of driverless train operation

8

**TABLE 2: SKYTRAIN O&M RESOURCE REQUIREMENTS**

<u>Category</u>	<u>Quantity</u>	<u>Productivity Factor</u>
<u>Maintenance Labor</u>		
1. Vehicle Maintenance	63 fte*	0.55/vehicle
2. Electronics/Power/ Guideway Maintenance	49 fte	3.66/line mile
3. Plant Maintenance	9 fte	0.67/line mile
4. Testing/Qlty Control	19 fte	0.17/vehicle
5. Planning/Support	12 fte	0.11/vehicle
<u>Other Labor</u>		
6. Controllers	22 fte	0.19/vehicle
7. STAs	87 fte	5.80/station
8. Other Operations	4 fte	0.04/vehicle
9. Finance/Administration	46 fte	0.40/vehicle
Total Personnel:	311 fte	2.73/vehicle
<u>Materials/Contract Services</u>		
10. Propulsion Power	-	4.6 kwh/vehicle mile
11. Station Power	-	342,000 kwh/station/year
12. Contract Maintenance	-	\$25,000 cdn/vehicle
13. Other Contract Services	-	\$5,000 cdn/vehicle

\*full time equivalents

and barrier-free fare collection while still providing direct service to the riding public, SkyTrain employs a team of SkyTrain Attendants, or STAs. A mix of full-time and part-time positions provides a roster giving the equivalent of 87 full-time employees.

STAs perform a wide variety of duties including:

- fare checks in stations and on trains (20% to 25% of passengers in stations and 8% to 10% on trains are checked)
- checks of station facilities and equipment
- general security and patrol of stations and trains
- customer information and assistance
- passenger counts
- manual driving of trains when required
- limited troubleshooting of train and station equipment failures
- emergency response and assistance
- manual closing of stations for system shut-down

STAs are deployed according to a zone system, in which teams (usually two STAs) move regularly between stations within a zone. Most zones are two contiguous stations, although the larger downtown stations, which have the highest volumes and the most potential security problems, constitute zones by themselves.

3. Fare Collection: The use of STAs has been effective in enforcing fare compliance. BC Transit surveys indicate



9

that fare irregularities, including passenger errors and evasion, average about 1.5% of all passengers inspected.

**4. Safety:** SkyTrain has now carried about 60 million passengers since opening, with a relatively good passenger safety record. As of mid-1987 SkyTrain management reported no fatalities or serious injuries on-board the trains or at track level; within the past year three fatalities have occurred. The total passenger injury/accident rate on SkyTrain (including train related and non-train related events) now averages about 6.0 per million trips; about one third of these are train related.

A significant built-in safety feature is the Platform Intrusion Emergency Stop system, comprising a set of rigid plates filling in the space between the running rails and the linear induction motor reaction rail for the full length of each station platform. Stepping on these plates causes an immediate emergency braking of all trains within the vicinity of that station. Other safety design features are alarmed gates separating platforms and guideway, in-station emergency brakes, and fencing between the tracks in stations to prevent passengers from crossing the guideway.

**5. Security:** SkyTrain's security plan combines a relatively intensive use of personnel, supplemented by in-station CCTV and on-board emergency communications monitored in the Central Control facility. STAs are most visible and active in maintaining real and perceived security, although STAs are supplemented by a separate transit security police force (shared by the bus system), deployed mainly to higher volume, more potentially crime-prone stations.

SkyTrain management reports a passenger incident rate of about 23 per million passenger trips, or under 50 incidents per month.

**6. Control Center:** Control Center operators are deployed using three to five controllers on any given shift, including a shift supervisor, one controller to monitor the yard, at least one controller for the mainline, and at least one controller to cover the CCTV monitors, emergency alarms and communications, and to make station announcements. There are a total of 22 control operators at present.

SkyTrain's complete staffing requirements as well as information on materials and supplies, contract services, and power consumption are summarized in Appendix Table 2. This table also presents productivity factors, which relate resources to measures of service supply on a per unit basis.

