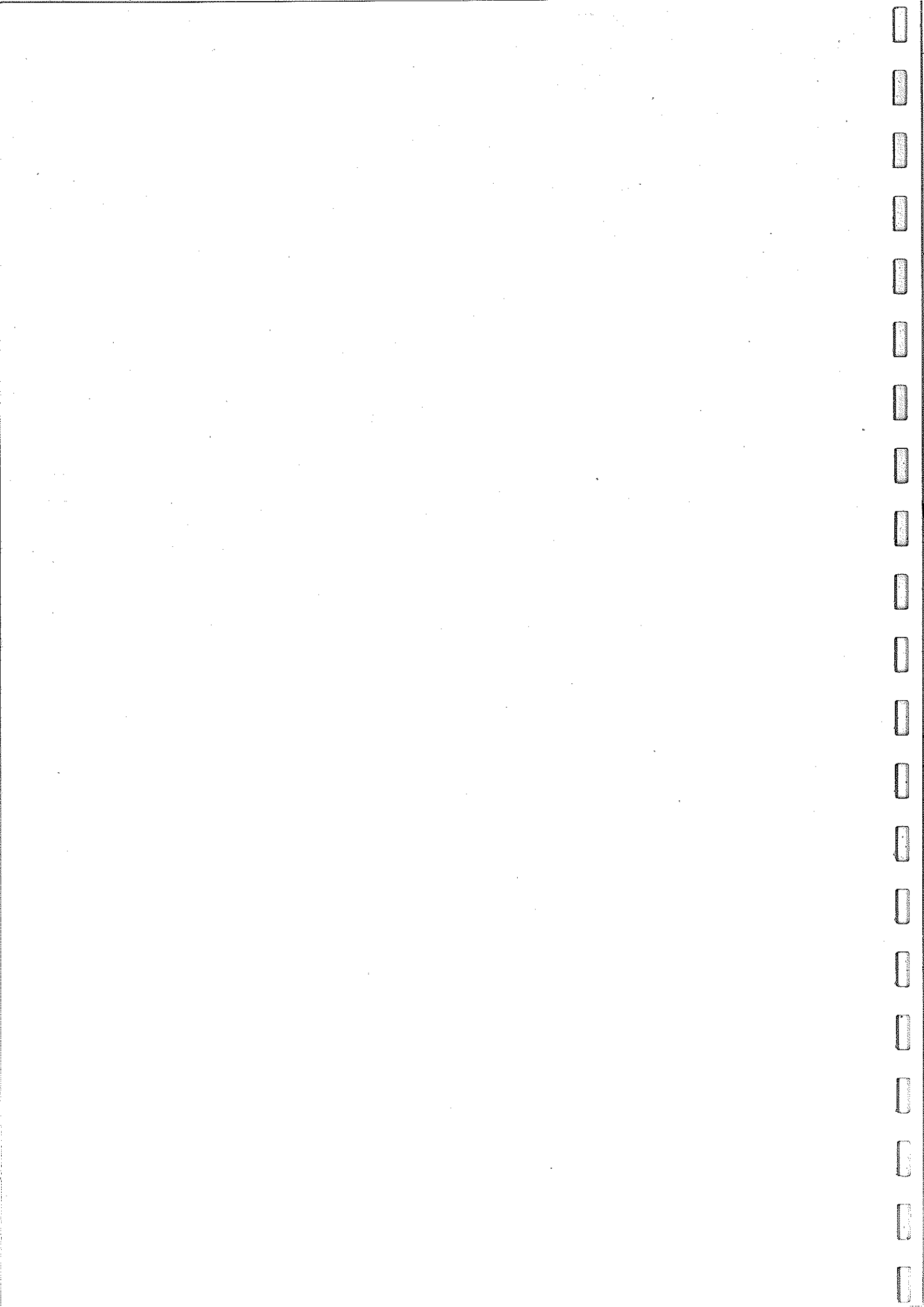


2863

ANALYSE DES SYSTEMES CONCURRENTS

UTDC - WESTINGHOUSE ET MITSUBISHI (NTS et LM)



SOMMAIRE

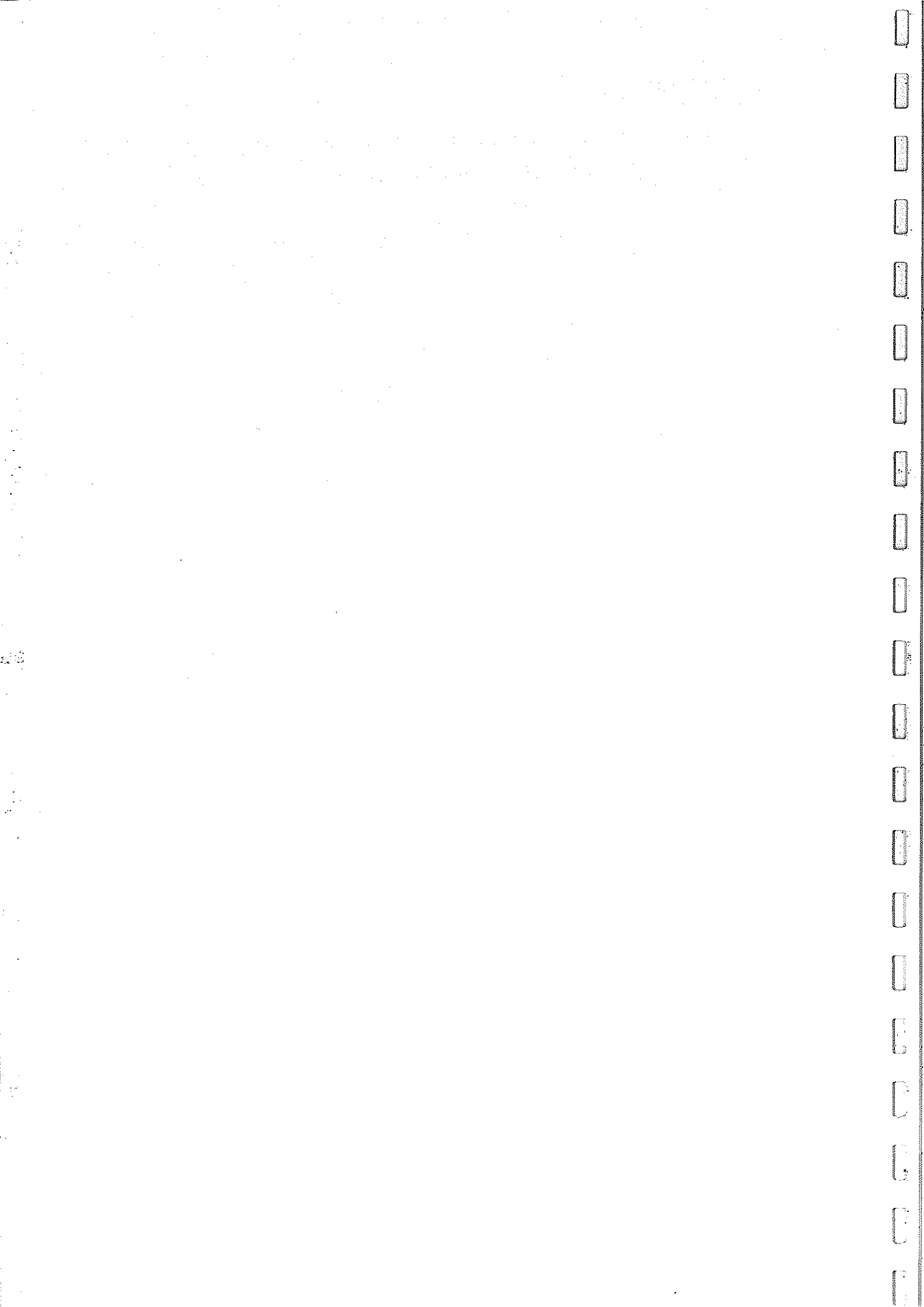
1. INTRODUCTION.....	2
2. LE SYSTEME D'UTDC : ALRT.....	3
2.1. Historique.....	3
2.1.1. Origine.....	3
2.1.2. Différentes réalisations.....	5
2.1.3. Expérience acquise.....	5
2.2. Description du système.....	6
2.2.1. Véhicule.....	6
2.2.2. Voie.....	11
2.2.3. Automatisation.....	13
2.2.4. Sécurité.....	18
2.3. Mise en service, exploitation, Maintenance.....	19
2.4. Incidents - Accidents.....	24
2.5. Avantages et inconvénients de l'ALRT.....	28
2.5.1. Avantages.....	28
2.5.2. Inconvénients.....	28
2.5.2.1. Sécurité.....	29
2.5.2.2. Confort.....	29
2.5.2.3. Exploitation.....	30
3. LE SYSTEME WESTINGHOUSE.....	31
3.1. Historique.....	31
3.1.1. Origine.....	31
3.1.2. Différentes réalisations.....	31
3.1.3. Expérience acquise.....	32
3.2. Description du système.....	34
3.2.1. Véhicule.....	34
3.2.2. Voie.....	40
3.2.3. Automatisation.....	42
3.2.4. Sécurité.....	47
3.3. Mise en service - Exploitation Maintenance.....	48
3.4. Avantages et inconvénients du système Westinghouse.....	49
3.4.1. Avantages.....	49
3.4.2. Inconvénients.....	49

4. LE SYSTEME DE MITSUBISHI : KRT - NTS.....	51
4.1. Historique.....	51
4.1.1. Origines.....	51
4.1.2. Expérience acquise.....	53
4.2. Description du système.....	54
4.2.1. Véhicule.....	54
4.2.2. Voie.....	59
4.2.3. Automatisation.....	63
4.2.4. Sécurité.....	65
4.3. Mise en service Exploitation Maintenance.....	66
4.4. Avantages et inconvénients du NTS.....	67
4.4.1. Avantages.....	67
4.4.2. Inconvénients.....	67
5. LE SYSTEME L.M.....	68
5.1. Historique.....	68
5.2. Description du système.....	68
5.2.1. Le véhicule.....	68
5.2.2. Voie.....	73
5.3. Avantages et inconvénients du L.M.....	74
5.3.1. Avantages.....	74
5.3.2. Inconvénients.....	74
6. LES COUTS DES DIFFERENTS SYSTEMES	75
7. CONCLUSION.....	79

1. INTRODUCTION

Le but de cette étude est de regrouper des informations sur les concurrents les plus actifs de MATRA TRANSPORT. Il s'agit en l'occurrence de UTDC et MITSUBISHI pour les projets espagnols, et de WESTINGHOUSE pour les projets américains (Newark et J.F. Kennedy).

Ce document pourra servir d'une part à faire connaître aux ingénieurs du Service SEI les caractéristiques des systèmes concurrents et d'autre part à faire ressortir les avantages du VAL.



2. LE SYSTEME D'UTDC : ALRT

2.1. Historique

2.1.1. Origine

La compagnie UTDC a été fondée en 1973 par le Gouvernement de l'Etat d'Ontario (Canada) pour la recherche, le développement, la fabrication et la vente de nouveaux matériels de transport urbains, avec une dotation initiale de 100 millions de dollars canadiens.

Cette compagnie dispose de l'appui du réseau de Toronto, le plus important du Canada. Elle a fondé son action sur l'application de techniques allemandes pour développer un nouveau système de transport de capacité moyenne. Après une tentative infructueuse de mise en oeuvre de la sustentation magnétique (Maglev), faisant émerger l'intérêt de certains sous-systèmes (le moteur linéaire, le pilotage automatique à cantons mobiles) ; UTDC a réalisé un prototype viable de système urbain automatique.

Ce système utilise un moteur linéaire des automatismes de conduite allemands (SEL) et un bogie à essieux orientables à roulement fer sur fer. (Coût des recherches : 60 millions CDN \$).

Après avoir gagné les 3 marchés de Vancouver, Détroit et Toronto, UTDC -entreprise d'ingénierie- a acquit 80 % d'une société de fabrication de matériel roulant (HAWKER - SIDDELEY) ayant de gros contrats pour des tramways, des métros et des trains de banlieue. Ce rachat a été à l'origine de la création de Railtrans Industries of Canada (filiale 80 % UTDC - 20 % HAWKER). (Voir figure 2.1.).

En 1986 le Gouvernement de l'Ontario décide de vendre UTDC. Bombardier, le second constructeur canadien de systèmes de transports, après avoir été le plus important candidat à l'achat, renonce après expertise. La société Lavalin (importante société d'ingénierie) rachète UTDC pour 30 M CAD contre 60 espérés par le Gouvernement. En outre seuls 30 % du prix d'achat est versé immédiatement et Lavalin ne prend aucun engagement sur l'achèvement des contrats en cours.

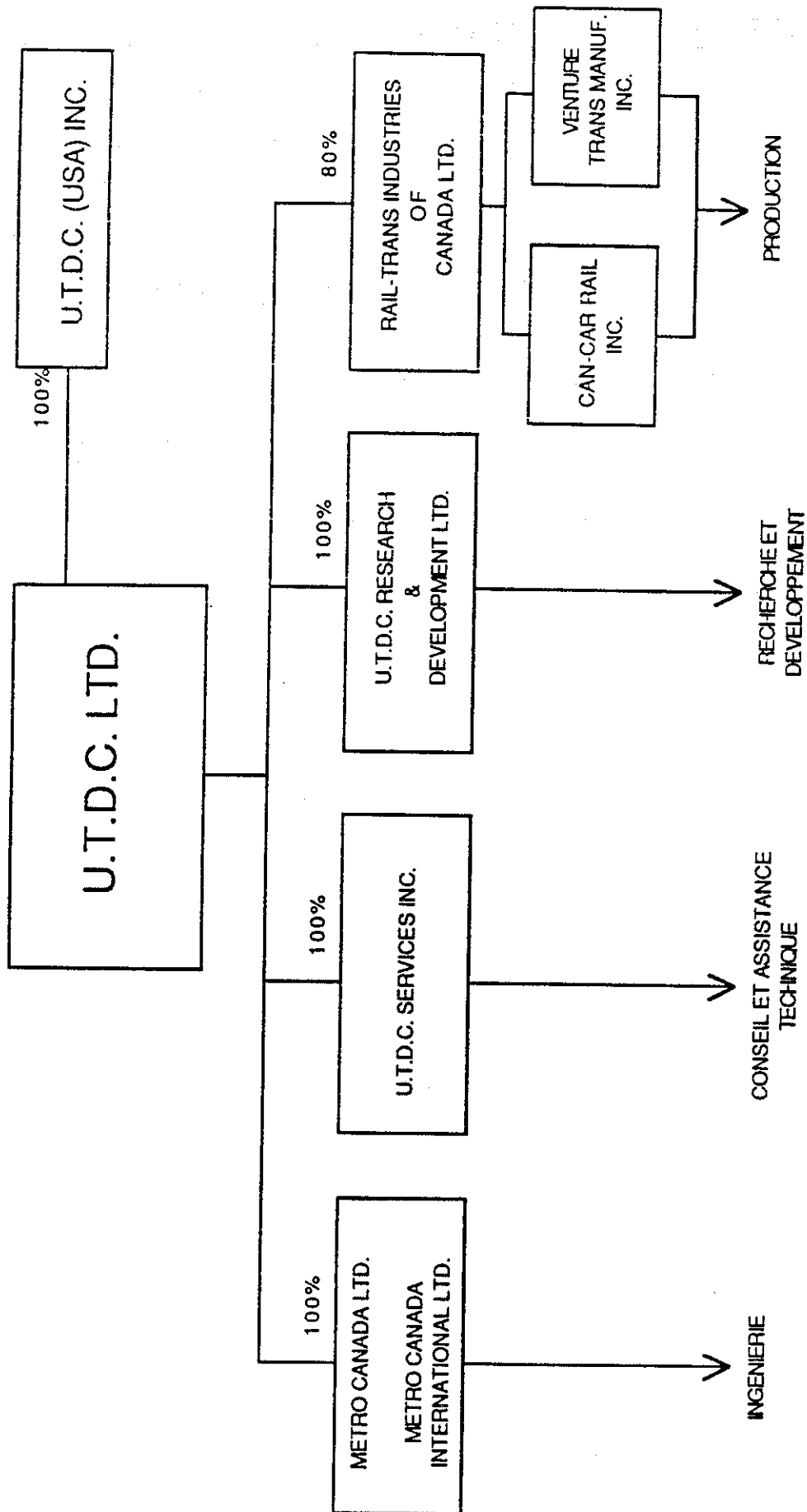


FIGURE 2.1

2.1.2. Différentes réalisations

- **Mars 1985** : La ligne de Scarborough (Toronto) est ouverte au public. Cette ligne de 7,2 km - avec 6 stations - est une extension du réseau de métro existant. Bien que conçu pour être entièrement automatique, le système est surveillé par un agent à bord de chaque véhicule (responsable de la fermeture des portes). Le coût de cette ligne est de 196 millions CAD (85).
- **Janvier 1986** : La ligne de métro automatique la plus longue du monde est mise en service à Vancouver. Cette ligne de 21,4 km relie le centre ville au quartier de New Westminster en desservant 15 stations (voir figure 2.2.). La décision de construire une telle ligne remonte à 1978, année de création de British Columbia Transit, organisme responsable du transport en commun en Colombie britannique.

La construction débute en mars 1982 ; et la mise en service survient à temps pour la desserte de l'exposition internationale de Vancouver (mai - octobre 1986). En effet, le système relie les 2 sites d'exposition en traversant la ville.

- **Août 1988** : La ligne de Détroit (1ère implantation de l'ALRT à l'étranger) est ouverte. Cette ligne est constituée d'une boucle en voie simple de 4,7 km desservant 13 stations. Les études pour ce projet ont été commencées en août 1982.
- **Novembre 1988** : Un consortium mené par Lavalin a été retenu pour les négociations concernant le projet de Bangkok. Ce projet comprend 2 lignes de métro de 34 km au total (avec seulement 1 km de tunnel).

Ce projet n'est pas récent ; il est en débat depuis presque 20 ans à Bangkok.

Les négociations n'étant pas terminées, rien n'est joué mais le consortium, détenu par Lavalin et UTDC (20 %), MITSUBISHI Corp. et MITSUBISHI Heavy Industries (20 %) et 3 entreprises thaïlandaises (60 %) possède de bonnes cartes (entre autres des crédits à taux préférentiels du Gouvernement Canadien et de la Japan Exim Bank).

2.1.3. Expérience acquise

A l'heure actuelle le système ALRT est en service sur les trois sites de Vancouver, Détroit et Scarborough.

	Longueur ligne	Nb. de stations	Nb. de véhicules
Scarborough	7,2 km	6	28
Vancouver	21,4 km	15	114
Détroit	4,6 km (voie simple)	12	12
TOTAL	28,6 + 4,6(voie simple)	33	154

La moyenne par projet est de 10,3 km de voie double avec 11 stations et 51 véhicules.

Pour ces 3 projets, la voie est presque aérienne à 100 %. Seul le Skytrain de Vancouver circule en souterrain mais dans un tunnel qui existait avant la construction du Skytrain.

2.2. Description du système

2.2.1. Véhicule

- Le véhicule a des dimensions relativement similaires au VAL 256.

. longueur	12,70 m
. largeur	2,50 m
. hauteur	3,30 m
. largeur des portes	1,20 m
. hauteur plancher/sol	0,778 m
. ratio largeur porte/longueur véhicule	19 %

Le corps du véhicule est en aluminium semi-monocoque (voir figures 2.3. et 2.4.) et les dimensions du compartiment passagers sont :

. longueur	10,55 m
. largeur	2,20 m
. hauteur	2,04 m

- Le poids du véhicule est de 15 300 kg à vide.
- La capacité du véhicule en charge normale C1 (4 p/m²) est de 80 personnes dont 20 assises. En charge exceptionnelle C2 (6 p/m²) la capacité devient égale à 110 personnes.

En charge exceptionnelle, le poids du véhicule est de 23 000 kg, d'où un poids par essieu de 5 750 kg (11 500 kg par bogie).

- Motorisation : le véhicule est mu par 2 moteurs linéaires (LIM) (un par bogie). Les moteurs sont alimentés en triphasé (tension et fréquence variables) à l'aide d'un onduleur (600 V continu --> alternatif triphasé). Cet onduleur est constitué de 2 modules chacun alimentant un des deux moteurs. Les moteurs linéaires montés sous les bogies permettent de diminuer la hauteur plancher/sol (par rapport aux systèmes à moteur traditionnel). Par contre, la voie doit comporter un rail de réaction en aluminium recouvert d'acier laminé, qui ne doit pas être éloigné du LIM de plus de 11 mm +0 -3 (valeur de l'entrefer) (voir figure 2.5.).

Ces moteurs donnent au véhicule les caractéristiques suivantes :

. vitesse maximale	90 km/h
. accélération	1,4 m/s ²
. jerk max.	0,5 m/s ³

Les moteurs ont une consommation légèrement supérieure à celle du VAL 256 : 2,53 kW/véhicule - km .

- Le véhicule est porté par 2 bogies à axes orientables. Ces bogies ont été conçus pour diminuer le bruit et permettre au véhicule de négocier des courbes serrées.

La suspension du véhicule est réalisée à l'aide de blocs de caoutchouc (silent-block). Ces blocs s'écrasent de 20 mm en pleine charge et induisent une fréquence propre verticale médiocre (1,6 Hz à vide). (Voir figure 2.7.).

