

ACEC TRANSPORT

INRETS

20, rue Elisées Reclus

F - 59650 VILLENEUVE D'ASCQ (France)

.54.47

Téléphone : (071) 44 3.78.34

Télifax : (071)

V/Réf. : COM/ENF/D - PS/CV - 91/239

N/Réf. :

Charleroi, 5 mars 1991

1991

Messieurs,

CONCERNE : Etude comparative entre bus et LRT

En réponse à votre lettre FK-TL du 26 décembre 1990, nous vous communiquons ci-après les éléments de réponse nous concernant ainsi que le groupe GEC ALSTHOM dont notre société est par ailleurs filiale à 100 %.

Pour GEC ALSTHOM S.A., France, en réponse aux questions a), b), c) et d), vous trouverez en annexe trois leaflets relatifs aux véhicules de Nantes, Grenoble et Saint Etienne.

Pour le point a), vous trouverez deux diagrammes de mise en vitesse pour Nantes et Grenoble issus des comptes rendus de réception des véhicules sur le site.

Ces diagrammes comprennent d'autres indications que les courbes $V = f(T)$ et $j(T)$ et nous ne souhaitons pas les voir reproduits in extenso, hormis pour l'INRETS lui-même.

Pour le point f), le prix estimatif d'une rame peut être compris entre 10 et 13 MFF suivant options et quantités.

Pour le point g), les résultats des mesures de consommations électriques relevées sur les sites respectifs sont les suivantes :

cc. : MM. BRINTET/CORNIC - GEC ALSTHOM à Neptune

GEC ALSTHOM

	Energie Traction WH/T km	Energie récu- péable WH/T km	Energie nette WH/T km
Tramway de NANTES	83,9	27,4	56,5
Tramway de GRENOBLE	97	39,4	57,6

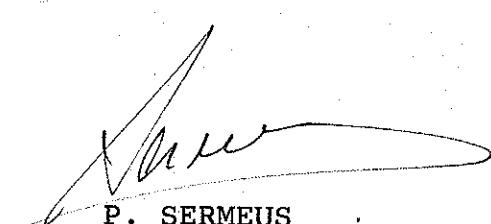
Pour ACEC TRANSPORT, en réponse aux questions a), b), c) et d), vous trouverez en annexe, deux leaflets relatifs aux véhicules de la SNCV, Belgique et de Manille aux Philippines.

Pour le point e), vous trouverez deux diagrammes de courbes théoriques pour la SNCV et Manille.

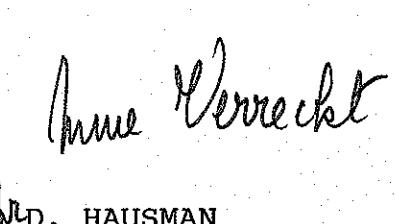
Pour le point f), le prix estimatif est comparable à celui annoncé pour GEC ALSTHOM S.A.

Pour le point g), nous n'avons pas de résultats de mesures disponibles.

Nous vous prions d'agréer, Messieurs, l'assurance de notre considération distinguée.



P. SERMEUS
Directeur de l'Ingénierie Financière



J.R.D. HAUSMAN
Directeur Commercial

INTERIOR ARRANGEMENTS

- The specific utilization of the tramcar has led to equipping the vehicle with large windows on both sides and ends for an improved outside vision.
- The requirement to facilitate maintenance and cleaning has been taken into consideration by the adoption of easily cleanable or rapidly changeable covering materials and the fitting of the seats to the vehicle side walls without the use of floor mounting supports.



THE NANTES LIGHT RAIL VEHICLE



GEC ALSTHOM

Division des Transports Ferroviaires
Tour Neptune - Cedex 20
92086 Paris - La Défense (France)
Téléphone : 33 (1) 47.44.90.00
Télex : ALSTR 611 207 F
Télécopie : 33 (1) 47.78.77.55

DTR • PPC 1002 - 07/89 - RCS PARIS B 562 074 445 - RÉALISATION JADIE, FRANCE 33 (1) 34 16 11 16 - ALL INFORMATION IS GIVEN FOR INDICATION AND IS SUBJECT TO CHANGE WITHOUT NOTICE - PHOTOS : ALSTHOM/G. ISV.

GEC ALSTHOM

**First development of a new generation
of French tramcars, the Nantes light
rail vehicle has been designed
in function of the following
fundamental principles:**

- Articulated vehicle consisting of two car bodies mounted on three bogies;
- Normal gauge track;
- Total reversibility;
- "All electric" vehicle;
- Possibility of forming integral automatic double units by the coupling system.