#### Discussion

**1. Problems:** The major problem encountered so far has been excessive rail corrugation and consequent higher than expected noise levels. This has been the result of the

10  
combination of the original steerable truck design and the automated operation of the trains, which result in excessive wheel "hunting". In addition to noise and track problems, corrugation causes more frequent wheel flats; wheel truing is being done at about 20,000 mile intervals, rather than the design frequency of 75,000 miles.

In order to control the problem a major systemwide rail grinding program was implemented. Other measures included development of wheels with a rubber core and changes in truck design. SkyTrain has increased its maintenance quota by five (temporary) positions to work on the rail grinding program.

**2. Automated Operation:** A basic premise of SkyTrain was that the O&M cost savings from driverless operation (and barrier-free fare collection) be partially "reinvested" into improved levels of service to the riding public. In contrast with Toronto's Scarborough AGT (a similar UTDC-built system), which maintains a passive "operator" on the train, SkyTrain relies on its STAs and capital equipment to provide heightened passenger service. Differences in labor agreements as well operating philosophy account for the different approaches in Vancouver and Toronto.

The tradeoff between STAs and in-vehicle operators results in a considerable labor saving for SkyTrain; at current service levels, SkyTrain's operating labor force is less than one-third of what it would be if train operators and in-station ticket agents were employed instead of STAs. At more frequent headways, the labor saving could increase dramatically.

Another labor efficiency at SkyTrain is from automation of yard operations. A full value engineering analysis of the tradeoff between the higher marginal capital investment for yard automation versus labor savings would undoubtedly identify a major life-cycle cost saving.

#### DATA APPLICATIONS

The data presented in this paper can be used as a basis for estimating the operations and maintenance costs of proposed AGT systems. In applying the various productivity rates to proposed systems, it is important to recognize that labor and other resource requirements depend on the size and technology of the system, the operating and maintenance procedures and philosophy to be employed, and even the climate and other natural and social factors of the environment. Thus, for example, the costs of operating and maintaining a proposed line haul system using steel wheels on steel rail would be best estimated using the data from the Vancouver system, while smaller systems would be better modeled after the Miami system. In general, the major variables that would affect cost, and thus would dictate which system to use as a basis for cost modeling, are:

- Size of system. The data in this paper indicate substantial scale economies, with the small Miami system requiring almost five O&M staff per vehicle, versus less than three staff per vehicle in Vancouver.
- System configuration (downtown loop versus corridor line-haul).
- Technology (especially rubber wheeled versus steel rail).
- Staffing procedures (are trains totally automated or is there a passive "operator" on board).
- Type of fare collection system (barrier free with roving attendants versus barrier system).
- Integration with another rail mode. A small AGT system combined with an existing rail rapid transit or LRT system can lead to economies through sharing of maintenance, operating, and administrative functions.

In some cases, it may be desirable to estimate the costs of a proposed system by "mixing and matching" the data from Miami, Vancouver (or other AGT systems where it can be obtained) on a line-item basis, and "building-up" the overall cost estimate by combining the projected costs for individual cost categories.

To illustrate this idea, consider the hypothetical problem of estimating the annual O&M cost of a small five-mile-long rubber-wheeled AGT system connecting two high volume rapid transit lines located on opposite ends of a CBD. After performing an operations planning analysis, it might be determined that the proposed AGT system would require 10 vehicles, would have five stations, and would operate about 750,000 vehicle miles per year. After further determining that the system would use technology and vehicle operations and maintenance procedures similar to Miami, the labor productivity factors in Table 1 would be used to project that about 25 vehicle and guideway maintenance personnel, 5 car washers, about 6 control center staff, 3 storekeepers, and 3 shop cleaners/maintainers would be required. These projected staff requirements could be easily converted to an annual cost by applying wage and fringe benefit rates already being paid to local transit employees. Similarly, propulsion power costs could be estimated by applying the kilowatt hour per vehicle mile rate in Miami to the projected number of annual vehicle miles travelled for the proposed system -- in this example, about 2.7 million kilowatt hours -- and then estimating the cost by applying the locally prevailing power rate charged large volume industrial power consumers.