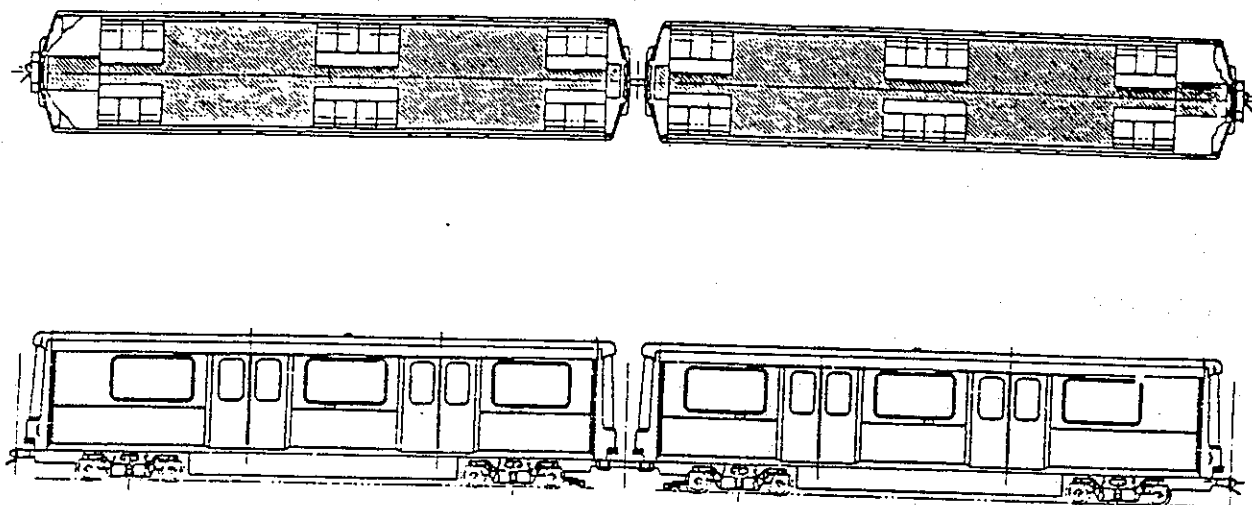


Figure 2.3 BASIC VEHICLE OPERATING UNIT (MARRIED PAIR)

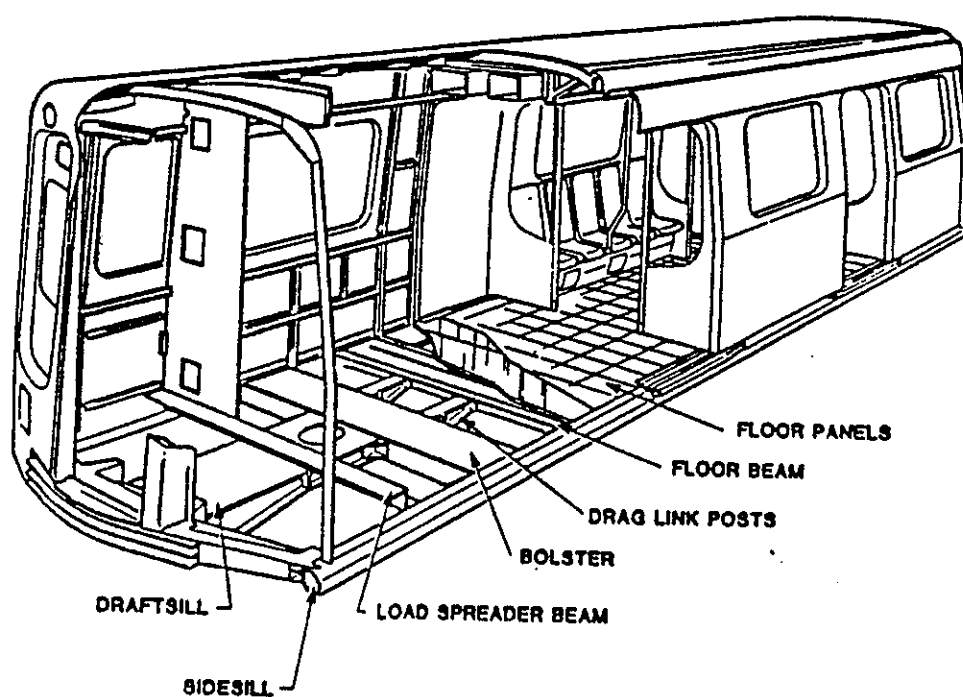


Figure 2.4 CAR UNDERFRAME STRUCTURE

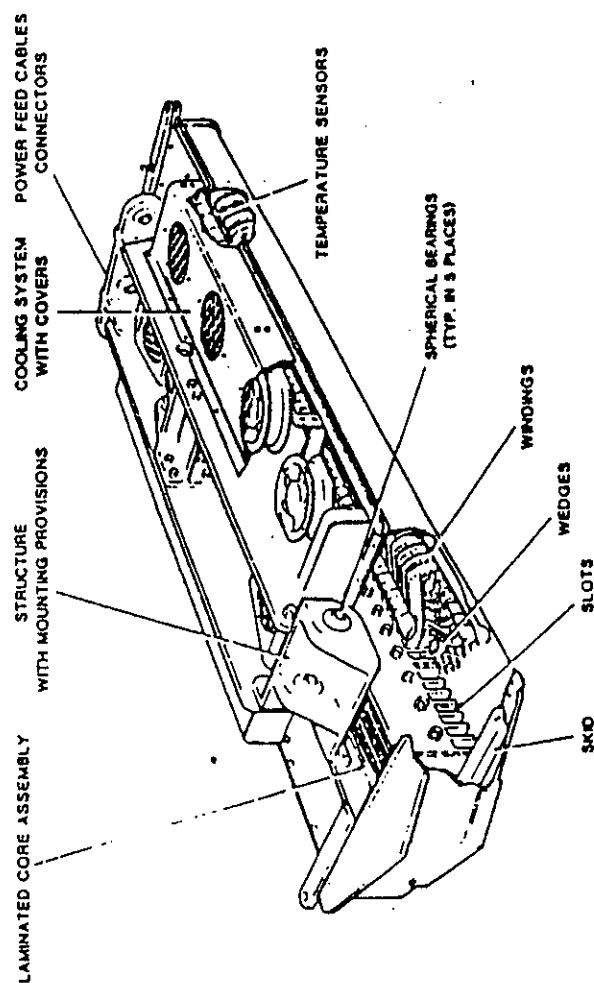
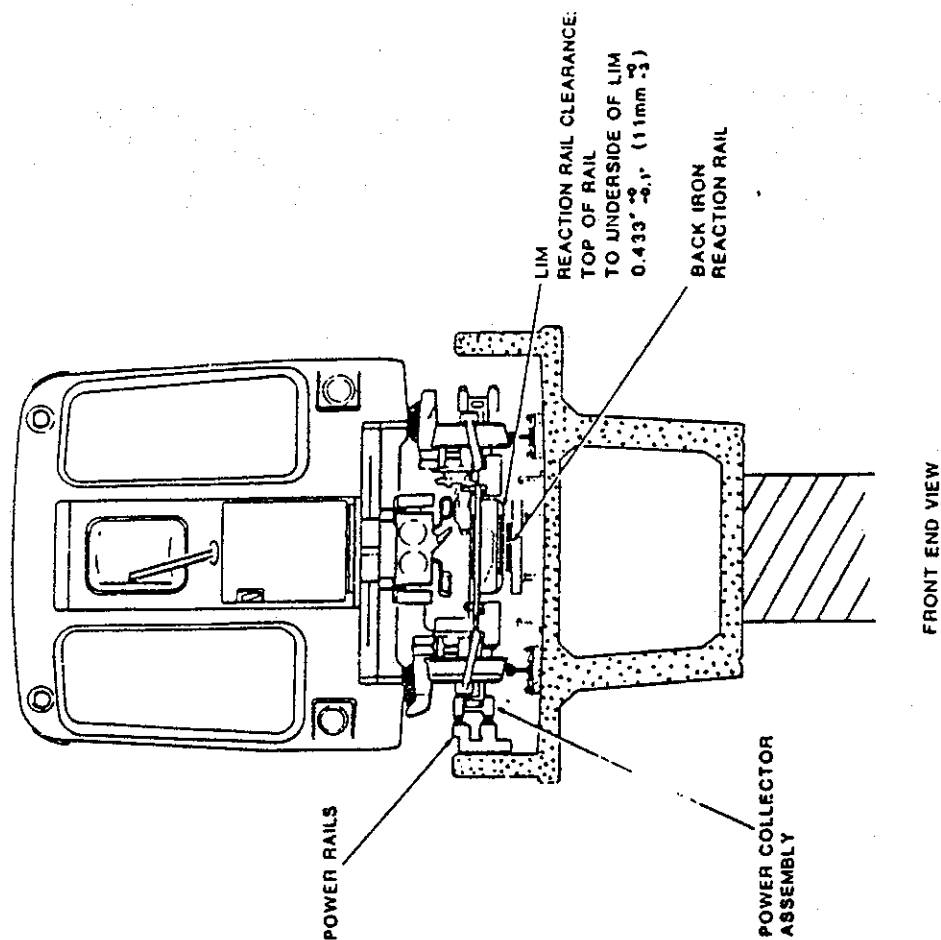


Figure 2.5 VEHICLE GUIDEWAY INTERFACE

PERFORMANCE PROFILE FOR AVERAGE STATION TO STATION RUN

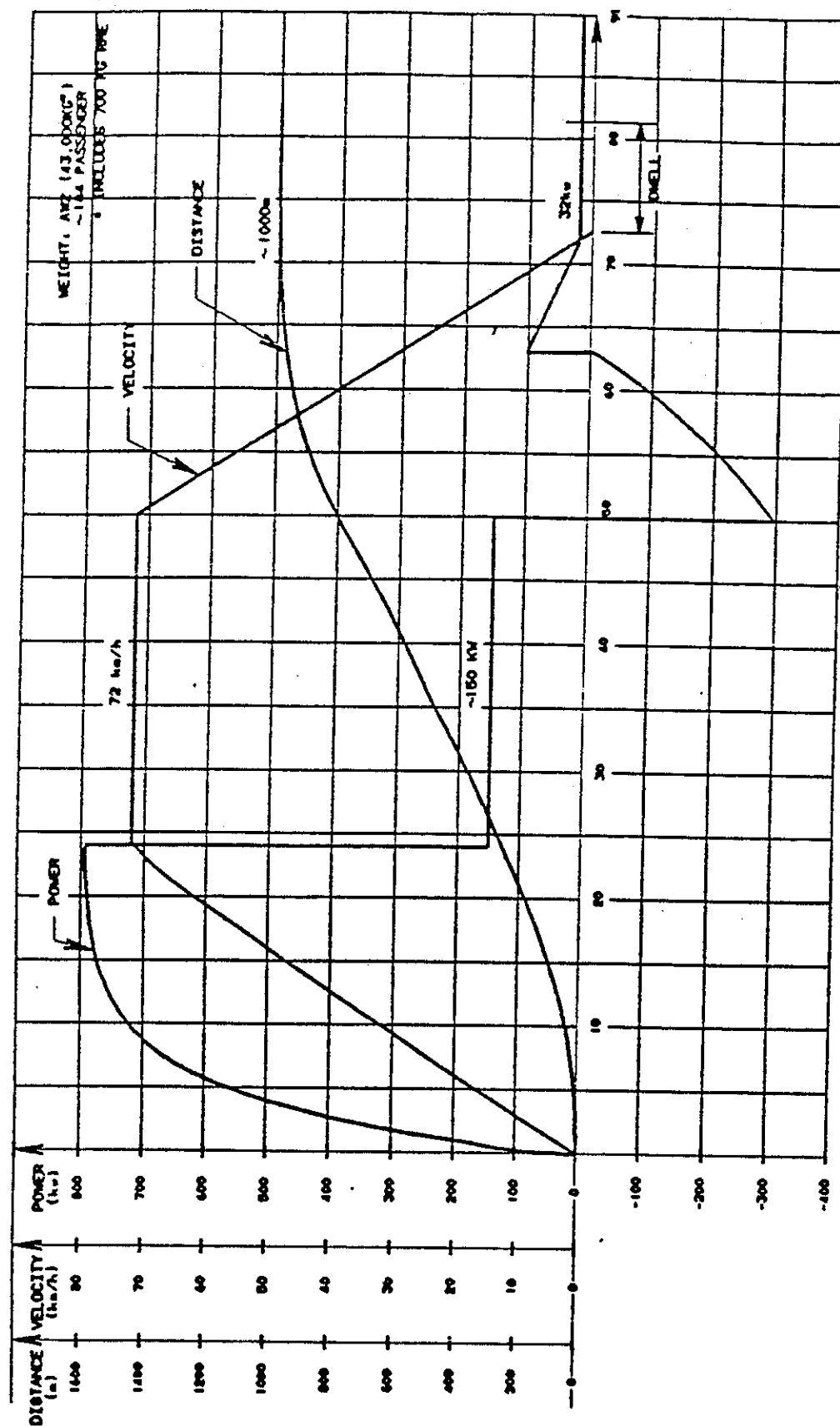


Figure 2.6 PROPULSION BRAKING SYSTEM PERFORMANCE

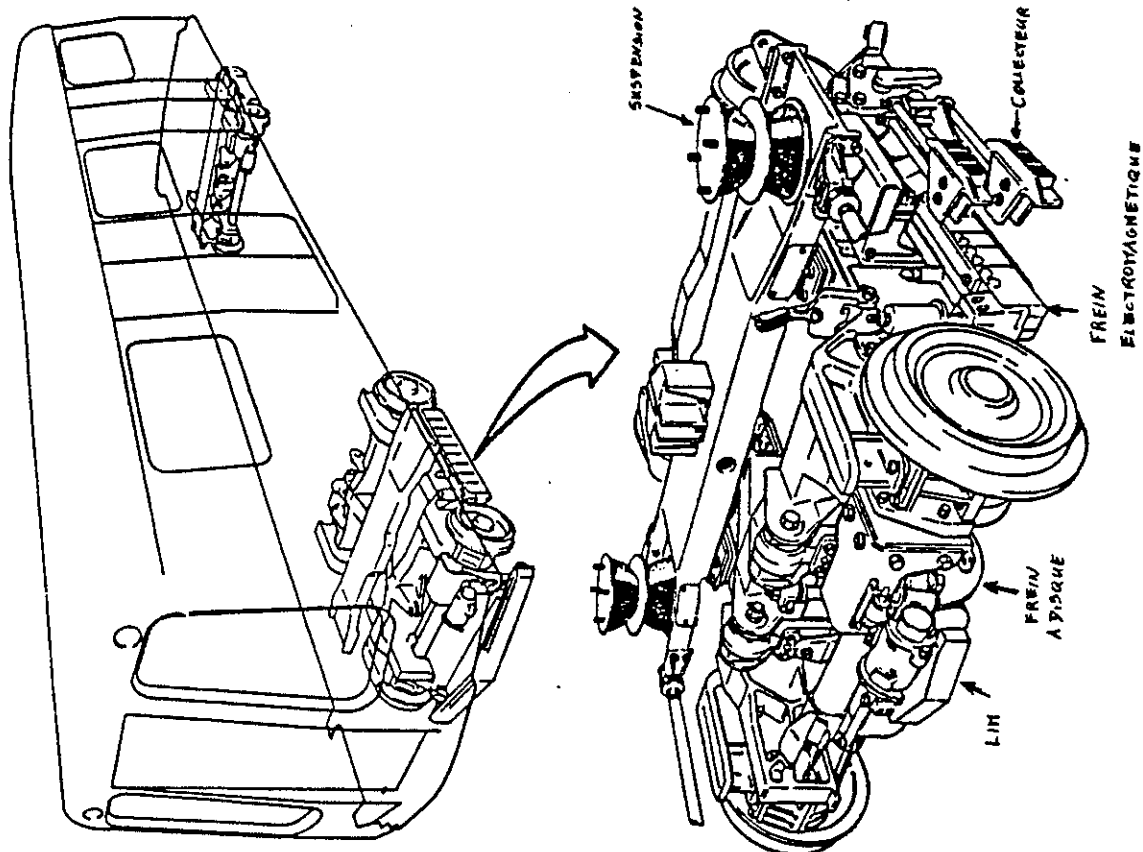
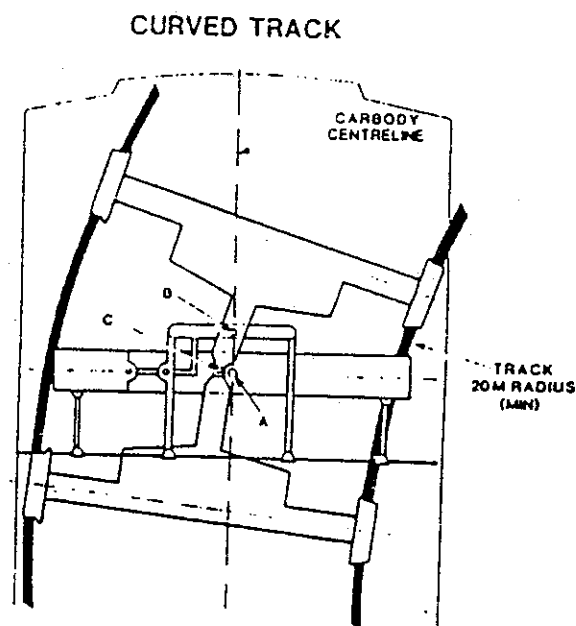
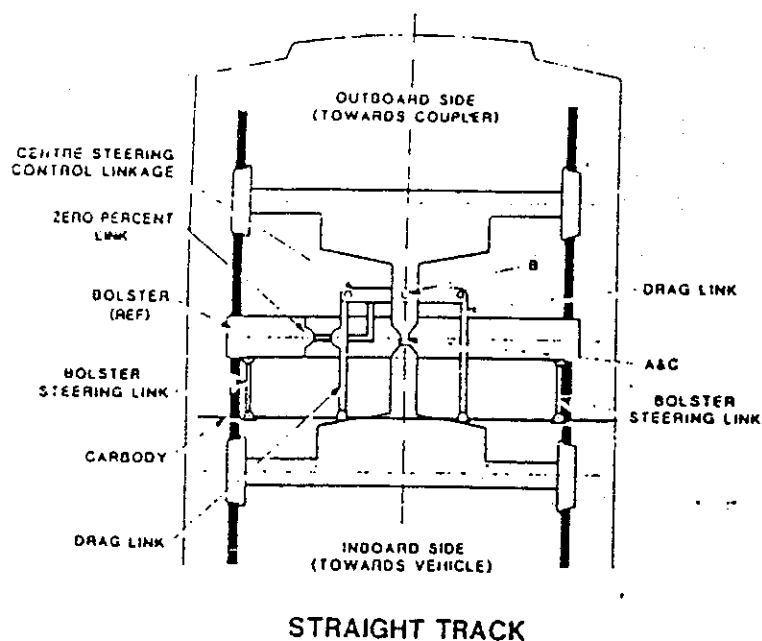


Figure 2.7 STEERABLE TRUCK

- Le système de freinage n'est pas en sécurité. Il est composé de 3 sous-systèmes utilisés pour différents types de freinage :
 - . le freinage à récupération est le freinage de service. La récupération se fait en inversant le flux dans le moteur linéaire.
 - . les freins à disques hydrauliques (freinage par absence de pression hydraulique) sont utilisés comme frein de parking, frein d'urgence lorsque la vitesse est en-dessous d'un certain seuil et en supplément pour le frein de service (dans ce cas la pression hydraulique est modulée).
Le frein à disque n'existe que sur 3 essieux sur 4 (le 4ème essieu défreiné porte les génératrices tachymétriques).
 - . les freins électromagnétiques servent pour le freinage d'urgence. Leur fonctionnement dépend de la charge des batteries du véhicule. Le dispositif comprend 4 patins électromagnétiques (2 par bogies). Ces patins maintenus en position haute (par des ressorts) en fonctionnement normal sont alimentés par les batteries en freinage d'urgence. Les patins deviennent alors des électroaimants qui se collent au rail et freinent le véhicule. Il est important de noter que :
 - les patins dégradent les rails, ce qui entraîne corrosion et bruit.
 - il est nécessaire de surveiller les batteries car en l'absence d'énergie, le véhicule ne peut plus freiner en sécurité.

Le freinage d'urgence permet une décélération de $1,3 \text{ m/s}^2$ et le freinage de service une décélération de 1 m/s^2 .

2.2.2. Voie

Compte tenu des caractéristiques du véhicule et du respect du confort des passagers, le rayon minimal d'une courbe horizontale est de 30 m (négocié en vitesse lente), le rayon minimal d'une courbe verticale est de 1 000 m et la pente maximale est de 6 %.

Le système est basé sur le principe du roulement fer/fer traditionnel. Les rails servent donc de rails de guidage et les aiguillages sont du même type que ceux utilisés par les compagnies de chemin de fer.

Les frotteurs en contact avec les 2 rails latéraux fournissent l'alimentation électrique du véhicule. Ces rails montés sur des isolateurs sont fixés à l'aide de vis ancrées dans le béton.

Caractéristiques du viaduc :

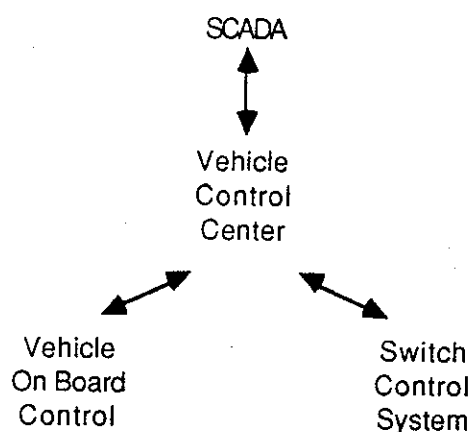
Le viaduc, constitué d'un tablier à 2 voies supporté par une structure caisson comporte une passerelle centrale, sa largeur est de 6,60 m (voir figure 2.8.).

2.2.3. Automatisme

Le système de commande centralisée assure le fonctionnement sécuritaire et automatique. Il peut être divisé en plusieurs catégories :

- l'Automatic Train Control qui comprend l'ATP et l'ATO (Automatic Train Protection et Automatic Train Operation).
- le SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) qui inclut l'ATS (Automatic Train Supervision).
- l'ATC, système SELTRAC développé par SEL Canada (le principe de base est le même que celui du système CORECT utilisé en RFA pour les trains à grande vitesse).