GENERAL

- Tramset consist: 2 articulated power cars mounted on 2 motor bogies and a central carrying bogie.
- Dimensional characteristics:
 - Overall length..... 28.50 m
 - Carbody width..... 2.30 m
 - Floor height from railtop..... 0.87 m
 - Ceiling height..... 2.08 m
- Accessibility:
 - 4 double doors and 2 single doors per side (outside pivoting plug type);
 - Stairing for 0.25 m low platform consisting of a moving step whose movement is coupled with the opening of the door and a fixed step.
- Carbody construction: Aluminium profile sections.
- Bogie construction: Welded steel plate box section members.

PERFORMANCES

- Under full load (6.6 standing passengers/m²)
 - Maximum speed..... 70 km/h
 - Average acceleration from 0 to 40 km/h..... 1.1 m/s²
 - Time to reach maximum speed..... 27 seconds
 - Residual acceleration at 70 km/h..... 0.3 m/s²
 - Deceleration in normal service braking mode..... 1.2 m/s²
 - Deceleration in maximum service braking mode..... 1.5 m/s²
 - Deceleration in emergency braking mode..... ≈ 3 m/s²

PASSENGER CAPACITIES

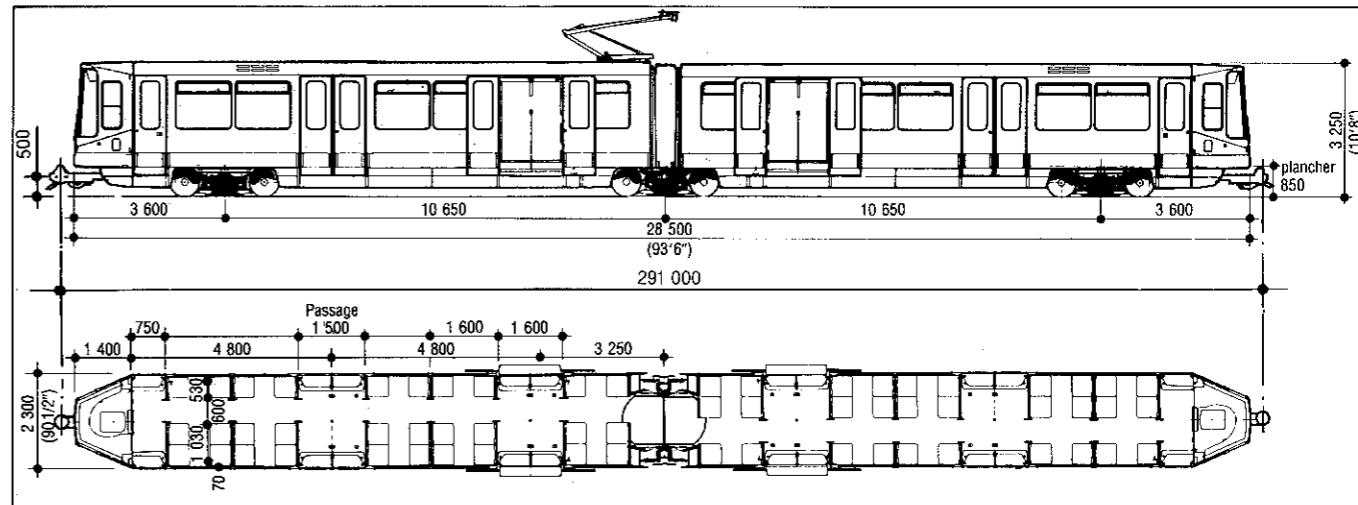
Under normal load:	
Seated passengers.....	60
Standing passengers (4 per m ²).....	108
TOTAL.....	168
Under full load:	
Seated passengers.....	60
Standing passengers (6.6 per m ²).....	178
TOTAL.....	238

WEIGHTS

In running order.....	40,080 kg
Under normal load.....	51,840 kg
Under full load.....	56,740 kg

ELECTRIC TRANSMISSION

- Two 275 kW direct current self ventilated traction motors each supplied by two thyristors current choppers.
 - One Freon cooled main chopper;
 - One naturally ventilated excitation chopper.



AUXILIARIES

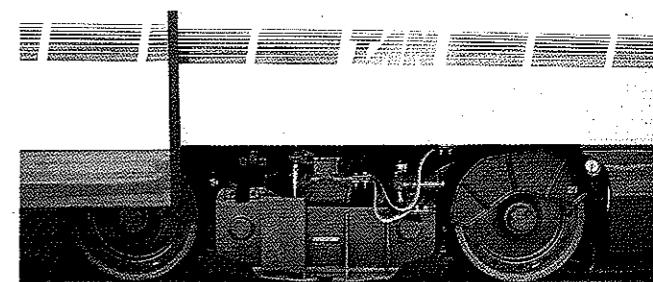
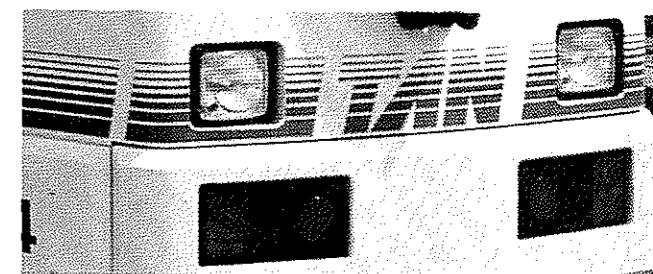
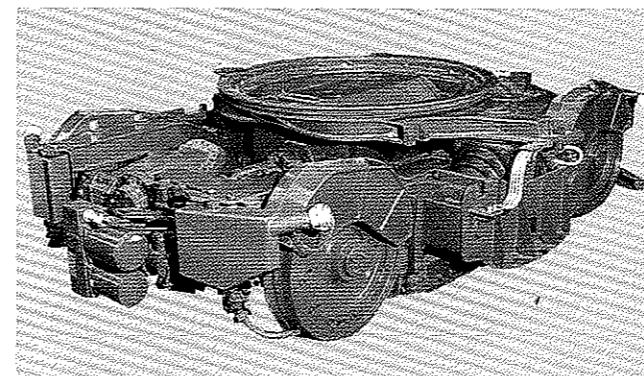
- One 750 V - 72 V direct current main static converter;
- Two 72 V - 24 V static converters connected in parallel, incorporated in the main static converter;
- One inverter;
- One 72 V - 70 Ah cadmium-nickel battery.

BRAKING

- Regenerative electric and dynamic braking coupled to mechanical discs electrically activated with the addition of magnetic pads for emergency braking.

BOGIES

- All bogies are equipped with resilient wheels (\varnothing 660 mm) and the 2 suspension stages (primary and secondary) with elastomer and rubber metal pads.
- Motor bogie:
 - monomotor type with the motor longitudinally installed and fully suspended in the center of the frame;
 - movement transmission by cardan shafts and two stage reduction gear boxes.
- All bogies are equipped with disc brakes and magnetic brake pads.



INTERIOR ARRANGEMENTS

The comfort and spaciousness of the passenger compartment has been given particular attention:

- 500 mm wide individual seats.
- Regulated heating-ventilation (air pulsed) system.
- Improved noise level, notably by the utilization of anti-vibrating elastic wheels, thus avoiding wheel to rail resonances.
- Anti-vandal interior finishing.
- The driving cab defined following an ergonomic study.



PASSENGER CAPACITIES:

Under normal load:	
Seated passengers.....	54
Standing passengers (4 per m ²).....	120
TOTAL.....	174
Folding seats.....	4

Under full load:	
Seated passengers.....	54
Standing passengers (6.6 per m ²).....	198
TOTAL.....	252



WEIGHTS

In running order.....	43,900 kg
Under normal load.....	56,100 kg
Under full load.....	61,500 kg

AUXILIARIES

- One 750 V-72 V direct current main static converter;
- Two 72 V-24 V static converters connected in parallel, incorporated in the main static converter;
- Two inverters supplying 55 volts, 3 PH.AC.45 Hz;-
- One 72 V-70 Ah cadmium-nickel battery.

ALSTHOM

DIVISION DES TRANSPORTS FERROVIAIRES
TOUR NEPTUNE - CEDEX 20
92086 PARIS LA DEFENSE (FRANCE)
Phone: 33 (1) 47 44 90 00
Telex: ALSTR 611 207 F
Fax: 33 (1) 47 78 77 55

De Dietrich

DIVISIONS FERROVIAIRE ET MECANIQUE
REICHSHOFFEN - USINES
67110 NIEDERBRONN-LES-BAINS (FRANCE)
Phone: 33 (16) 88 80 25 00
Telex: DIETRIR 870 850 F
Fax: 33 (16) 88 80 25 12