La détection des trains est basée sur le principe du canton mobile. Il existe 3 niveaux hiérarchiques :



Le VCC comprend trois mini-ordinateurs redondants fonctionnant alternativement (voir figure 2.9.). (Pour une ligne telle que celle de Taipei, 2 VCC auraient été nécessaires). Ce centre assure :

- la détermination des positions des trains,
- la gestion des itinéraires,
- l'évaluation de la distance d'arrêt, de la vitesse maximale et de la vitesse de décélération des trains,
- l'interprétation des messages provenant des trains,
- le contrôle des freins d'urgences,
- l'interprétation des messages d'erreurs.

L'ordinateur de l'ATS est l'interface entre les opérateurs et le VCC. Si toutes les conditions de sécurité sont respectées, alors seulement le VCC exécute les instructions de l'ATS.

Le VOBC (Vehicle On Board Control) est responsable à bord du véhicule des fonctions d'ATP et d'ATO. Chaque véhicule d'une "married pair" comporte un VOBC qui comprend lui-même deux CPU (Central Processing Unit) redondantes (l'une vérifiant les calculs

de l'autre). Un seul VOBC par train est actif à la fois. Si le VOBC utilisé a des problèmes, le VCC commute sur le second.

Les trains sont détectés à l'aide d'une boucle inductive dont les fils sont croisés tous les 25 mètres. Une telle boucle peut mesurer jusqu'à 3,2 km de long.

C'est aussi à travers cette boucle que sont échangées les informations entre le VCC et le VOBC.

Pour faciliter le calcul de la position des trains, les points de référence tels que : aiguillages, point d'arrêt station, point de ralentissement, etc..., doivent être espacés de distances multiples de 6,25 m.

Les trains sont aussi détectés par des capteurs électromagnétiques qui comptent les essieux à chaque passage d'un train.

Les transmissions du VCC vers le train se font à la vitesse de 1 200 bits par seconde et les transmissions train vers VCC à 600 bits par seconde.

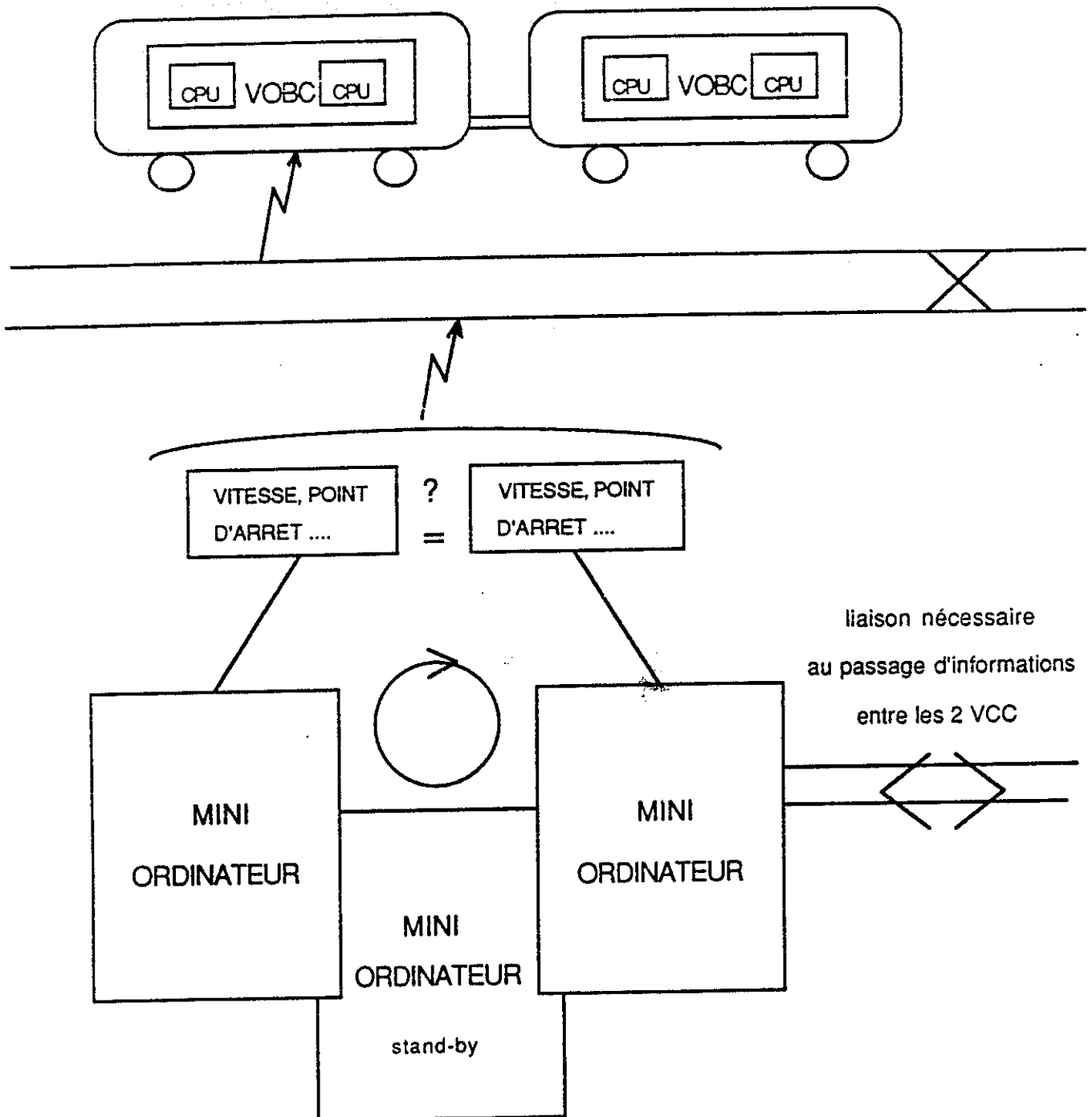
Anti-collision et anti-survitesse :

Chaque train reçoit du VCC sa vitesse maximale, la distance du point d'arrêt calculée en fonction de la position du train qui le précède et le taux de décélération freinage. La résolution de détection des trains étant de 6,25 m, les distances d'arrêt sont multiples de 6,25 m.

La vitesse du véhicule est mesurée par 2 roues phoniques indépendantes (64 impulsions par tour de roue).

A partir des données de freinage et d'arrêt que lui transmet le VCC, le VOBC calcule un profil de freinage. Le VOBC en déduit une vitesse maximale permise (mini de la vitesse transmise par le VCC et de la vitesse du profil de freinage). La vitesse mesurée est comparée à cette vitesse maximale. Le freinage d'urgence est déclenché en cas de survitesse. (Voir figures 2.10 et 2.11).

FIGURE 2.9.



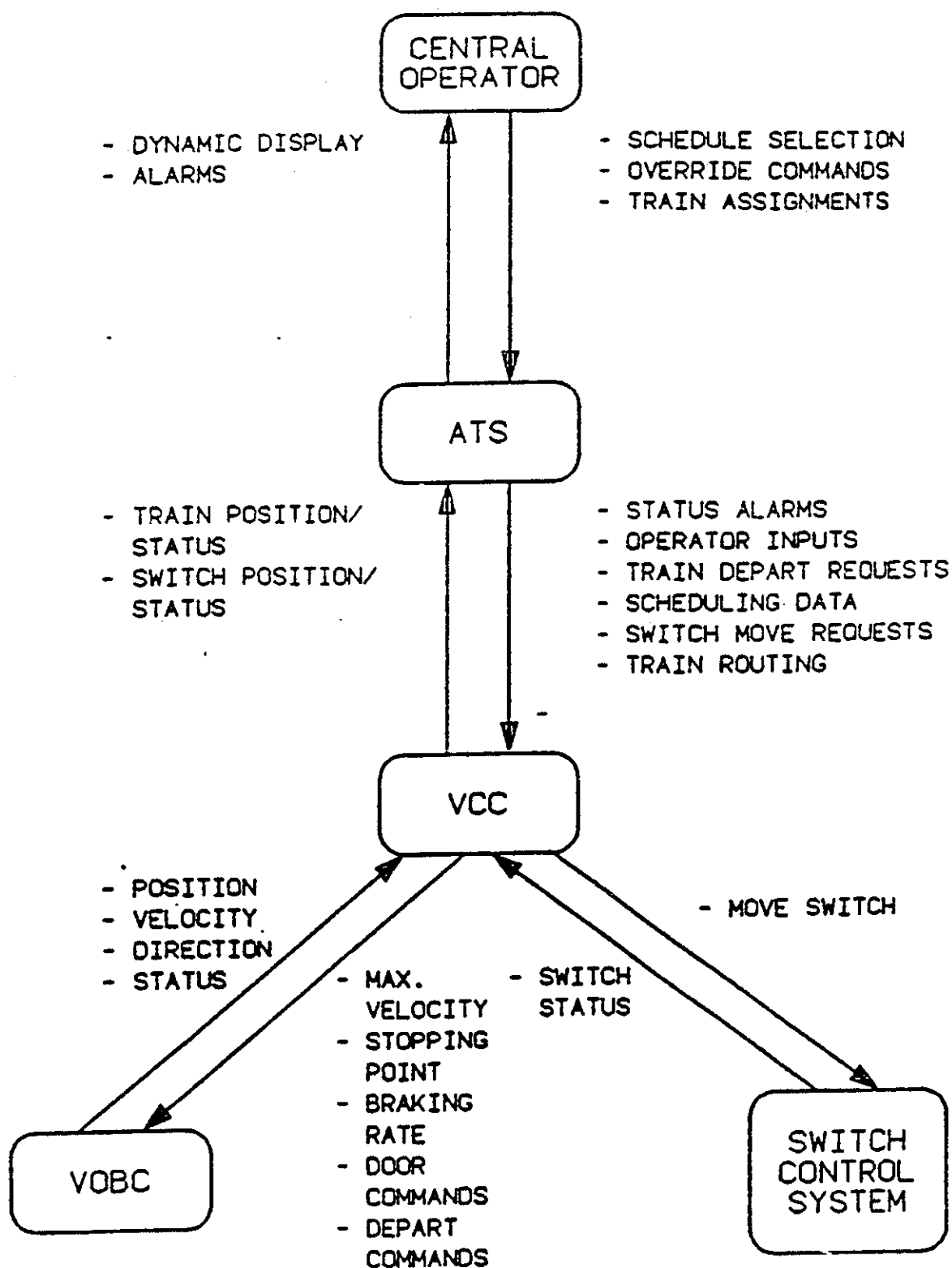


Figure 2.10 SELTRAC FUNCTIONAL INTERACTION.

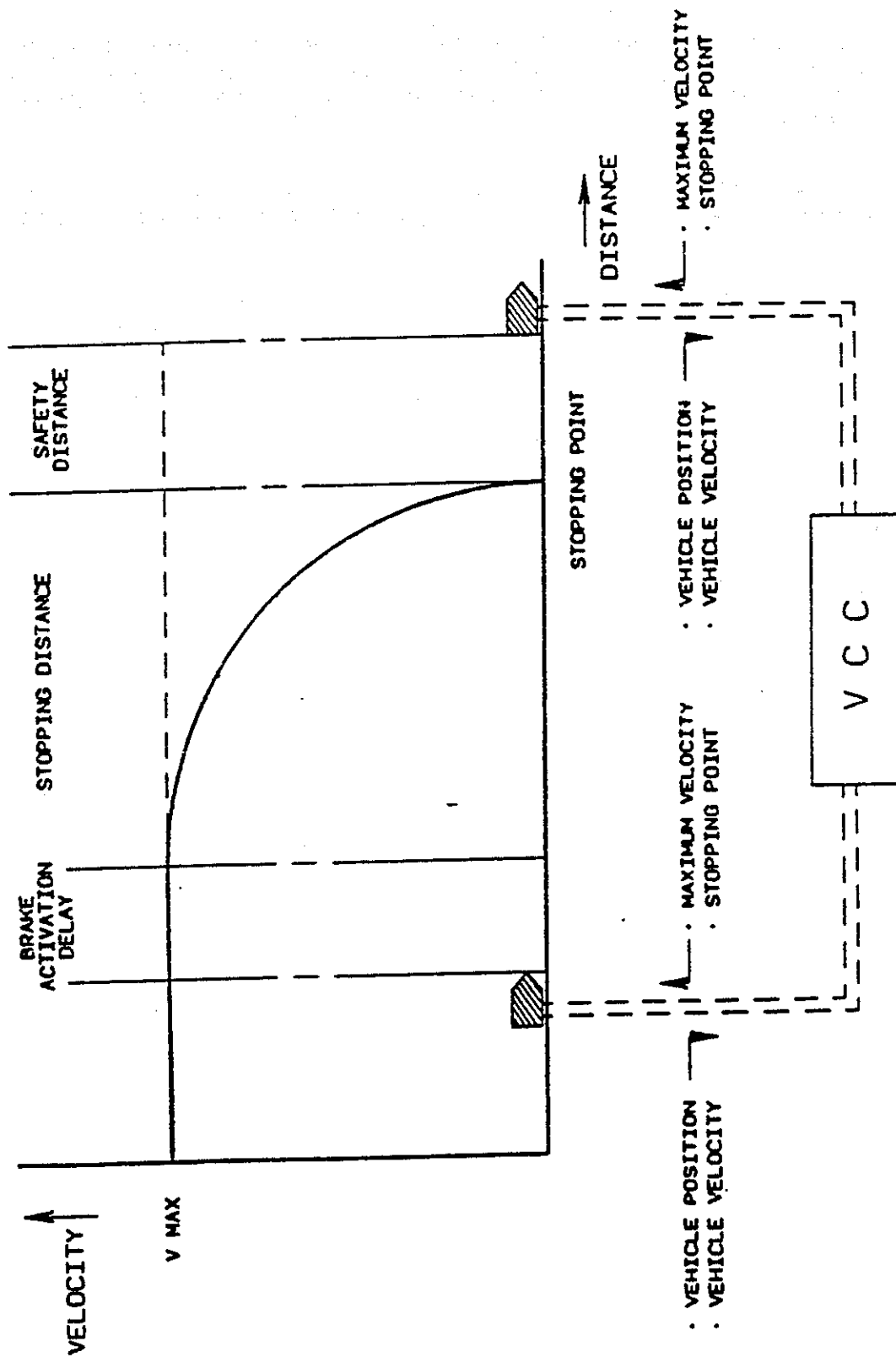


Figure 2.11 SAFETY SEPARATION CONTROL STRATEGY

Arrêt en station

La distance entre le véhicule et le point d'arrêt en station est communiquée par le VCC au VOBC (cette distance est évaluée avec une résolution de 6,25 m). En-dessous de ce seuil, la roue phonique permet d'évaluer la distance parcourue pour que le VOBC puisse calculer le profil de freinage.

La précision d'arrêt obtenue avec ce système n'est pas très bonne, mais ce n'est pas un problème à l'heure actuelle pour UTDC qui n'a jamais construit de stations avec des portes palières.

Capacité du système

Le véhicule ALRT a une vitesse de pointe de 90 km/h mais l'automatisme, bien que basé sur des cantons mobiles, ne permet pas - en exploitation - de descendre en dessous d'un intervalle de 75 s pour un service régulier.

Les véhicules ayant une capacité de 80 personnes (4p/m² debout), le système peut assurer le transport de :

- . 7.680 personnes/h x sens avec des married pairs
- . 15.360 personnes/h x sens avec des trains de 4 véhicules.

2.2.4. Sécurité

Pour certains projets, UTDC propose un système d'évacuation d'urgence tel que seules les portes côté passerelle d'évacuation puissent s'ouvrir.

La position du véhicule (Modulo 6,25 m) est comparée aux informations de position de la passerelle d'évacuation, stockées de façon permanente dans la mémoire du VCC. Le VOBC est alors informé de la position (gauche ou droite) de la passerelle par rapport au train et il peut alors bloquer les portes côté vide.

La coupure automatique de la Haute Tension n'est pas réalisée lors d'un arrêt d'urgence.

De plus, UTDC n'a jamais construit de système avec des portes palières. Deux raisons ont conduit à cette décision :

- la précision d'arrêt assez médiocre de l'ALRT qui obligerait UTDC à développer de nouveaux automatismes d'arrêt en station
- l'augmentation du coût des stations qui serait, selon UTDC, trop élevé par rapport à l'amélioration de la sécurité apportée.

De ce fait, UTDC a installé des détecteurs de chute en station mais ces systèmes ne sont pas sûrs. Le 7 juillet 1988 une jeune femme est tombée entre deux véhicules d'une married-pair lors d'un arrêt en station. Cela n'a pas empêché le train de démarrer.

2.3. Mise en service, exploitation, Maintenance

UTDC a mis en service trois systèmes de transport :

- Scarborough (ouvert en avril 1985)
- Vancouver (ouvert en février 1986)
- Détroit (ouvert en août 1987).

Les projets avaient débuté en :

- Mai 81 pour Vancouver
- Mai 82 pour Scarborough
- Août 82 pour Détroit.

Seul le système de Détroit a été mis en service avec un retard important ; l'ouverture au public était initialement prévue pour octobre 1986.

Depuis la mise en service de ces systèmes, UTDC a dû faire face à un problème de taille, l'usure des rails et des roues des bogies. Ces usures entraînent une augmentation considérable du niveau de bruit émis par le véhicule (98 à 100 dB dans le véhicule et 90 dB à 15 mètres de la voie). Les causes probables de cette usure rapide sont les contraintes élevées au niveau des surfaces de contact. Le petit diamètre des roues et le profil du rail engendrent une surface de contact roue/rail très petite.

En courbe, du fait de la force centrifuge, le véhicule se déplace un peu dans l'axe perpendiculaire au rail ce qui change la surface de contact.

En outre, les faibles rayons de courbure (30 m minimum à Détroit, 70 m à Vancouver) entraînent, malgré les axes orientables du bogie, des glissements au niveau de la surface de contact. De plus les patins électromagnétique des freins d'urgence, participent à cette dégradation des rails.

Toutes ces contraintes accumulées entraînent des modifications des caractéristiques mécaniques des roues et des rails au niveau des surfaces de contact, elles deviennent plus fragiles. L'action de la corrosion ajoutée à cela, des micro-fissures apparaissent et des micro-plaques se décolent des surfaces de contact.

(Voir figures 2.12 à 2.15).

Ayant trouvé la principale cause du bruit, UTDC a pensé pouvoir le résoudre facilement. Il était nécessaire de modifier le profil des rails et d'améliorer leur état de surface.

Pour obtenir le niveau de bruit requis par les spécifications (68 dB dans le véhicule et 74 dB à 15 mètres de la voie) l'état de surface ne devait pas présenter des aspérités de plus de 1,5 μm (60 micro-pouces).

UTDC a dû développer de machines spéciales permettant de refaire à neuf le profil des rails.

Un véhicule autotracté, équipé de quatre meules montées sur un système hydraulique, permet de rectifier la surface des rails. le profil des rails a été refait par un véhicule qui a été démonté après les travaux. (voir figures 2.16 et 2.17).

Actuellement le problème du bruit existe encore et il est nécessaire de passer régulièrement le véhicule de maintenance pour rectifier les rails.

De ce fait, les coûts de maintenance ont considérablement augmenté par rapport aux prévisions et la durée de vie des rails a diminué car on ne peut pas les rectifier indéfiniment.

En plus de ces travaux, n'ayant toujours pas résolu le problème des nuisances chez les riverains, la compagnie BC Transit a dû payer 1 million de Dollars Canadiens (avril 1988) pour poser des triples vitrages chez les résidents et une barrière d'isolation phonique. Cette barrière s'étend sur environ 2,5 km là où la voie est au niveau du sol.

A Scarborough, il a été nécessaire de planter 800 arbres pour limiter les effets du bruit.

D'autres mesures ont été prises, comme par exemple la limitation de la vitesse à 50 km/h à Détroit quelle que soit l'heure et à Scarborough après 10 heures du soir.

Figure 2.12 et 2.13

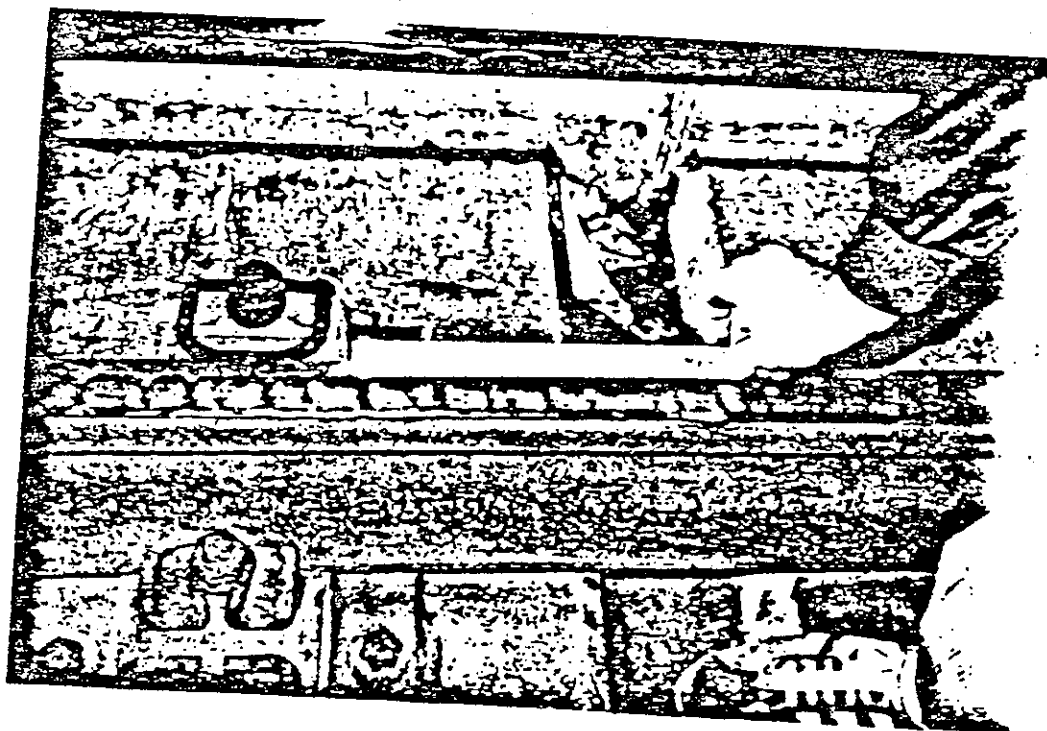


Figure 2.12 Standard Corrugation
Throughout Tangent Track

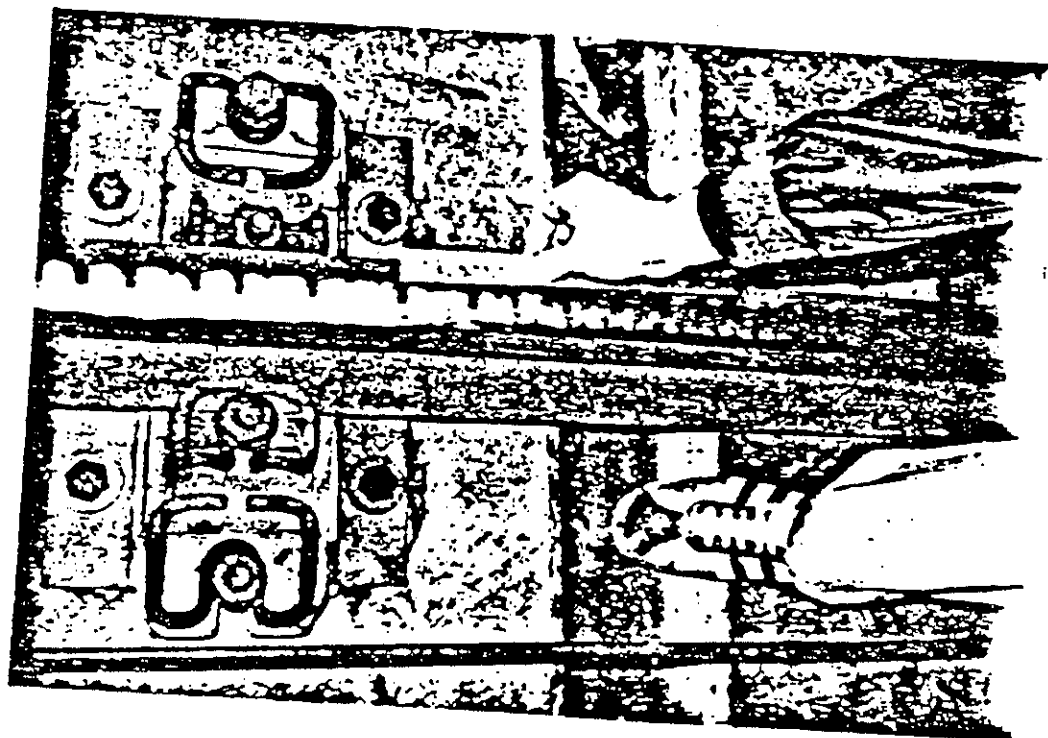


Figure 2.13 Standard Corrugation

Figure 2.14 et 2.15

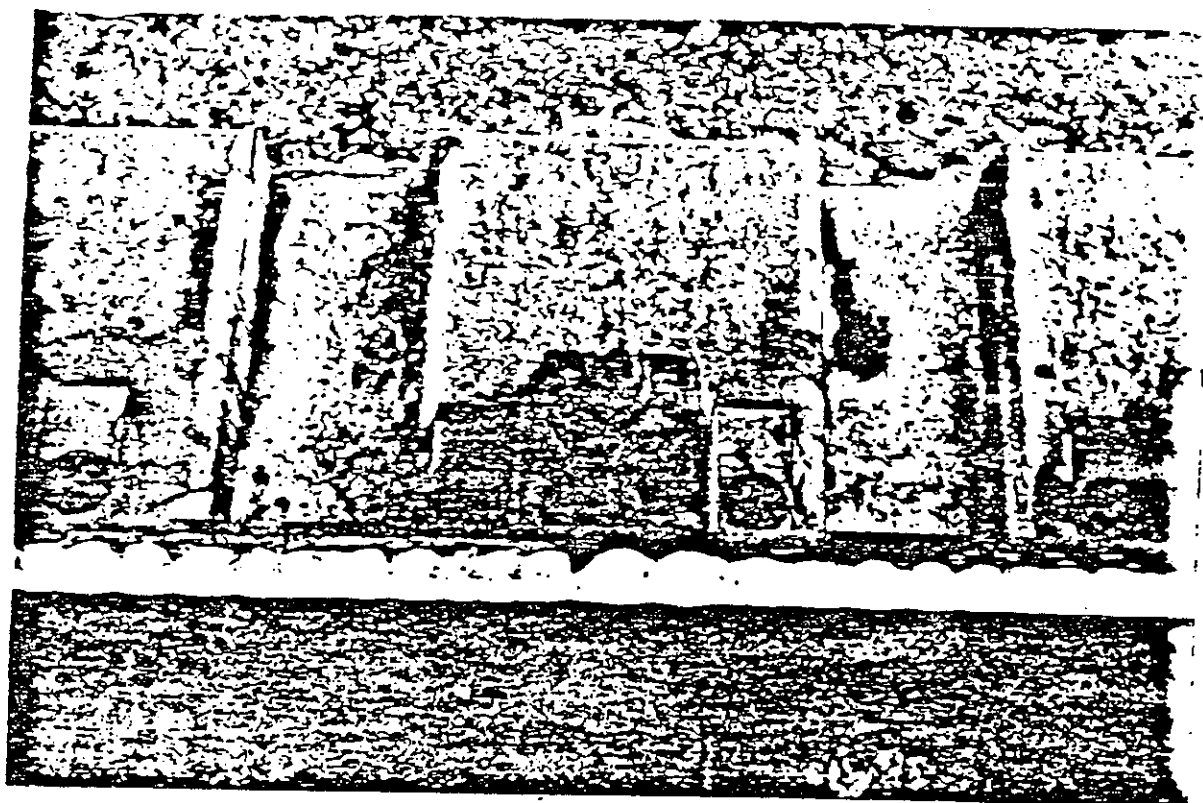


Figure 2.14 Change in Corrugation Pattern
at Field Welded Joint

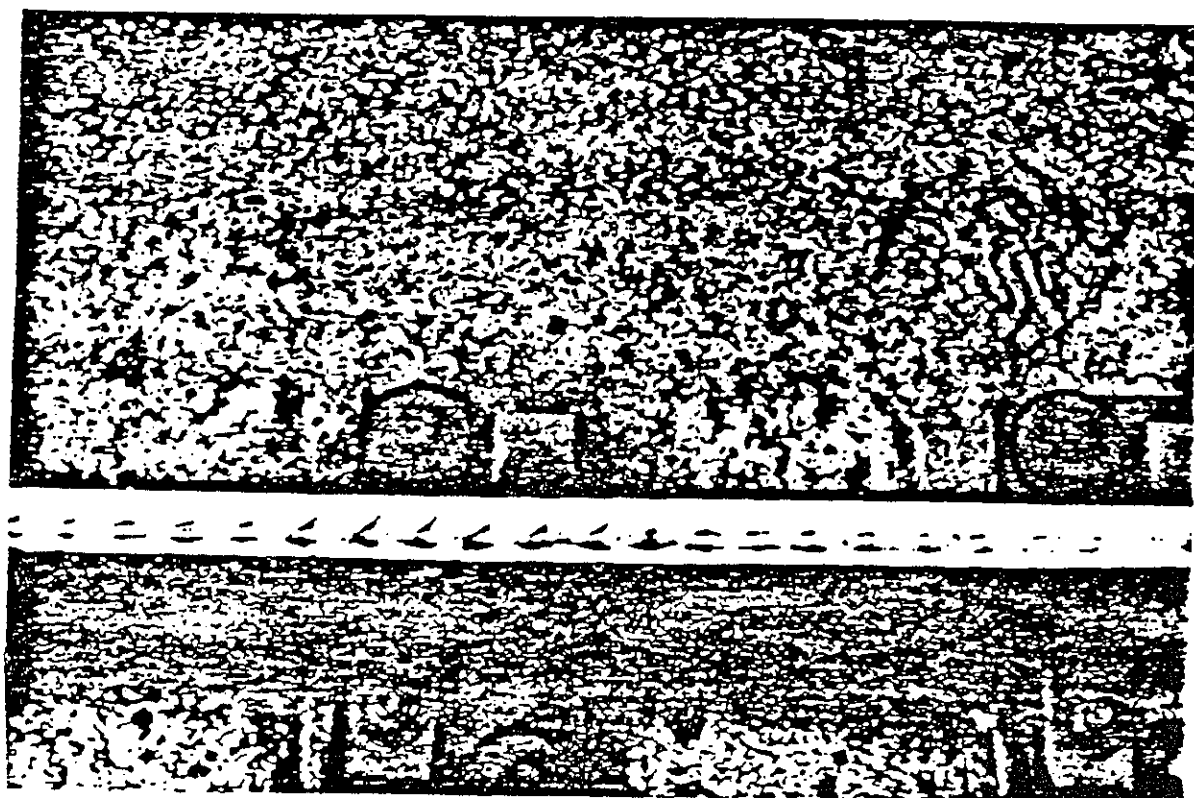


Figure 2.15 Angular Corrugation in Curves

Figure 2.16 et 2.17

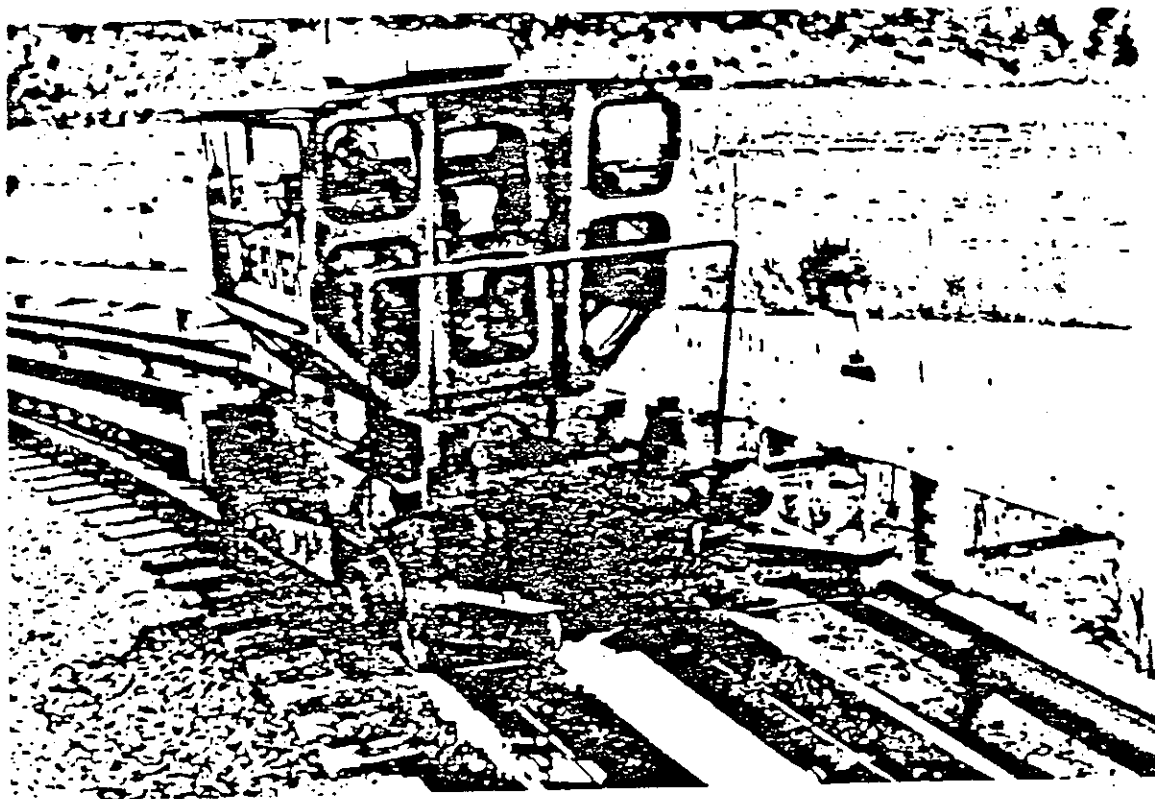


Figure 2.16

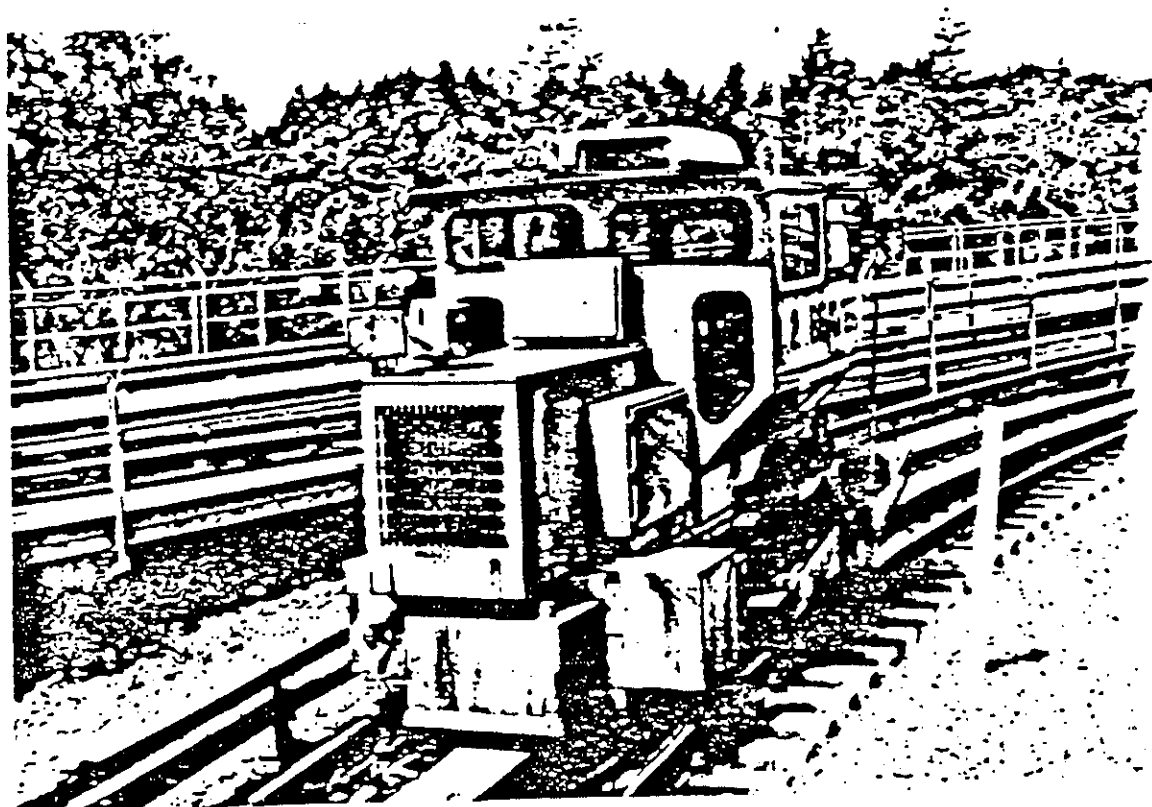


Figure 2.17

2.4. Incidents - Accidents

A l'heure actuelle le système d'UTDC est sûrement celui qui a causé le plus de victimes.

Depuis sa mise en service, le Skytrain (Vancouver) a tué 3 personnes.

- 15 septembre 1987, un homme de 56 ans se jette sous le train au moment où il arrive en station
- 25 décembre 1987, une jeune femme de 23 ans est écrasée par un train
- 7 juillet 1988 une jeune femme de 26 ans tombe entre 2 véhicules au cours d'une crise d'épilepsie. Elle est tuée par le train lors de son départ de la station.

Ces trois victimes ne sont pas les seules, 2 autres personnes ont été tuées pendant les essais.

- En août 1985, un adolescent de 15 ans, ayant grimpé sur la voie, est tué par un véhicule en cours d'essai à Vancouver.
- En mai 1987, un jeune homme ayant grimpé sur la voie à Détroit, prend peur en voyant arriver un véhicule en essai, il tombe et se tue (il n'y a pas de passerelle d'évacuation le long de la voie).

Ces deux dernières victimes ne sont pas réellement imputables au système car elles sont dues à une intrusion.

Les 3 autres auraient pu être évitées d'une part par la présence de portes palières en station, d'autre part par une signalétique plus appropriée.

En effet, pour éviter le vandalisme et les utilisations intempestives des boutons d'alarme, la compagnie BC Transit (Vancouver) avait volontairement affiché insuffisamment d'informations concernant la localisation et l'utilisation de ces boutons. De ce fait, ni les passagers du véhicule ni les personnes en station ne savaient comment empêcher le départ du train lors de l'accident de juillet 1988.

En fait, les boutons d'alarmes avertissent le Poste de Commande qui doit ensuite faire le nécessaire pour arrêter le train. Il n'y a pas dans le Skytrain de bouton d'arrêt d'urgence (voir figures 2.18 et 2.19).

Suite aux accidents, les conclusions des différentes enquêtes demandaient à BC Transit de modifier la structure des stations aériennes pour empêcher que des personnes puissent les escalader, et d'installer des barrières ou des portes le long des quais pour éviter les chutes sur la voie (l'accident de juillet 1988 ayant prouvé que les détecteurs de chute sur la voie n'étaient pas suffisants). En outre, il était demandé d'installer des lignes de communications avec les services d'urgence (police, pompiers, ambulances) de toutes les municipalités desservies par le Skytrain.

Malgré tous ces accidents, UTDC prétend dans les réponses à appel d'offres, que depuis l'entrée en service de l'ALRT sur les différents sites, il n'y avait pas eu d'accidents ayant causé des blessés (voir figure 2.20).

Figure 2.18.

The Province

Friday, July 8, 1988

* 3

SkyTrain crushes

By IAN AUSTIN
and DON HAUCKA
Staff Reporters

Philip Beck desperately tried to keep a SkyTrain from crushing a young woman.

But his screams for help fell on deaf ears yesterday as the train he was on squeezed the life out of the 27-year-old Lower Mainland woman at Stadium station.

"The woman next to me gasped, 'Oh my God — there's a woman stuck in the train,'" said Beck. "I was yelling and waving my hands to try to stop the train and I was pushing the yellow (emergency) bar."

But the 28-year-old Vancouver travel agent had to stand helplessly in the train as the woman was dragged under it — becoming the fourth SkyTrain victim in three years.

"It appears she went down between two cars but definitely not in front," said coroner Mary Lou Merner.

The station attendant was up an escalator, out of earshot, and the automated train pulled out despite Beck's cries.

"The biggest safety factor I feel was lacking was a clearly marked emergency stop button," said Beck. "I would have hit that first thing."

In fact, there are emergency stop buttons in every SkyTrain transit station. But B.C. Transit

SKYTRAIN DEATHS

SkyTrain has blood on its tracks for the fourth time in less than three years.

Now three people have died in the last 18 months.

■ Harold Furszedon, 15, died in August, 1985, while walking along tracks near the 22nd Street station six months before SkyTrain started operations. A train on a test run hit him.

■ Gail McNaughton, 56, committed suicide Sept. 15, 1987, by leaping in front of a SkyTrain as it pulled into the 29th Avenue station.

■ Lance Fenton, 23, died Christmas Day, 1987, when he was hit by a train while trying to elude SkyTrain security.

A woman had complained that a man exposed himself to her on a train pulling into the Royal Oak station.

doesn't want the public tampering with them.

"The company has not had the policy of letting the public know about them," said Ann Harvey of the Office and Technical Employees Union, which represents about 300 SkyTrain workers.

"I think it would be a good idea to have those buttons labelled."

B.C. Transit spokesman George Stroppa said the buttons are in emergency cabinets. He wouldn't debate whether the buttons should be prominently labelled.

He said he'd like the coroner to provide that insight.

"If there's anything that could have been done, I'm sure that will come out in the coroner's report."

Stroppa insisted the automated transit system is not a killer and "no mechanical failure" occurred yesterday.

"The system is still safe, and when the details of the investigation come out I think the reasons for this incident will be self-evident," he said.

Doubting a suicide, coroner Merner said the woman died instantly of head injuries.

Police, the coroner and B.C. Transit are investigating.

Woman



City police cover body of victim after she was killed by SkyTrain yesterday.



PHILIP BECK
waving and yelling

Staff photo by David Clark

Figure.2.19.

Better safety urged

Staff Reporter

SkyTrain's \$30-million, state-of-the-art safety features proved useless because people didn't know how they worked.

A B.C. coroner's jury probing the death of a Burnaby woman who fell between two SkyTrain cars, yesterday urged the Crown corporation to improve safety education and install more emergency signs.

Lori Ann Gabourie died July 7 after accidentally slipping into the metre- (3.2-foot-) wide space between two of the automated transit cars at the Stadium station in Vancouver.

The 26-year-old woman likely suffered a sudden epileptic seizure and was dragged 60 metres (196-feet) by the computer-controlled train.

Passengers who tried to save her couldn't find the emergency buttons to stop the train.

Two of the passengers said they mistakenly thought a yellow "attendant call" bar inside the coach would stop the train.

"I tried yelling and waving and

motioning to others on the train to push the yellow bar," said Philip Beck, 28, who jumped off the train to try to help. "I thought it would stop the train, but it left."

A SkyTrain consultant admitted plans for signs to draw attention to the red, emergency-stop buttons on the platform were scrapped.

Tom Parkinson said the signs weren't installed because the company feared vandals.

The trains can also be stopped by holding the doors open — although emergency signs do not clearly specify this.

Gabourie's body was caught between the cars and did not hit pressure-sensitive pads on the tracks that stop the train.

Five other people who've fallen between SkyTrain cars since the system started in 1985 were saved when their weight activated the sensor plates.