RÉALISATION JADE - FRANCE 33 (1) 34 16 28 72 ALL INFORMATION IS GIVEN FOR INDICATION AND IS SUBJECT TO CHANGE WITHOUT NOTICE



THE GRENOBLE LIGHT RAIL VEHICLE

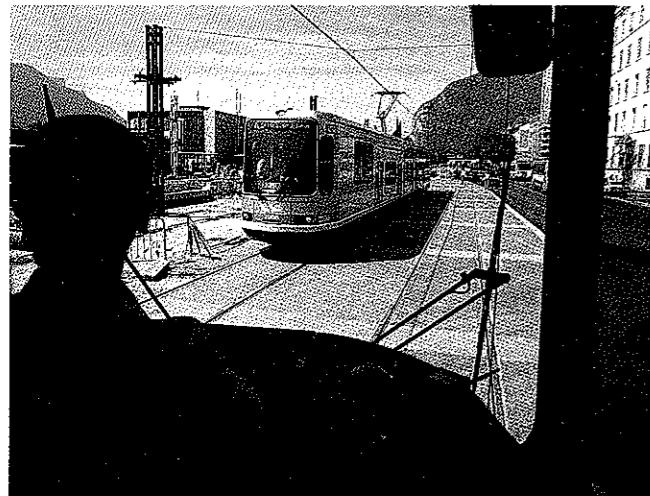


ALSTHOM

Modern version of the tramcar, the light rail vehicle presently benefits from an important development accompanied at each realization by remarkable evolutions.

For Grenoble, and for the first time in France, the new low floor option enables easy accessibility to physically handicapped passengers.

Thus a new range of equipment emerges, which includes the latest technical innovations (electronics, microprocessors).

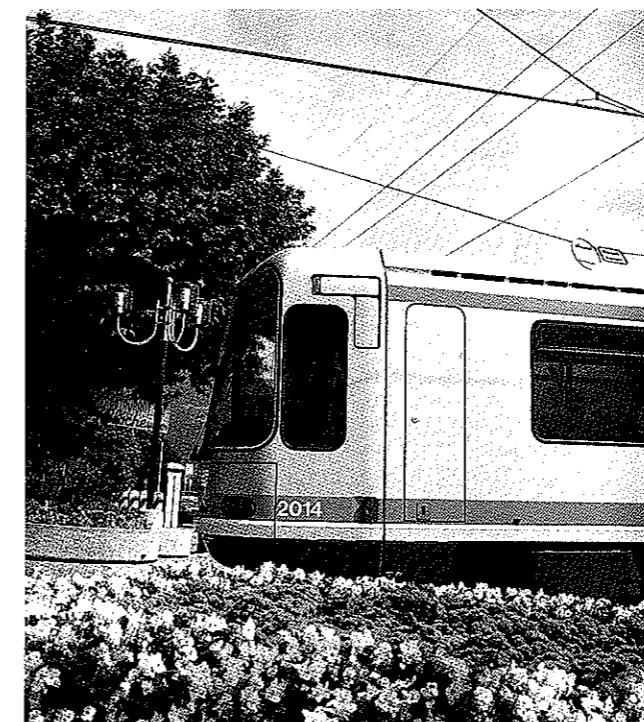
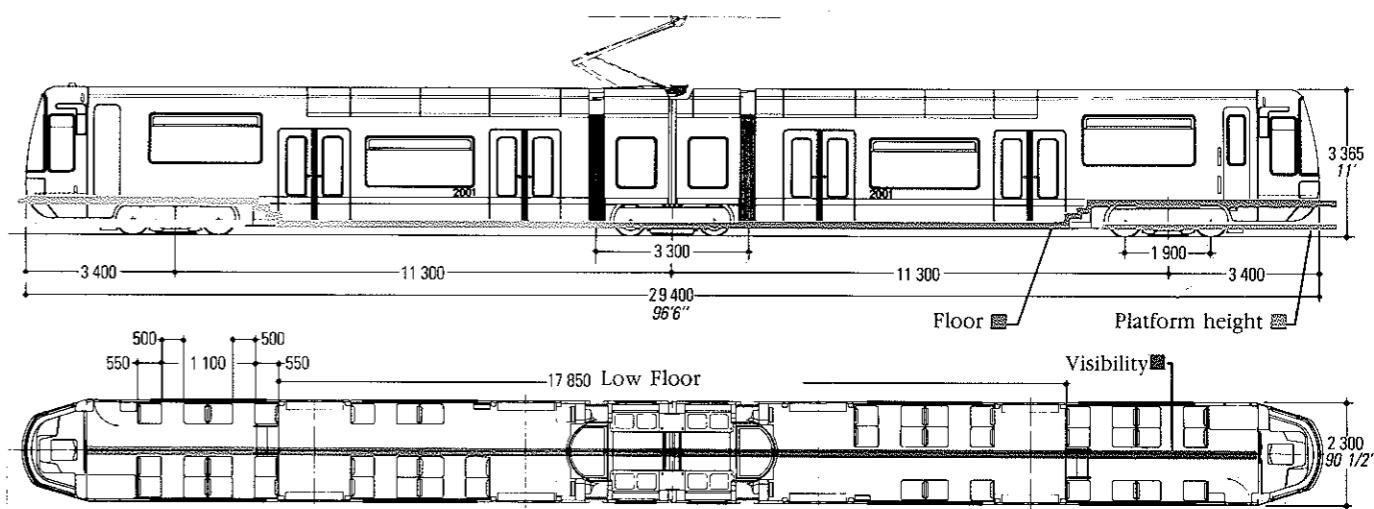