The jury also urged B.C. Transit to install more video recorders to monitor platforms and to consider gates or nets to prevent people falling between cars.

"The Province" - 12 octobre 1988

figure 2.19

2.5. Avantages et inconvénients de l'ALRT

2.5.1. Avantages

- Le véhicule ALRT est plus rapide que le VAL (90 km/h contre 80) mais, du fait des accélérations et décélérations plus fortes du VAL, et des intervalles de temps plus courts permis par l'automatisme, les capacités de transport du VAL sont meilleures :

15.400 personnes par heure et par sens pour UTDC contre 18.500 pour le VAL 206 et 19.200 pour le VAL 256 (avec 4 personnes par m² debout).

- Le moteur linéaire permet d'éviter les problèmes d'adhérence mais il oblige à respecter des tolérances assez serrées pour le positionnement du rail de réaction en vue de limiter les variations de l'entrefer.
- Le roulement fer/fer permet d'éliminer les risques de dégonflement et de crevaisson du pneu et les risques d'incendie. Mais, le choix de ce type de bogie fait disparaître les avantages du moteur linéaire (limiter le bruit en éliminant les accouplements et arbres de transmission) car l'expérience a montré que le contact roue fer-rail est bruyant si les éléments ne sont pas neufs.
- Ce type de bogie permet d'utiliser un système d'aiguillage simple, fiable et peu coûteux.
- L'automatisme a une certaine avance technologique sur le VAL car il utilise l'informatique comme élément sécuritaire.

En outre, il permet de télécommander à partir du centre de contrôle non pas 3 vitesses (0,8 m/s, 5 m/s et 10 m/s) mais n'importe quelle vitesse inférieure à la vitesse maximale (le véhicule choisit bien sur la plus petite des vitesses imposées par le PCC et le VOBC).

- Le véhicule n'ayant pas de problème d'adhérence, il n'est pas nécessaire de chauffer la voie en hiver. Il faut quand même signaler que la présence de givre ou de neige sur le rail de réaction diminue les performances du moteur.

2.5.2. Inconvénients

Pour une argumentation plus aisée, les inconvénients sont regroupés dans 3 paragraphes sécurité, confort et exploitation.

2.5.2.1. Sécurité

- Il n'y a pas à l'intérieur du véhicule de poignée d'évacuation d'urgence permettant aux passagers de faire stopper le véhicule. Il y a uniquement des boutons qui déclenchent une alarme au Poste de Contrôle, les agents devant ensuite faire le nécessaire pour arrêter le train (voir figures 2.18 et 2.19).
- Le freinage d'urgence n'est pas en sécurité positive, il est nécessaire de surveiller les batteries alimentant les patins électromagnétiques.
En outre, il ne peut pas être déclenché directement par les passagers.
- Il n'y a pas de portes palières car elles sont inutiles selon UTDC. Il est à noter que les conclusions de l'enquête sur l'accident de juillet 1988 demandent à BC Transit de mettre des barrières ou des portes le long du quai. L'implantation de telles portes pose des problèmes à UTDC du fait de la mauvaise précision d'arrêt du véhicule.
- En ce qui concerne l'évacuation d'urgence, UTDC propose maintenant la possibilité d'une évacuation latérale, alors qu'à Vancouver, Détroit et Scarborough, l'évacuation se fait sur la voie par une porte frontale avec ce que cela entraîne (dénivellation de 80 cm, obstacle sur la voie). Cette évacuation comprend la détection de la passerelle latérale pour ouvrir les portes du bon côté.

De plus, les deux portes du véhicule présentent une ouverture de 1,2 m ce qui donne un ratio $\frac{\text{ouverture portes}}{\text{longueur véhicule}}$ de 0,19 alors qu'il est de 0,3 pour le VAL 206 et 0,32 pour le VAL 256. L'évacuation est donc plus lente.

- Il n'y a pas de coupure d'alimentation haute tension lors d'une évacuation d'urgence.
- Les freins à disques n'existant que sur 3 essieux sur 4 (1 essieu défreiné par véhicule pour la génératrice tachymétrique) ils ne permettent qu'une décélération de 0,58 m/s².

2.5.2.2. Confort

- La suspension du véhicule ne permet pas de faire un nivellement en stations, les blocs de caoutchouc s'écrasent de 20 mm.
En outre, la fréquence propre verticale du véhicule est médiocre (1,6 Hz).
- Un véhicule neuf sur une voie neuve est très silencieux mais du fait des contraintes dues au passage du véhicule la voie se dégrade. Le véhicule devient très bruyant jusqu'à 100 dB parfois ce qui est nettement plus que le VAL.

2.5.2.3. Exploitation

- Le véhicule ne possède pas d'accouplement automatique, l'intervention d'un agent est nécessaire pour récupérer un véhicule en panne de motorisation le long de la ligne.
- Malgré la vitesse de pointe plus élevée de l'ALRT, les capacités de transports de ce système sont moins élevées que celles des véhicules VAL 206 ou 256.
- Les coûts de maintenance de la voie sont nettement plus élevées que prévu car il faut régulièrement rectifier les rails et les roues des véhicules pour diminuer le bruit.

En outre, il a été nécessaire de mettre en place des barrières phoniques : arbres, bandeaux, triples vitrages pour limiter les nuisances chez les riverains ce qui a engendré des frais considérables.

- En cas de panne au niveau informatique, le système perd la position des trains. Il faut donc retrouver leur position et la donner au système avant de le remettre en route.
- La puissance consommée du véhicule est supérieure de 15 % à celle du VAL 256 et de 47 % à celle du VAL 206 (voir annexe 7). En ramenant la consommation du véhicule au nombre de places offertes, on obtient :
 - 25 W/véhicule x km x passager pour le VAL 206
 - 30 W/véhicule x km x passager pour le VAL 256
 - 35 W/ véhicule x km x passager pour l'ALRT.

3. LE SYSTEME WESTINGHOUSE

3.1. Historique

3.1.1. Origine

Dans un esprit de diversification, Westinghouse décide en 1961 de commencer des recherches concernant le "people mover".

En fait, Westinghouse s'oriente dès le départ vers des transports de type hectométrique (1,2 voire 3 km) pour des applications telles que les dessertes d'aéroports et de parcs de loisirs.

Westinghouse n'avait pas l'intention de faire un système de transport urbain ; de ce fait, les techniques de construction des systèmes Westinghouse s'apparentent plus à celles des automobiles et des poids lourds qu'aux techniques ferroviaires.

Avant la construction du métro de Miami (1986) Westinghouse n'avait pas à respecter les normes venant du UMTA (Urban Mass Transportation Administration) et avait donc une assez grande liberté d'action.

En 1965, Westinghouse fait une démonstration de son système sur une piste d'essai (dans un parc près de Pittsburg).

Les conclusions les plus importantes des tests furent la décision de construire :

- des passerelles d'évacuation le long de la voie
- des portes palières en station
- des bandeaux le long du viaduc, en site urbain, pour éviter la chute d'objet de la voie et diminuer le bruit.

3.1.2. Différentes réalisations

A l'heure actuelle, Westinghouse a mis en service 10 systèmes de transport.

- **1971** : Westinghouse inaugure à Tampa un système de transport automatique pour la desserte d'un aéroport. Ce système est composé de 4 navettes simples (de 500 m chacune) assurant les liaisons entre un terminal principal et 4 terminaux à sa périphérie.
- **1973** : Le "people mover" de l'aéroport de Seattle Tacoma ouvre ses portes. Deux boucles de 1,3 km relient les 2 nouveaux terminaux, satellites de l'ancien terminal.
- **1975** : Bush Garden (Parc).

- **1980** : Mise en service du nouveau terminal de l'aéroport de Miami. La liaison avec l'ancien terminal est réalisée par navette double (distance de 0,8km).
- **1980** : Le nouvel aéroport d'Atlanta reçoit ses premiers voyageurs. La liaison s'apparente à une liaison de type métro avec 5 stations souterraines, la ligne mesure 1,9 km.

La maintenance est faite en bout de ligne dans un garage atelier, alors que pour les autres sites, les réparations sont faites en ligne (la maintenance hors ligne nécessitant une grue). Le parc est de 24 véhicules comme à Seattle.

- **1981** : Aéroport d'Orlando : 2 navettes doubles couvrant une distance de 1,2 km sont en service.
- **1983** : Aéroport de Gatwick Terminal Sud : 1 navette double de 300 mètres.
- **1986** : Miami Metromover, une boucle de 2 km de voie double dessert 9 stations avec un parc de 12 véhicules.
- **1986** : Aéroport de Mac Carran Las Vegas : 1 navette double avec une ligne de 350 mètres.
- **1987** : Aéroport de Gatwick Terminal Nord : 1 navette double de 1200 mètres relie le terminal à la station de chemin de Fer (1 élément de la navette est composé de 3 véhicules).

3.1.3. Expérience acquise

Depuis 1987, Westinghouse travaille sur 3 projets dont 2 devraient être inaugurés au cours de l'année 1989.

Il s'agit de Las Colinas (2 navettes doubles parcourant 2,3 km) et de l'aéroport de Singapour.

Le dernier, Stansted Airport, devrait accueillir ses premiers passagers en 1990.

Site	Longueur ligne	Nombre de stations	Nombre de véhicule
Tampa	2,2 km (voie simple)	8	8
Seattle	2,7 (voie simple)	8	24
Bush Garden	2,1 (voie simple)	2	2
Miami Airport	0,4	2	6
Atlanta	1,9	5	24
Orlando	1,2	4	8
Gatwick Sud	0,3	2	2
Miami métro	3	9	12
Las Vegas	0,35	2	2
Gatwick Sud	1,2	2	6
TOTAL	8,35 + 7 voies simples	44	94

En moyenne :

- 1,2 km voie double
- 4 stations
- 9 véhicules.

Mc Carran

Waikoloa

Las Colinas

M-Bahn

Broadbeach

Parmi tous les projets réalisés, 2 le sont en souterrain (tranchée couverte). Il s'agit de Seattle et d'Atlanta.

La proportion de souterrain est de 27 % en considérant tous les projets.

D'autre part, l'approbation pour la construction d'une extension de 5,8 km de Miami Metromover a été obtenue par Westinghouse à la fin de l'année 1988 (2 branches ; une de 3,8 km au Nord et une de 2 km au Sud).

Changi (Singapour)

Stansted à Londres

3.2. Description du système

3.2.1. Véhicule

Westinghouse a développé plusieurs types de véhicules avec une première série à capacité nominale de 100 personnes et une seconde série à capacité nominale de 45 personnes.

Dans chaque série, il existe 3 types de véhicules. Leur utilisation dépend de la configuration des trains (1, 2, 3, 4 ou 6 véhicules par train).

Les véhicules :

- du type A possèdent un pupitre de pilotage à une extrémité
- du type B sont sans pupitre
- du type C possèdent un pupitre à chaque extrémité

(voir figure 3.1.).

A capacité égale, les caractéristiques diffèrent principalement par les longueurs :

Véhicule	Longueur (m)
A100	11,5
B100	11,3
C100	11,8

- Mise à part la longueur (variable selon le type), les dimensions du véhicule sont :

Largeur	284 m
Hauteur	3,40 m
Largeur des portes	2,13 m
Hauteur plancher/sol	1,12 m
$\frac{\text{largeur porte}}{\text{longueur porte}}$	0,37

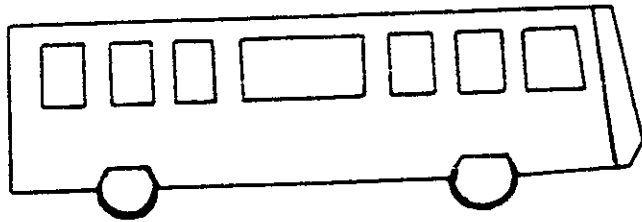
- Le poids du véhicule à vide est de 14.800 kg
- La capacité du véhicule en charge normale (C1) est de 86 personnes, dont 20 assises. En charge exceptionnelle (C2), la capacité est de 115 personnes.

En charge exceptionnelle, le poids du véhicule est de 22,8 tonnes (11.400 kg. par essieu).

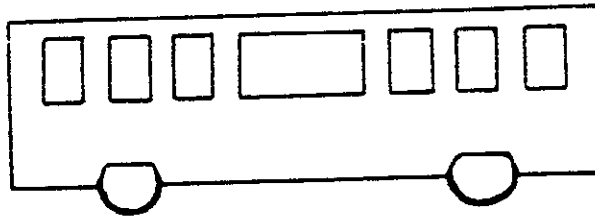
Le véhicule est propulsé par 2 moteurs à courant continu de 75 kW alimentés par un redresseur (le véhicule étant alimenté en 600 V triphasé).

Figure 3.1.

A



B



C

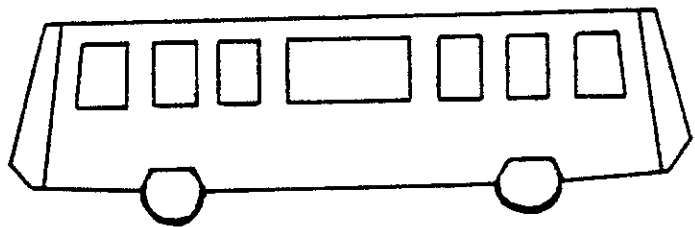


Figure 3.1

Les moteurs ont une consommation de 3 kWh par véhicule • km. Bien que les moteurs soient plus petits que ceux du VAL, le freinage électrique est fait sans récupération d'énergie.

- Le ratio puissance/poids à vide est de 10 kW/tonne.
- Les caractéristiques de vitesse du véhicule sont :
 - . Vitesse max. : 43 km/h (80 km/h annoncée dans les appels d'offres)
 - . Accélération : 1,1 m/s²
 - . Jerk Max. : 0,9 m/s³

La description ci-dessous fait état des caractéristiques du véhicule utilisé à Las Colinas. Il est porté par deux essieux guidés simples.

Le moteur est fixé sous la caisse, comme pour le VAL. Chaque essieu comporte 2 pneumatiques avec des roues de sécurité (type VAL).

En outre, un cadre supportant 4 roues de guidage horizontal est rattaché au pont. les roues de guidage comportent un disque métallique sur leur face supérieure, pour limiter l'augmentation du gabarit en cas de crevaisson et dans les courbes.

le corps du véhicule est relié au pont par une liaison pivot réalisée à l'aide d'une grande couronne suspendue au dessus du pont. La suspension pneumatique composée de 4 coussins (ressort + air comprimé) permet de niveler le plancher du véhicule quelle que soit sa charge (voir figure 3.3.).

Juste au dessus des roues de guidage, on trouve les frotteurs nécessaires à l'alimentation du véhicule (6 frotteurs par essieu), à la détection du véhicule et au transfert d'informations (2 frotteurs par essieu).

- De taille réduite, les frotteurs sont assez fragiles et représentent une des principale causes du faible MTBF des véhicules. (voir figure 3.4.).

Le système de freinage :

Le freinage de service est réalisé à l'aide :

- du freinage électrique (l'énergie fournie par le moteur alors transformé en génératrice, est dissipée dans des résistances) ;
- du frein à disque contrôlé par une valve électropneumatique dont le signal est modulé par l'ATO (Automatic Train Operation). Des capteurs de pression permettent l'asservissement du frein.

Le frein d'urgence est réalisé à l'aide des freins à disque commandés par une vanne "tout ou rien". L'application du frein est obtenue par évacuation de l'air. Ce frein est en sécurité positive car en l'absence d'électricité, la vanne s'ouvre. Ce type de freinage est utilisé également pour le freinage de parking.

Le freinage de service permet une décélération de 1,1 m/s² et le freinage d'urgence de 2,3m/s².

Figure 3.3.

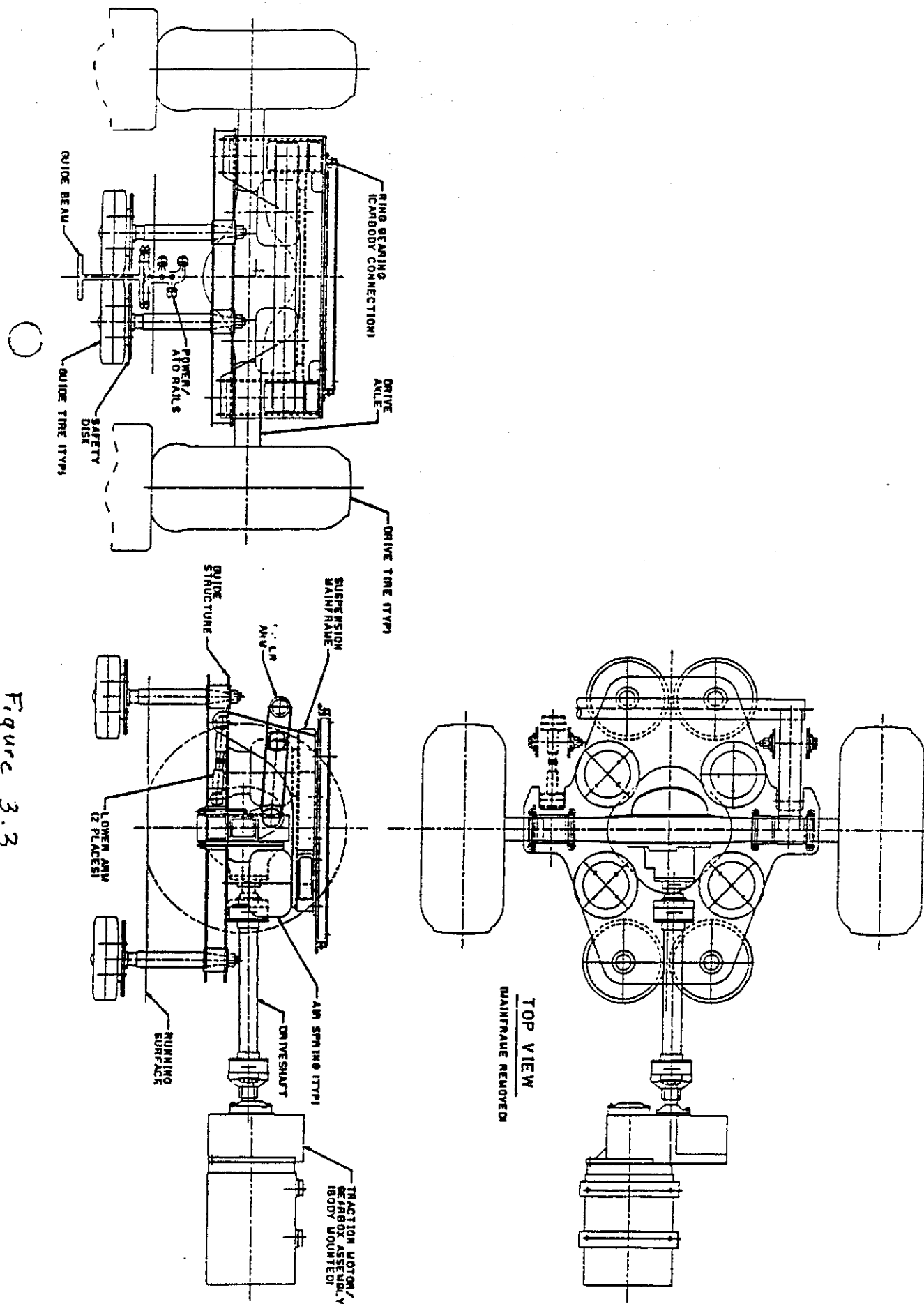
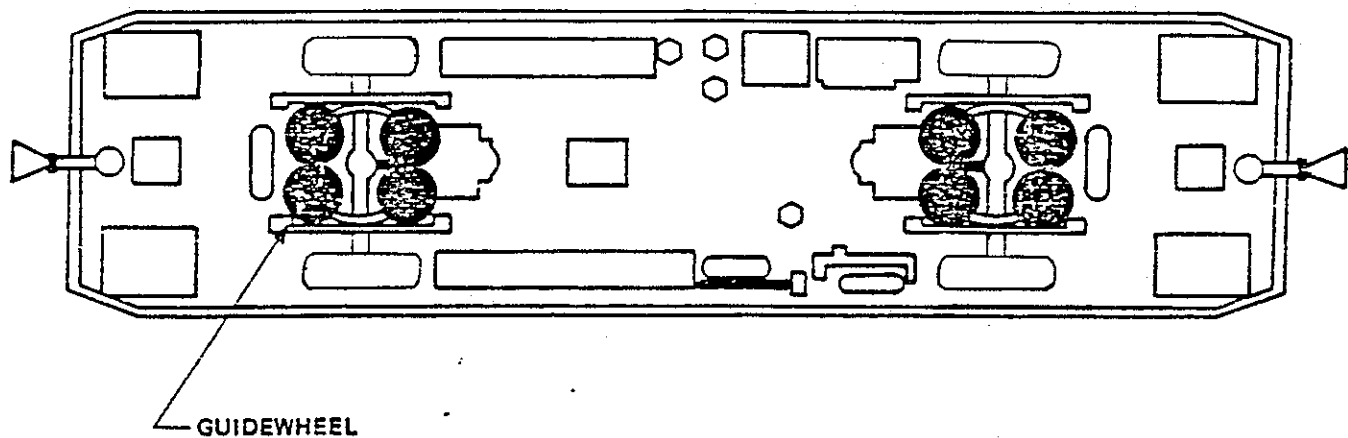
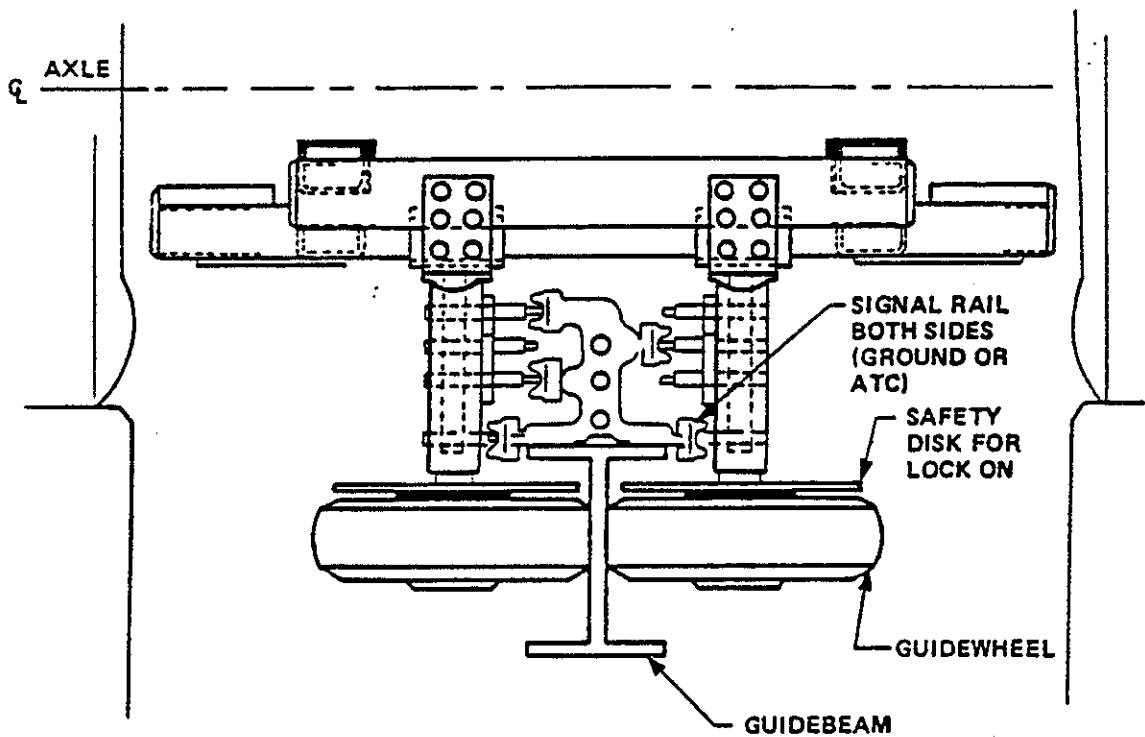


Figure 3.3

Figure 3.4.



PLAN VIEW UNDERCAR



3.2.2. Voie

Mis à part Atlanta et Seattle, le système Westinghouse est toujours implanté en viaduc.

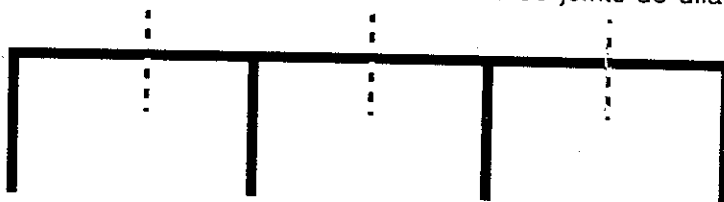
Selon le tracé, 2 types de viaduc sont mis en oeuvre :

- en ligne droite, le viaduc est construit avec des pistes de roulement reposant sur des poutres en béton précontraint (figure 3.5.)
- en courbe, les pistes de roulement reposent sur des poutres métalliques (figure 3.6).

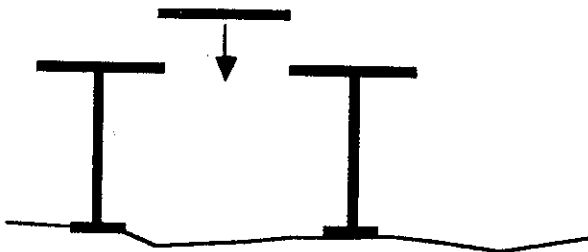
En adoptant ces types de viaduc, le but de Westinghouse est de réduire les coûts et les délais de construction sur place, en standardisant le plus possible les éléments du viaduc.

Le produit standard est une poutre préfabriquée en béton d'une longueur de 20 à 25 mètres.

Lorsque la portée du viaduc est inférieure à 42 mètres des unités de 3 poutres sont assemblées minimisant ainsi le nombre de joints de dilatation.



Si la portée devient supérieure à 42 mètres, le viaduc est construit avec la technique d'encorbellement : une poutre est lancée depuis chaque pilier et on en pose une troisième au milieu.



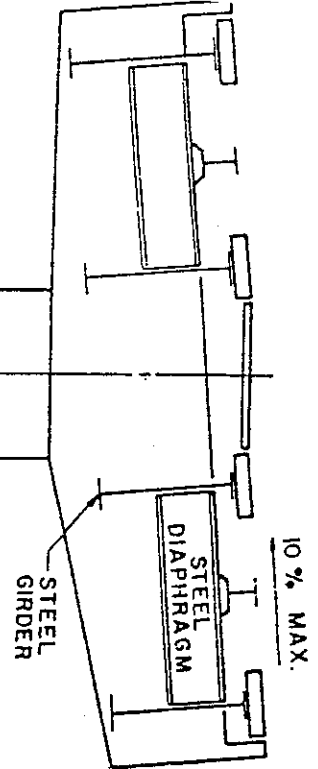
En courbe, les poutres sont constituées par des poutrelles métalliques en I auxquelles on a donné la forme de la courbe (rayon de courbe et dévers) (voir figure 3.6.). Pour chaque voie, les 2 poutrelles sont reliées à distance régulière par des diaphragmes métalliques. Des clous d'ancrage, soudés sur la face supérieure de la poutrelle maintiennent en place le béton constituant la piste de roulement. Ce béton est coulé sur le site.

Compte-tenu des caractéristiques du véhicule et de la technique de construction du viaduc, le rayon minimal d'une courbe horizontale est de 23 m, la pente maximale est de 10 % et le dévers de 10 %.

Figure 3.5 et 3.6

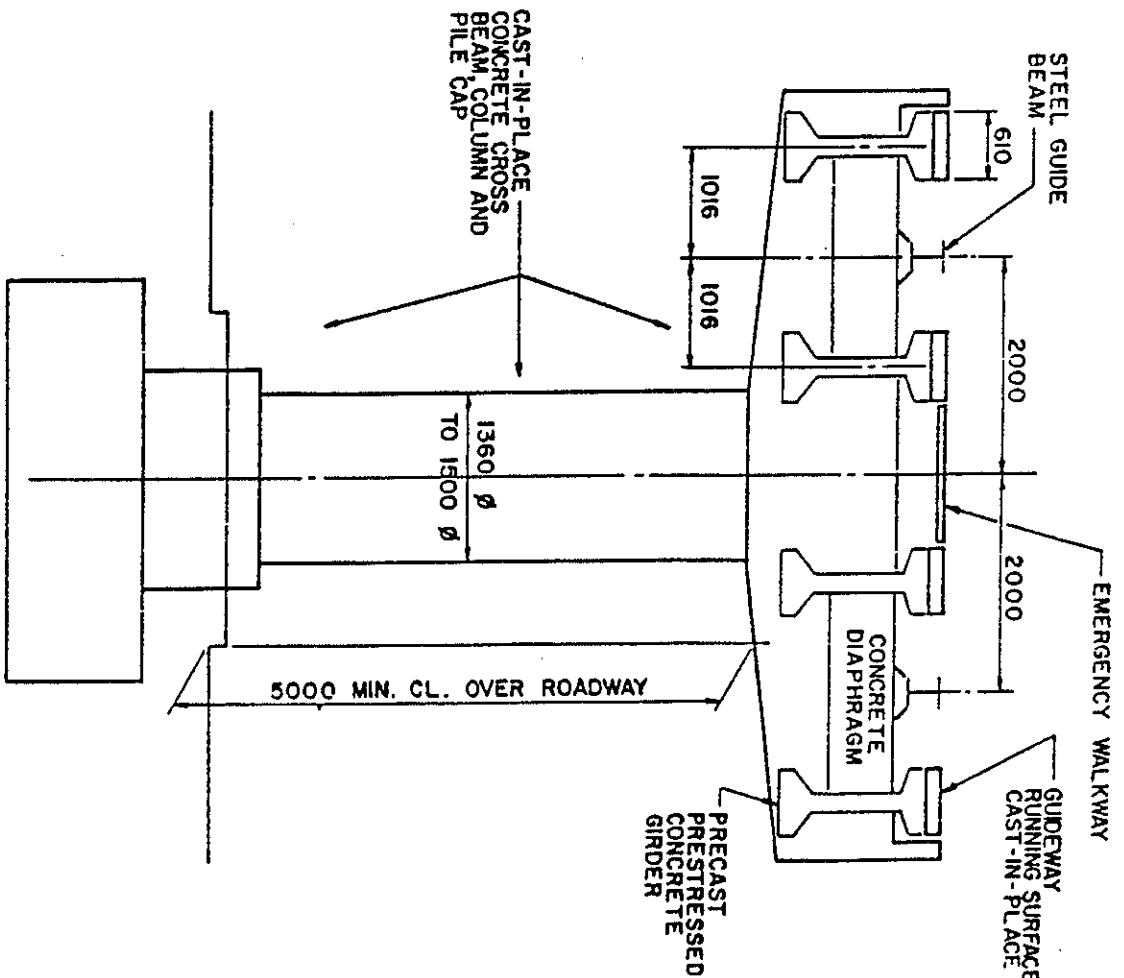
SUPERELEVATED GUIDEWAY
TYPICAL CROSS SECTION

Figure 3.6



ELEVATED GUIDEWAY 25M SPANS ON TANGENT
TYPICAL CROSS SECTION

Figure 3.5



Le véhicule est guidé par un rail central réalisé à l'aide d'une poutrelle métallique en I sur laquelle sont fixés 5 rails servant à l'alimentation et à la détection des véhicules (voir figure 3.7.).

Le viaduc comporte une passerelle centrale mais elle se situe au niveau du plan de roulement donc à plus d'un mètre au-dessous du niveau du plancher.

L'aiguillage est très compliqué du fait du type de guidage et de la disposition des rails d'alimentation (voir figure 3.7.). Au niveau du croisement, il y a une lacune des rails d'alimentation : ceux-ci dépassent du plan de roulement. A chaque passage d'un aiguillage, les patins (de faible dimensions) subissent des chocs qui réduisent considérablement leur durée de vie.

L'aiguillage est manoeuvré automatiquement à l'aide d'une pompe hydraulique. En cas de problème, la manoeuvre nécessite l'utilisation d'une pompe manuelle.

Dans le cadre de certains projets, Westinghouse - devant augmenter la vitesse du véhicule en ligne - a réfléchi à propos d'un nouveau type d'aiguillage dont le principe ressemble à celui des aiguillages pour monorails. Le changement de direction est obtenu par rotation complète de la voie, ce qui évite les discontinuités du premier type d'aiguillage, permet d'augmenter le MTBF des frotteurs et la vitesse sur l'aiguillage.

Mais la manoeuvre de l'aiguillage est très lente (12 secondes) et Westinghouse n'en a pas encore prouvé la faisabilité.

3.2.3. Automatisme

Le coeur de l'automatisme est composé de 4 ordinateurs (2 réservés à la ligne et 2 au garage atelier) chargés de réaliser les fonctions d'ATO, ATP et ATS (voir figure 3.8.).

Toutes les informations allant ou venant de la ligne transitent par le DTS (Data Transmission System).

Le DTS est relié, par l'intermédiaire d'un réseau (fibre optique) aux équipements d'ATO et d'ATP (Interlocking). L'automatisme est basé sur le principe du cantonnement fixe. Les cantons mesurent en moyenne 250 m.

La fonction d'ATC (Automatic Train Control) est réalisée à l'aide des équipements suivants :

- les ordinateurs du Centre de Contrôle
- le DTS (utilisé comme canal de communication)
- les équipements d'ATC fixes
- les équipements d'ATC embarqués.

Figure 3.7.

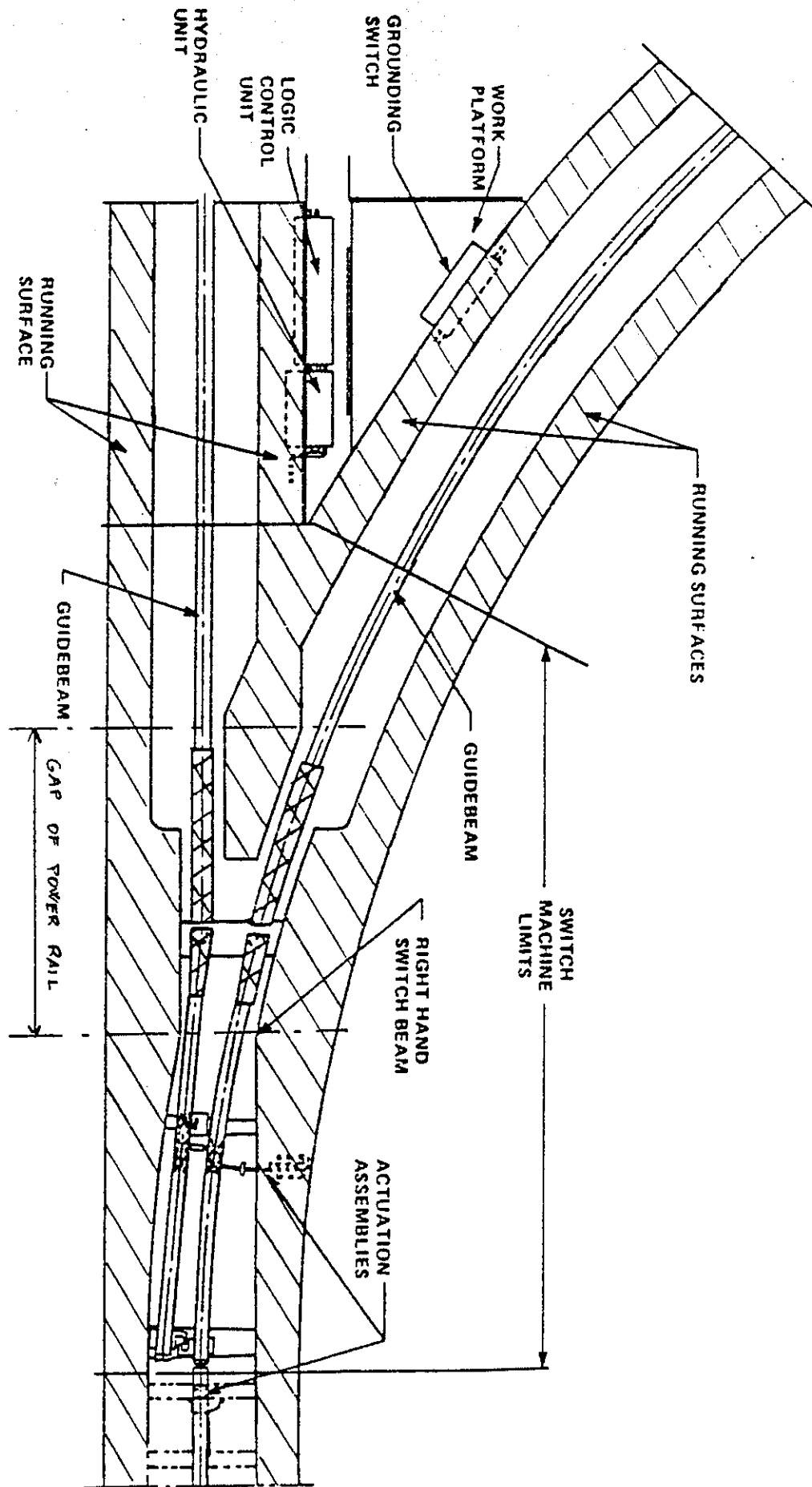


FIGURE 3.7 PIVOTING SWITCH PLAN - TURNOUT POSITION

figure 3.8.

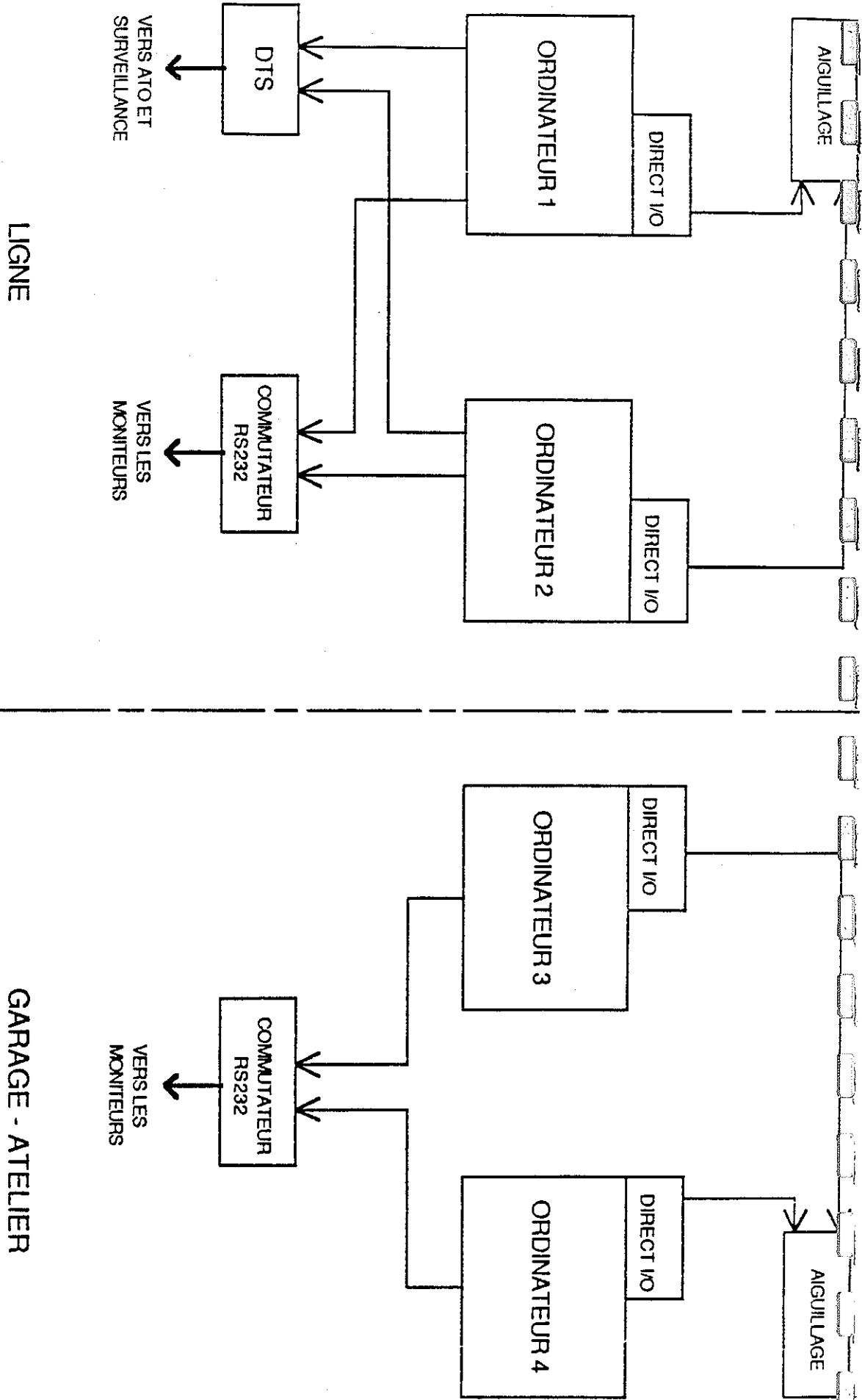


FIGURE 3.8

Les équipements fixes

Leur nombre varie selon la configuration de la ligne (pour certains projets, Westinghouse proposait de les regrouper dans 2 stations).

Ils comprennent les récepteurs nécessaires à la détection des trains, un système de multiplexage et l'ATP (Interlocking).

L'ATP détermine la consigne de vitesse à envoyer sur chaque canton en fonction de la position des trains, de la position des aiguillages et de la direction des trains.

Le multiplexeur est responsable de l'encodage (sur 6 bits) de la consigne de vitesse, choisie par l'ATP, et de sa transmission à l'émetteur du canton considéré.

En outre, il compare le code reçu de chaque canton au code qui lui a été envoyé. En cas de différence, il signale à l'ATP que le canton est occupé (voir figure 3.9).

L'émetteur-récepteur module le code de vitesse élaboré par le multiplexeur et l'envoie au circuit de voie à une extrémité du canton par l'intermédiaire d'un adaptateur d'impédance.

Le signal reçu à l'autre extrémité du canton est filtré, mis en forme et envoyé au multiplexeur (voir figure 3.10).

La détection des véhicules est faite en sécurité, car, en cas de perte d'informations en ligne ou de coupure d'électricité sur un canton, le canton est considéré comme occupé.

Pour les projets, où le véhicule est sensé atteindre plus de 70 km/h, il y a 8 consignes de vitesse (72,9 km/h, 56,3, 40, 32, 24, 13, 0, marche arrière).

La protection contre la survitesse est basée sur la comparaison entre la vitesse mesurée par des génératrices tachymétriques et la vitesse de consigne. En cas de dépassement de la vitesse de consigne, le frein d'urgence est actionné.

Arrêt en station

L'arrêt en station est relativement similaire à celui du VAL.

Il y a une boucle électromagnétique au sol. Les croisements de cette boucle sont disposés tous les 15,2 cm (6 pouces). Lorsque le véhicule rencontre la boucle (détection à l'aide d'une antenne) il sait que le point d'arrêt se trouve à une distance x préprogrammée dans sa mémoire. le train peut alors calculer tous les 15 cm la distance qu'il lui reste à parcourir et calculer sa vitesse pour s'arrêter à temps.

Ce système assure une précision d'arrêt de ± 15 cm. Il y a une antenne de chaque côté du véhicule. Seule l'antenne du côté opposé aux portes palières reçoit des informations lui permettant ainsi de faire bloquer les portes du véhicule côté vide.