PERFORMANCES

- Under full load (6.6 standing passengers/m²)
- Maximum speed..... 70 km/h
- Average acceleration from 0 to 40 km/h... 0.92 m/s²
- Time to reach maximum speed..... 29 secs
- Residual acceleration at 70 km/h..... 0.27 m/s²
- Deceleration in normal service
braking mode..... 1.2 m/s²
- Deceleration in maximum service
braking mode..... 1.5 m/s²
- Deceleration in emergency braking mode.. 2.9 m/s²
- Adjustable jerk during acceleration..... 0.6 to 1 m/s³

GENERAL

- Trainset consists:
 - 2 articulated cars mounted on 2 motor bogies and a low intercommunication floor on a central carrying bogie.
 - Normal gauge track.
 - Total operating reversibility.
 - No compressed air.
 - Possibility of forming automatic multiple units by the addition of an integral coupling.
- Dimensional characteristics
 - Overall length..... 29.40 m
 - Car body width..... 2.30 m
 - Floor height from railtop
 - lower part..... 0.345 m
 - upper part..... 0.875 m
 - Ceiling height..... 2.10 m
- Accessibility
 - 4 double doors per side (outside pivoting plug type).
 - 85 mm maximum step height which can be compensated systematically or upon request, by an advancing plate linking the low floor to the sidewalk for wheelchair and pram access.
- Interior passenger movement
 - Raised floor at each end of the body to accommodate the motor bogies.
 - 17.85 m long low floor in central part of body.
 - 3 step stairway between both floor levels.
 - Special areas for wheelchairs and prams, etc. on the access platforms.



ELECTRIC TRANSMISSION

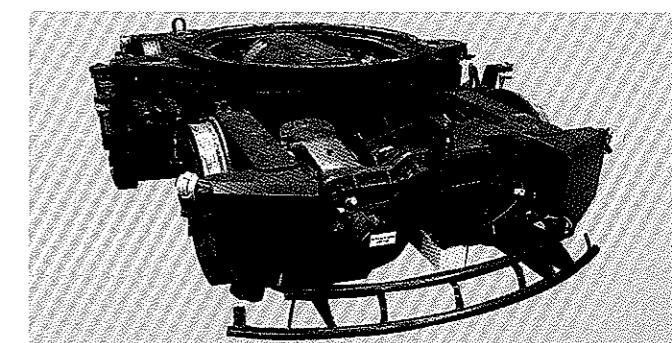
- Two 275 kW direct current self ventilated traction motors each supplied by two thyristor current choppers. Processing of traction/braking micro-programmed settings for an optimal utilization of available adhesion.

BRAKING

Regenerative electric and dynamic braking coupled to electrohydraulic discs with the addition of magnetic pads for emergency braking. An anti-slide micro-programmed device where sliding is electronically controlled completes the feeling of comfort and security when in braking mode.