Figure 3.9. et 3.10

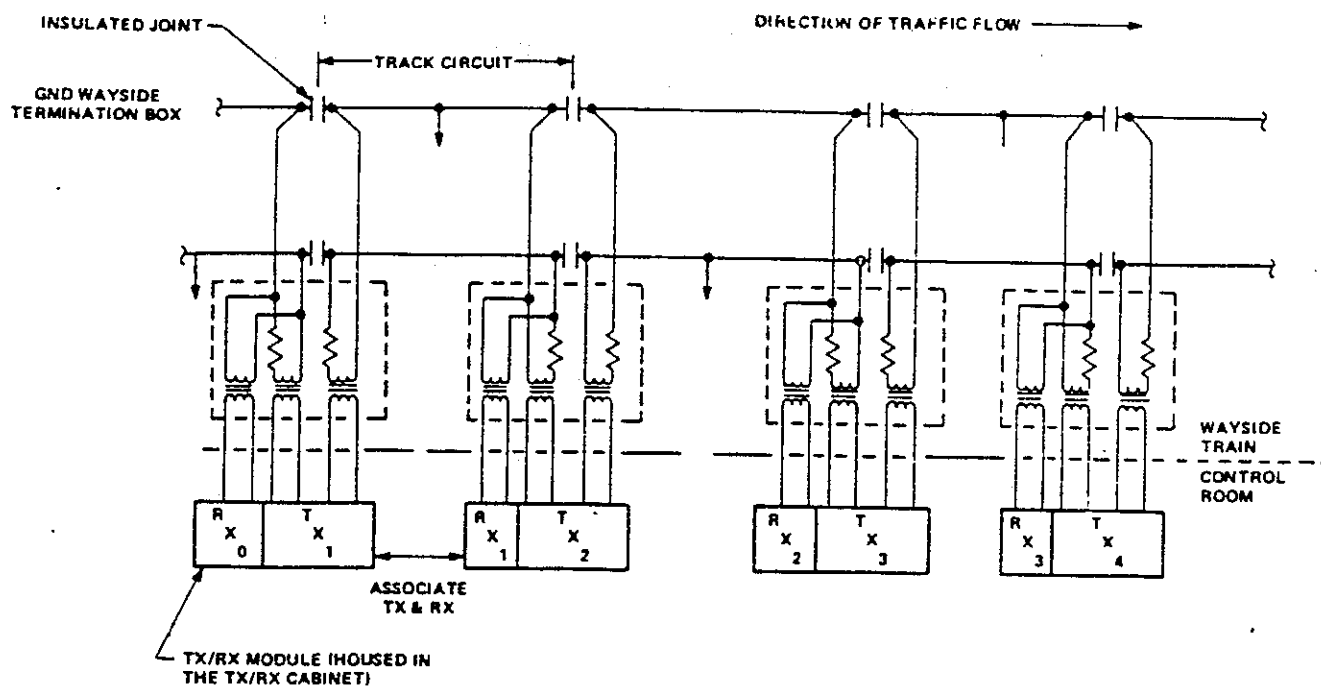


FIGURE 3.10 WAYSIDE TRACK CIRCUIT

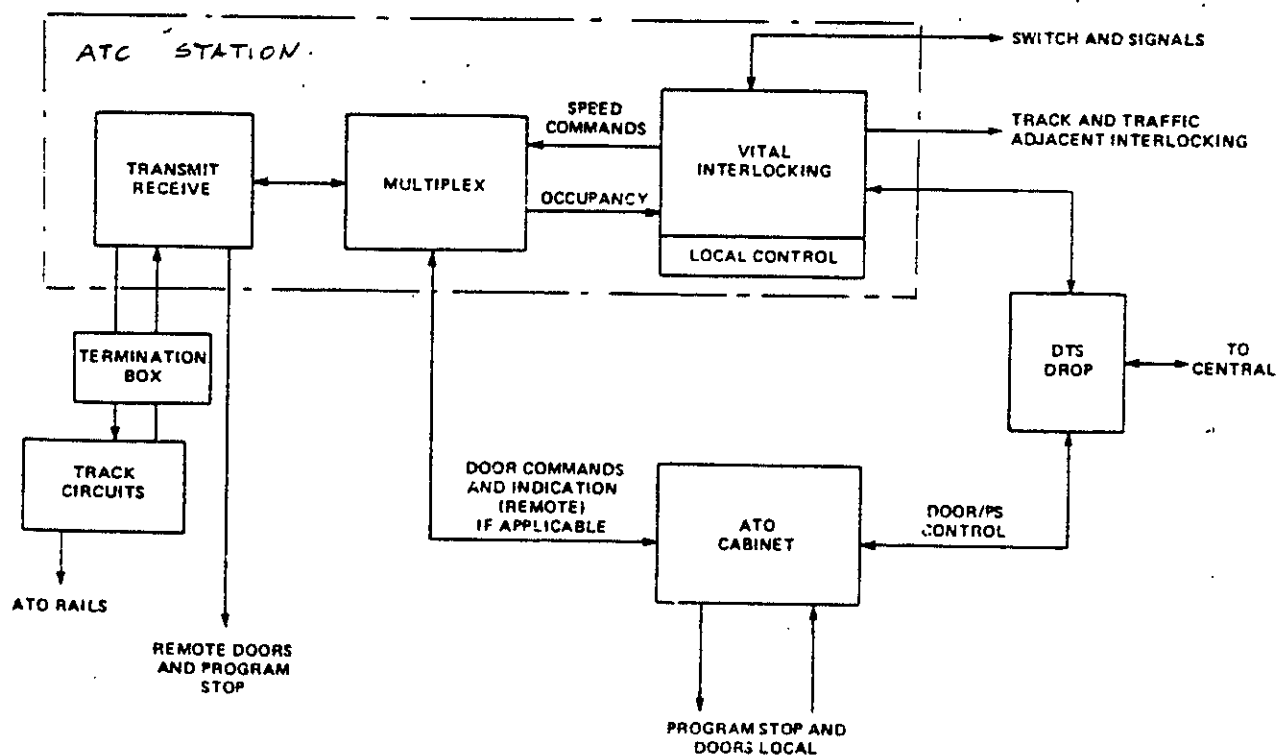


FIGURE 3.9 . TRAIN CONTROL BLOCK DIAGRAM

Capacités :

Le véhicule Westinghouse a, sur les sites où il est exploité, une vitesse de pointe de 43 km/h.

L'intervalle d'exploitation minimal atteint par Westinghouse est de 90 s.

Le système peut donc transporter (avec une charge de 4 p/m² debout) :

- 6880 p/h/sens avec des trains de 2 véhicules
- 13760 p/h/sens avec des trains de 4 véhicules
- 20640 p/h/s avec des trains de 6 véhicules.

3.2.4. Sécurité

La voie du système Westinghouse possède une passerelle d'évacuation. Celle-ci est au niveau du plancher du véhicule en souterrain mais elle est au niveau du plan de roulement en viaduc, ce qui crée une différence de niveau de plus d'un mètre. On peut se poser de sérieuses questions quant à l'évacuation, en viaduc, des personnes à mobilité réduite.

Westinghouse a mis en oeuvre de portes palières sur plusieurs des systèmes qu'elle a construits.

Du fait que la détection du véhicule est faite par comparaison de messages codés et que toute différence entre les messages entraîne l'occupation du canton, ce système est en sécurité positive. Mais, il risque de faire naître des détections intempestives lorsque le frotteur n'est pas tout à fait en contact avec le rail ou encore qu'il y a des pertes de message en ligne.

Le freinage est en sécurité positive mais les éléments semblent sous-dimensionnés pour un véhicule susceptible de rouler à 70 km/h.

3.3. Mise en service - Exploitation Maintenance

Actuellement Westinghouse a mis en service des systèmes de transports sur 10 sites dont 7 avec des navettes, 2 avec des boucles et 1 (Atlanta) s'apparentant à une ligne de métro urbain.

Deux autres devraient être mis en service cette année. Pour ces systèmes, Westinghouse assure la maintenance soit sous forme d'assistance soit sous contrat (pour 5 d'entre eux).

De tous les systèmes, c'est celui d'Atlanta qui transporte le plus de passagers (environ 36 millions de passagers par an). De plus, de part sa configuration c'est le système qui ressemble le plus aux lignes VAL.

Initialement à Atlanta, la supervision et la maintenance du système étaient faits par Westinghouse dans le cadre d'un contrat d'une durée de 5 ans (ce contrat a du être renouvelé). Alors que le nombre de personnes prévues pour ces opérations était de 42 (avec une prévision de réduction à 36), en 1982, l'équipe était composée de 52 personnes puis 63 pendant les 5 premières années.

Après plusieurs mois de fonctionnement, des études ont montré que certaines hypothèses entrant dans le calcul de la flotte étaient à revoir :

- le transport des employés de l'aéroport n'était pas négligeable
- certaines modifications du système avaient entraîné une baisse de la capacité de transport
- la densité de passagers par véhicule était plus faible que prévue
- la croissance du nombre de passagers à transporter était plus rapide que prévue.

Tous ces éléments ont fait passer le nombre de véhicules nécessaires de 17 à 23 en 1990. Les véhicules supplémentaires ont été livrés en 1983.

En 1981, chaque véhicule effectue 200 km/jour ce qui donne 1.235.800 véhicule.km par an. Ceci est de 38 % supérieur aux estimations révisées après la prise en compte des nouvelles hypothèses.

Durant cette année (1981), différents MTBF ont été calculés.

- | | |
|--------------------------------|------------------------|
| - Portes (véhicule en station) | 304 heures - véhicule |
| - Frotteurs | 670 heures - véhicule |
| - Equipements véhicules | 115 heures - véhicule |
| - Aiguillages | 1120 heures - véhicule |

Les MTBF des portes et des frotteurs sont très faibles.

D'autre part, alors que le système Westinghouse est réputé flexible, les véhicules simples aux heures creuses ont été abandonnés au profit de married-pair du fait de l'absence de système d'accostage automatique.

3.4. Avantages et inconvénients du système Westinghouse

3.4.1. Avantages

- La souplesse d'exploitation du système est grande : réversibilité complète ; nombreux modes d'exploitation (navette, voie unique temporaire, installation permanente à contre sens (fourche Orly), véhicule en rame ou indépendant.

Il faut tout de même signaler que pour Atlanta, le passage au véhicule indépendant en heure creuse a été abandonné du fait de l'absence d'attelage automatique.

- Le pilotage automatique utilise l'informatique pour des fonctions sécuritaires (comme UTDC) ce qui constitue une avance technologique par rapport au VAL.
- Le système peut fonctionner avec des véhicules indépendants ou des rames de 2, 3, 4 ou 6 véhicules.

Lorsqu'ils sont plus de 2 par rames, les véhicules sont de 2 types (A et B) (avec ou sans poste de conduite).

- Les liaisons caisse-essieu autorisent un filtrage efficace des vibrations, d'où un bruit intérieur faible.

3.4.2. Inconvénients

- L'énergie du freinage n'est pas récupérée, ce qui entraîne une consommation du véhicule plus élevée (3,05 kW/véhicule.km).
- Le véhicule ne possède pas d'accouplement automatique.
- L'aiguillage est lent à manoeuvrer (6 secondes). Le nouveau type d'aiguillage qui fait pivoter une partie de la voie est encore plus lent (12 secondes). De plus, ces aiguillages lourds ne peuvent être manoeuvrés manuellement qu'à l'aide d'une pompe.
- Le système Westinghouse ne peut descendre actuellement en dessous d'un intervalle de 90 s ce qui donne une capacité de transport de 30 % inférieure à celle du VAL.
- Le gabarit dynamique du véhicule est très large (0'3,60 m en ligne) et donc pénalisant pour l'infrastructure.
- Il y a 16 frotteurs par véhicule ce qui explique le faible MTBF de ce sous-système.

En outre, du fait des discontinuités introduites à chaque aiguillage, plus le nombre d'aiguillage augmente, plus le MTBF des frotteurs diminue.

- Westinghouse ne peut pas réaliser d'aiguillage coeur croisé à cause du rail de guidage central qui dépasse du plan de roulement.
- Sur les sites où il est en exploitation, le véhicule Westinghouse ne dépasse pas 43 km/h. Pour les projets nouveaux, Westinghouse annonce une vitesse de pointe de 72 km/h (45 mph). Cette vitesse ne peut être atteinte sans revoir le collecteur d'électricité, la motorisation (11 kW/tonne contre 15 pour le VAL) et le système de freinage.

- Les portes électriques sont très lentes (8 secondes pour ouverture et fermeture).
- En viaduc, la passerelle d'évacuation étant au niveau du plan de roulement, il y a une différence de niveau de plus d'un mètre avec le plancher du véhicule.

4. LE SYSTEME DE MITSUBISHI : KRT - NTS

4.1. Historique

4.1.1. Origines

- Mitsubishi développe son propre système, le M.A.T. (Mitsubishi Automated Transit).

De petite dimensions (5,7 x 2,2 x 2,9 m), le véhicule a un poids de 5 tonnes à vide. Roulant sur pneu, il est guidé par un rail central et atteint une vitesse de 60 km/h.

- En 1977, Mitsubishi signe, au sein d'un consortium l'associant à Kawasaki Heavy Industries et Kobe Steel, un contrat avec la ville de Kobe pour la construction de la ligne "Portliner". Le système retenu est le système de Kawasaki (K.C.V. Kawasaki Computer Controlled Vehicle).

Il fonctionne avec un guidage latéral à l'aide de roues pneumatiques et possède une capacité de 75 personnes pour des dimensions égales à 8,0 x 2,39 x 3,19 m. L'aiguillage est réalisé à l'aide de plaques métalliques se déplaçant verticalement à l'intérieur de la voie.

- En décembre 1981, la construction de la ligne de Tokadaï commence. Mitsubishi Heavy Industries ressort des tiroirs son système et s'associe avec Nippon Sharyo qui a développé le système VONA (Vehicle of New Age). Ce système a été mis en oeuvre pour la ligne de Yakarigoaka (3,6 km) près de Tokyo inaugurée en 1982.

Le véhicule développé pour ce projet roule sur pneu, est guidé par un rail central, a une capacité de 70 personnes pour des dimensions égales à 7,6 x 2,43 x 3,29 m.

L'ouverture au public, initialement prévue en 1986, est actuellement repoussée en 1991.

- En 1983, le Ministère des Transports et le Ministère de la Construction Japonais ont émis des normes concernant le N.T.S. (New Transportation System). L'objectif en est de réduire les coûts d'infrastructure dus au développement, par les constructeurs Japonais, de systèmes fondamentalement différents. Le moyen de pression pour faire respecter ces normes est de taille : leur non respect élimine la possibilité, pour la ville construisant le projet, d'obtenir des subventions de l'état (généralement de l'ordre de 45 % du coût du projet). Tous les constructeurs sont alors bel et bien forcés de proposer des systèmes similaires (voir Figure 4.1.).

Les normes reprennent en grande partie les caractéristiques du système construit par Niigata et Sumitomo à Osaka. Ce système, appelé New Tram, est développé sous licence Vought Corporation (Constructeur du système Airtrans à l'Aéroport de DALLAS - Forth Worth).

NORMES NTS

Conditions Initiales	1) Capacité d'un véhicule d'environ 75 personnes 2) Evolution possible du système vers l'automatisme intégral
Système	1) Principe de guidage : Guidage latéral 2) Principe de l'aiguillage : Du type rail horizontal mobile (NEW TRAM de OSAKA) 3) Alimentation en énergie : 750 V continu
Véhicule	1) Poids total en charge : En dessous de 18 Tonnes 2) Répartition des charges : 9 Tonnes par axe <div style="text-align: center;"> <p>Répartition des axes</p> <p style="margin-left: 150px;"> A A A A A A ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ 3m 5m 3m 5m 3m </p> </div>
Voie	1) Dimensions de la voie: Distance entre les rails de guidage = 2900mm Hauteur des rails de guidage au dessus de la voie de roulement = 300mm 2) Hauteur de quai : 1070mm au dessus de la surface de roulement

LES STANDARDS DE BASE DES SYSTEMES GUIDES DE MOYENNE CAPACITE

- La même année, la ville de Yokohama décide de construire une ligne de métro automatique le long du bord de mer. Mitsubishi, n'ayant aucune expérience du système N.T.S, s'associe avec Niigata qui a travaillé sur les projets d'Osaka et de Saitama.

La construction débute en 1984 mais l'inauguration prévue en 1987 est repoussée à l'année 1989. Le système n'est pas entièrement automatique, un agent à bord assure les fonctions d'ATO.

L'association Mitsubishi-Niigata permet à Mitsubishi de participer à la construction d'un système NTS sans recherches coûteuses (Niigata possède une plus large expérience dans ce domaine).

4.1.2. Expérience acquise

Si la ligne de Yokohama ouvre cette année, Mitsubishi aura participé à la construction de 2 systèmes en exploitation mais de conception très différentes.

Site	Longueur ligne	Nombre de stations	Nombre de véhicule
KOBE	6,4 km	9	72
YOKOHAMA	11 km	14	90
TOTAL	17,4 km	23	162

Ce qui fait une moyenne de 8,6 km ; 11 stations et 80 véhicules.

La ligne de Tokadaï (système différent des 2 premiers) mesure 7,7 km et dessert 7 stations à l'aide d'un parc de 88 véhicules.

Dans ces trois projets, la proportion de tunnel étant inférieure à 2 %, il ressort clairement que Mitsubishi a peu d'expérience concernant l'insertion d'un système de transport dans une ville de construction ancienne telle que la plupart des grandes villes Européennes.

4.2. Description du système

4.2.1. Véhicule

Du fait des normes établies par les ministères japonais seules les caractéristiques du véhicule NTS sont décrites ci-dessous.

- Ce type de véhicule est beaucoup plus petit que le VAL 256

Longueur	8 m
Largeur	2,34 m
Hauteur	2,28 m
Largeur portes	1,3 m
Ratio $\frac{\text{largeur porte}}{\text{longueur véhicule}}$	0,16

Les caractéristiques sont identiques à celle du véhicule New Tram développé pour Osaka (voir figures 4.2. et 4.3.).

- Le poids du véhicule est de 11.000 kg à vide
- La capacité en charge normale C1 (4 p/m² est de 52 personnes dont 22 assis).

En charge exceptionnelle, le véhicule peut contenir 67 personnes, ce qui donne un poids de 15.700 kg (7.845 kg par essieu).

Motorisation :

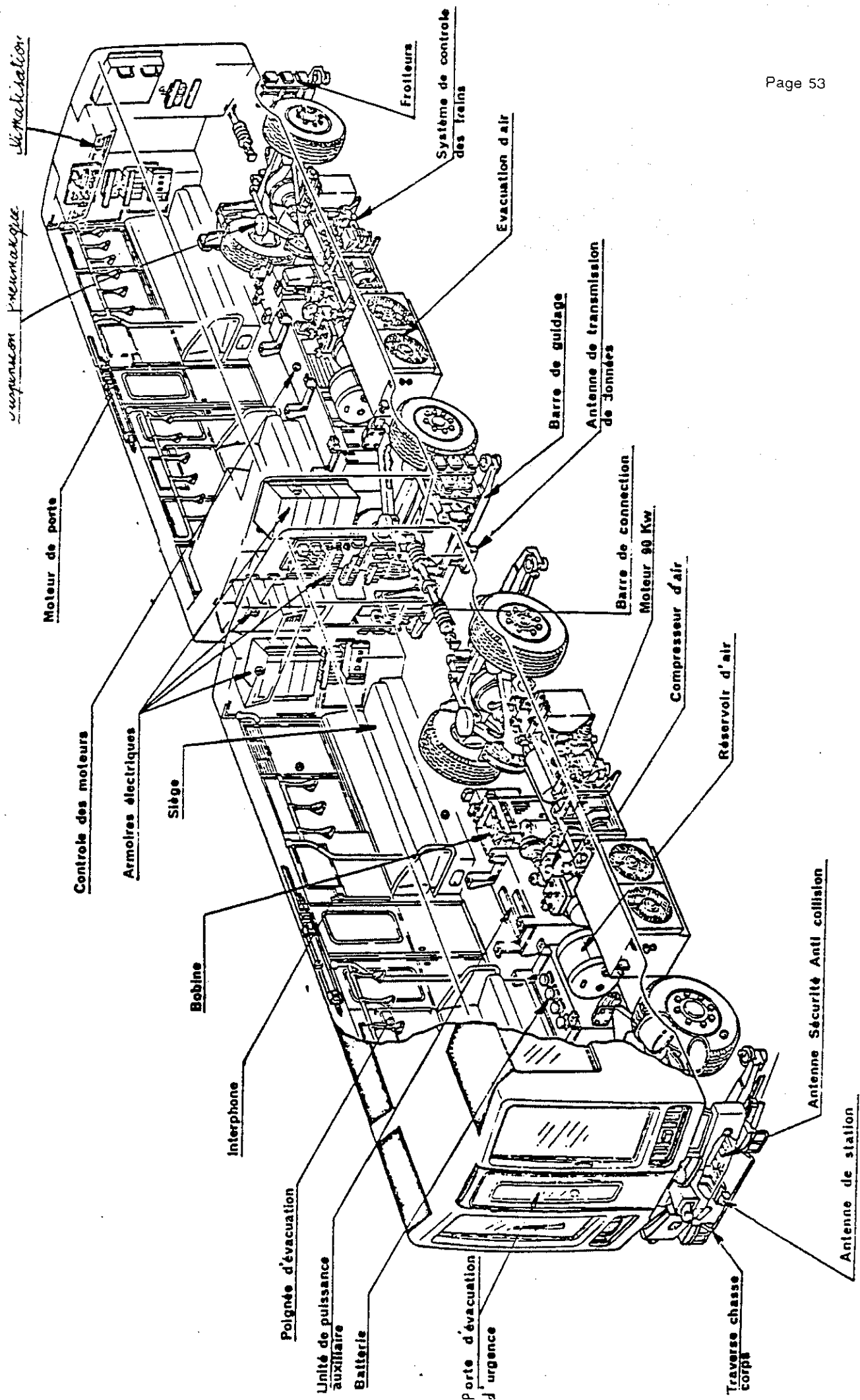
Chaque véhicule est propulsé par un moteur à courant continu de 90 KW.

(ratio $\frac{\text{Puissance}}{\text{poids}}$ de 8,2 KW/tonne à vide).

Le freinage électrique est avec récupération d'énergie.

Les caractéristiques de vitesse sont :

- vitesse maximale 60 km/h
- accélération 1 m/s²
- Jerk max. 0,8 m/s³



SYSTEME NEW TRAM vue éclatée d'une rame

Figure 4.2

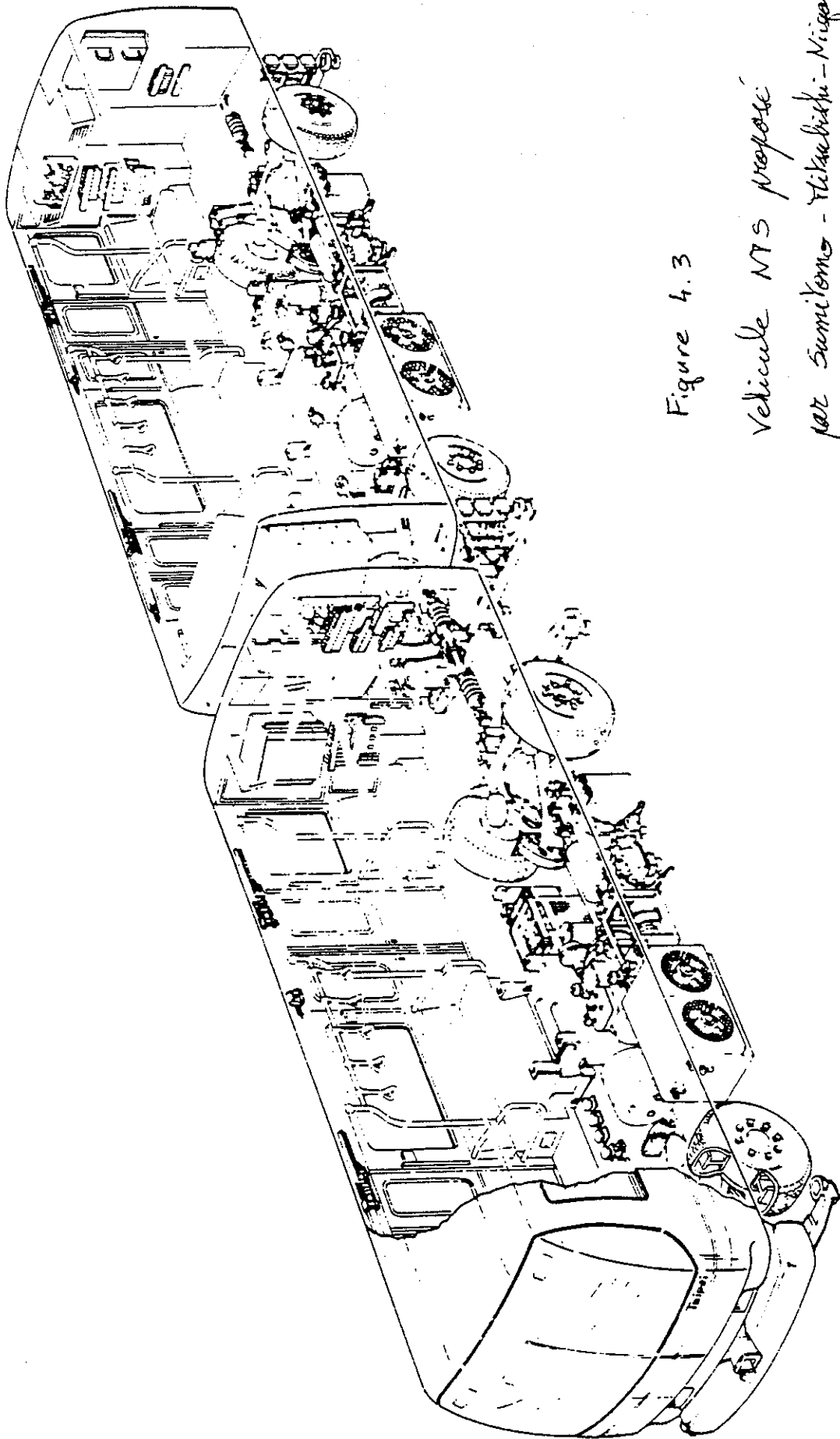


Figure 4.3

Vehicule NTS proposee

par Sumitomo - Hitachi-Nigata

à VAPEI.

Le vehicule de Yokohama, ne possede que 2 portes (pas 4).

Essieux - Suspension :

Les quatre roues du véhicule s'orientent en fonction du tracé. En effet, les roues de guidage s'appuient sur des rails métalliques latéraux.

Elles retransmettent les efforts auxquels elles sont soumises à une barre de guidage.

Cette barre oriente alors les 2 roues de l'essieu, par l'intermédiaire d'un jeu de bielles, en fonction des efforts exercés sur les roues de guidage.

Une liaison mécanique entre la barre de guidage avant et la barre de guidage arrière permet d'anticiper les mouvements (voir figure 4.4.).

Les roues étant orientables, les essieux sont fixes en rotation par rapport au véhicule.

Les roues sont du même type que celles du VAL (pneumatiques avec roue de sécurité).

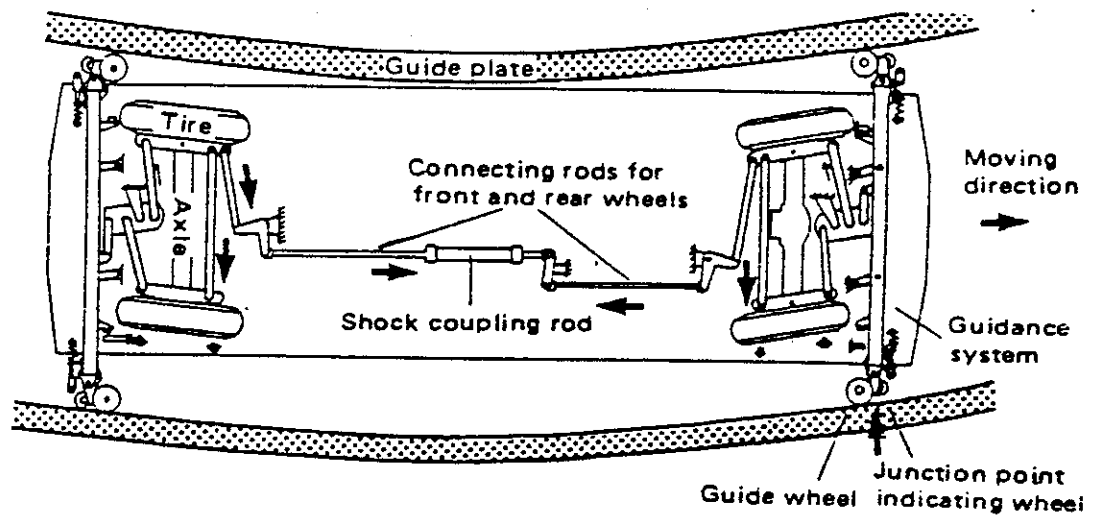
Le véhicule repose sur une suspension pneumatique composée de 4 coussins (2 par essieu).

Système de freinage :

Le frein de service est le freinage à récupération.

Les autres freinages sont réalisés à l'aide de freins à disques.

Figure 4.4.



4.2.2. Voie

Les normes émises par le Ministère des Transports Japonais ont des retombées au niveau des caractéristiques de la voie puisque la standardisation des infrastructures était l'un des objectifs du Ministère.

La distance entre les rails de guidage est fixée à 2.900 mm et la hauteur des rails au dessus du plan de roulement à 300 mm.

D'autre part, le rayon de courbure minimal de la voie est de 30 m et la pente maximale de la ligne est de 7 %.

Pour minimiser les infrastructures, la plupart des stations sont à quai central et le viaduc comporte une passerelle centrale (voir figure 4.5.).

Rappelons-le, sur les trois projets auxquels Mitsubishi a participé seul, 2 % du total de la voie ont été construits en tunnel.

La raison principale en est que les systèmes de transport type AGT ont été développés au Japon pour desservir des villes nouvelles en bord de mer (îles artificielles, avancées en mer etc.). Dans ce cas, le système de transport est pris en compte dès la construction des infrastructures, ce qui facilite l'insertion.

Le véhicule est guidé par 4 roulettes, roulant sur 2 rails latéraux (voir figure 4.4.).

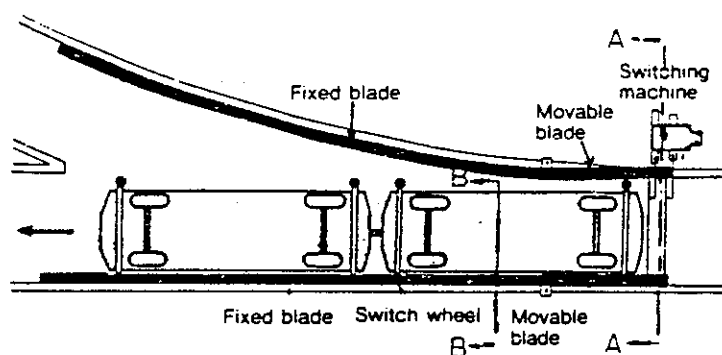
Pour l'aiguillage, une roulette est emprisonnée dans un rail en U. Au niveau du croisement, il y a un rail de part et d'autre de la voie. Le rail en U est constitué de 2 parties ; une fixe et une mobile. Les parties mobiles des 2 rails (gauche et droite) sont reliées mécaniquement pour que les roulettes ne puissent être emprisonnées que d'un côté : celui où le véhicule doit tourner.

Au niveau de l'aiguillage, le guidage est unilatéral, alors qu'il est bilatéral partout ailleurs (voir figures 4.6. et 4.7.).

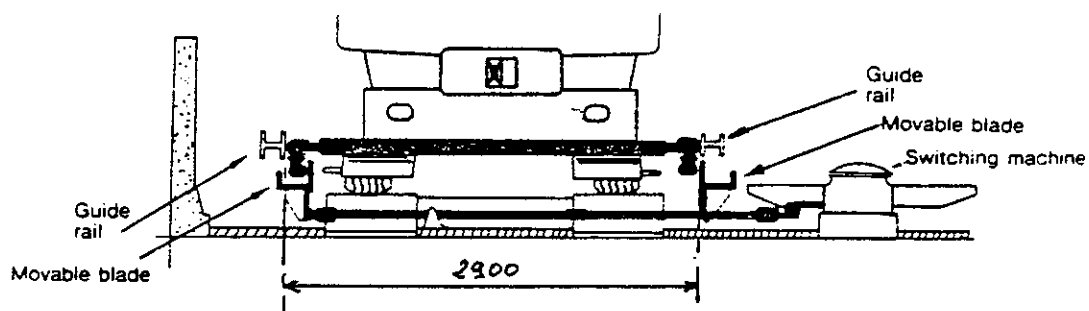
Le véhicule est alimenté en 750 V continu à l'aide de deux rails d'alimentation de chaque côté de la voie. Il y a 2 frotteurs par essieu (4 par véhicule). Les rails d'alimentation sont fixés au dessus du rail de guidage.

Figure 4.7.

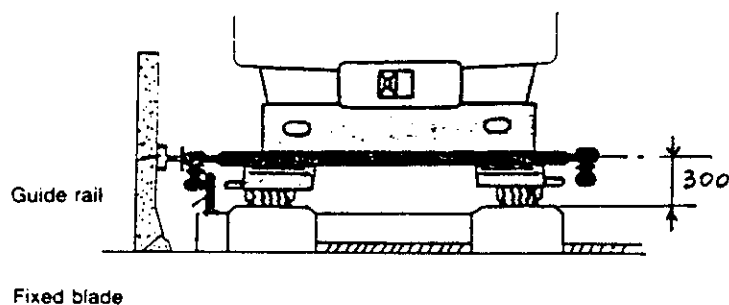
● THRU POSITION



SECTION OF THRU DIRECTION TRAVELLING (A-A)



CROSS SECTION (B-B)



4.2.3. Automatisme

A Kobe, l'automatisme a été développé par Kawasaki ; A Osaka, c'est Niigata qui l'a conçu et à Yokohama, Kobé Steel.

Bien que le projet de Yokohama soit le dernier en date sur lequel je possède des informations, l'automatisme est moins intéressant car la fonction d'ATO est réalisée par un pilote.

Je décrirai ici le principe de l'automatisme du New Tran d'Osaka, car Niigata est le plus expérimenté dans la construction de systèmes aux normes NTS.

L'automatisme est basé sur un système à Canton fixe dont la longueur moyenne est de 180 m.

Le véhicule est détecté de façon continue par des boucles inductives à l'aide de l'émission de 2 hautes fréquences, l'une émise par une antenne à l'avant du train, l'autre par une antenne à l'arrière du train.

En retour, le système émet vers le véhicule, par l'intermédiaire des mêmes boucles, une fréquence modulée suivant 6 consignes de vitesse : 55 km/h ; 40 km/h ; 25 km/h ; 10 km/h ; arrêt normal ; arrêt d'urgence (voir Figure 4.8.).

La consigne de vitesse dépend à la fois de l'occupation des cantons qui précèdent et de la géométrie de la voie.

L'occupation du canton n se répercute, en ligne droite, sur le canton n-3 par une consigne de vitesse de 40 km/h, sur le canton n-2 par une consigne d'arrêt normal, et sur le canton n-1 par une consigne d'arrêt d'urgence.



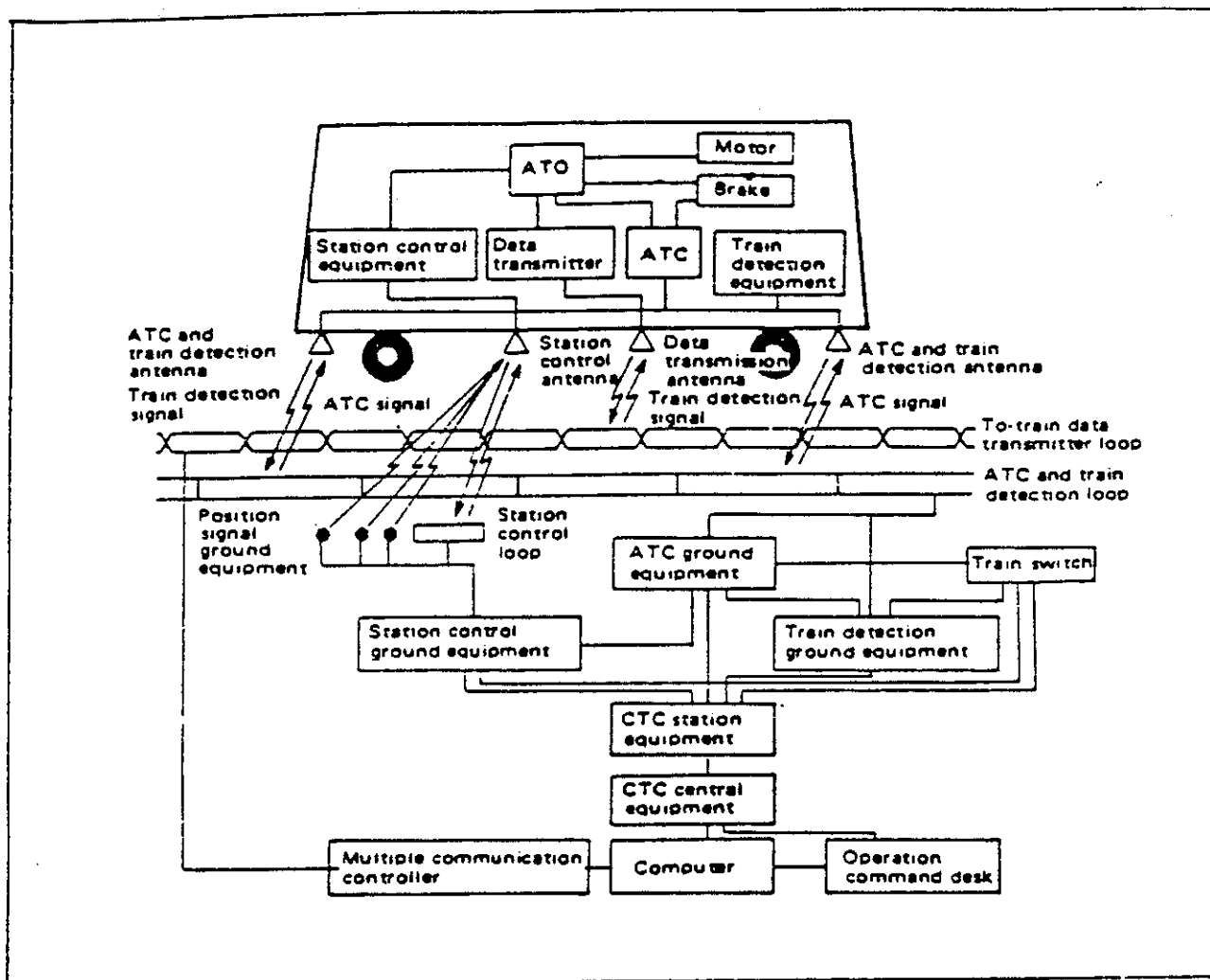
55 km/h	Arrêt d'urgence	Arrêt normal	40 km/h	55 km/h
---------	-----------------	--------------	---------	---------

A partir des consignes de vitesse reçues sur chaque canton, 3 microprocesseurs 6800 travaillant en redondance majoritaire (2 parmi 3) réalisent l'asservissement de la vitesse et de l'accélération.

Un système de contrôle travaillant en parallèle avec le pilote automatique assure la sécurité anti-survitesse, ainsi qu'un certain nombre d'autres fonctions (ouverture des portes...).

L'arrêt en station se fait comme pour le VAL : par décodage de balises disposées sur la voie et permettant une précision d'arrêt en station de ± 30 cm.

Figure 4.8.



Automatic Train Operation System

L'autorisation d'ouverture des portes se fait après un dialogue entre pilote automatique et équipement de station, par l'intermédiaire d'une boucle au sol et d'une antenne embarquée spécifique. Ce dialogue n'est possible que si le véhicule est suffisamment bien positionné.

En plus des boucles de détection de présence et de sécurité anti-collision, on trouve dans le tapis de transmission au sol 2 autres types de boucles inductives :

- Boucles de transmission de données : elles permettent l'échange de données entre le véhicule et le centre de contrôle, sous forme de télémesures résumant l'état d'un certain nombre de sous-systèmes, et entre le centre de contrôle et le véhicule sous forme de télécommandes.

Train \Rightarrow Sol 42 bits/train/s

Sol \Rightarrow Train 28 bits/s.

- Boucles de communication radio véhicule-sol, avec comme fonction supplémentaire la demande d'évacuation d'urgence. Ces boucles permettent les liaisons phoniques entre rames et centre de contrôle.

Capacités

L'intervalle minimal d'exploitation atteint par ce système est de 2 mn 30 s.

Le système peut donc transporter (avec une charge de 4 p/m² debout) :

2.500 passagers/heure/sens	avec des trains de 2 véhicules
5.000 passagers/heure/sens	avec des trains de 4 véhicules
7.500 passagers/heure/sens	avec des trains de 6 véhicules.

4.2.4. Sécurité

Actuellement, les véhicules du type NTS ne fonctionnent sur aucun site sans conducteur.

Les éléments qualifiant la sécurité du système ne peuvent être évalués du fait de cette présence humaine.

Les japonais savent mettre en oeuvre des stations avec des portes palières (Kobe et Osaka). D'autre part, la voie comporte une passerelle d'évacuation, mais l'évacuation des véhicules se fait par une porte frontale à chaque extrémité du train et à l'aide d'une petite échelle. Pour un train comportant 6 véhicules, près de 300 passagers devront évacuer par ces deux portes de 60 cm de large. Il faut donc environ 2 mn 30 pour évacuer avec un débit de 1 p/sens/porte alors que l'évacuation de 300 personnes d'une rame VAL 206 de 52 mètres doit durer environ 30 secondes.

4.3. Mise en service Exploitation Maintenance

Il n'y a pas actuellement de système Japonais aux normes NTS fonctionnant sans agent à bord. Seuls les systèmes KRT de Kobé et New Tram d'Osaka sont complètement automatiques. Mais, à Osaka, le personnel a obtenu la présence obligatoire d'un agent passif à bord du véhicule ainsi que d'un agent dans chaque station.

Au total, il y a 183 personnes à Osaka ce qui donne un ratio de 28 personnes/km alors qu'à Kobé, il y a 115 personnes ; c'est à dire 25 personnes/km*.

Concernant les nouveaux projets des retards considérables ont été accumulés.

La ligne de Tokadai aurait dû être mise en service vers la fin de l'année 1986, à l'heure actuelle, l'inauguration est prévue pour 1991. En outre, l'inauguration de la ligne Kanazawa à Yokohama est prévue pour cette année (elle a été repoussée de 2 ans).

En fait, lors de la construction des différentes lignes Kobé, Osaka, Tokadai, Yokohama etc..., les japonais doivent insérer le système dans une ville nouvelle. L'avantage est que l'insertion est beaucoup plus facile que dans une ville ancienne (type Lille, Toulouse, Bordeaux...) car le système est pris en compte avant la construction des immeubles. L'inconvénient est que si la construction de la ville nouvelle n'avance pas comme prévu, le système de transport ne peut être inauguré à la date prévue. Ceci explique un peu pourquoi des retards de 2 à 5 ans ont pu être accumulés sur certains projets.

En ce qui concerne l'exploitation, les Japonais se sont confrontés avec ces systèmes sur pneu, à des coûts de maintenance beaucoup plus élevés que prévu. C'est une des raisons qui a motivé le développement du véhicule à moteur linéaire.

* Pour mémoire, il y a 260 personnes à Lille ; c'est à dire 10 personnes/km.