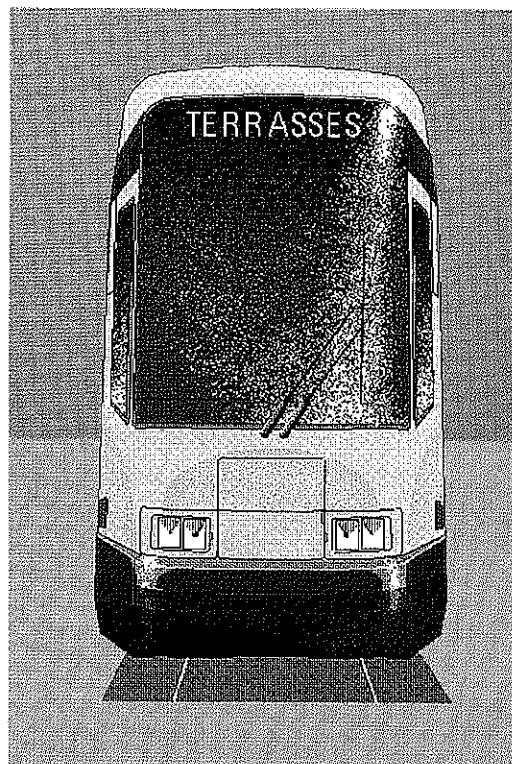
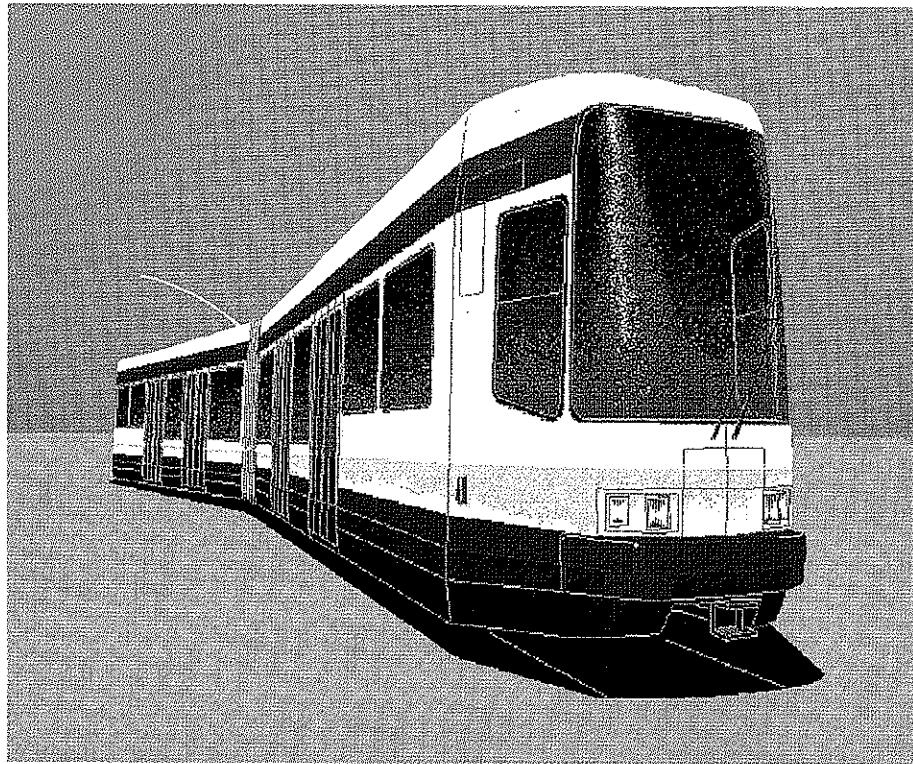
BOGIES

- All bogies are equipped with resilient wheels (\varnothing 660 mm) and 2 suspension stages (primary and secondary) with elastomer and rubber metal pads.
- Motor bogie:
 - Weight: 5,820 kg.
 - Monomotor type with the motor longitudinally installed and fully suspended in the center of the frame.
 - Movement transmission by cardan shafts and two stage reduction gearboxes.
- Carrying bogie:
 - Weight: 3,960 kg.
 - The research into an intercommunicating low floor led to the original design of an independent wheeled extra low central bogie with elbowed axles thus enabling movement between the two vehicles.





SAINT-ETIENNE TRAMCAR



In order to modernize and renew their rolling stock, the intercommunal federation (SIOTAS) and the TRAS operating company responsible for the Saint-Etienne tramcar network have ordered 15 twin articulated tramcar units from GEC ALSTHOM.

This equipment is designed and constructed in collaboration with the Swiss company ATELIERS DE CONSTRUCTION MECANIQUE DE VEVEY. This new GEC ALSTHOM-VEVEY tramcar provides improved performance, comfort and economy, and is specially adapted to metric-track tramcar networks.

This equipment, which will be put into service in April 1991, will cover a distance of 9.4 km and will serve the 29 stations making up the greater Saint-Etienne tramcar network.

This new equipment was developed to meet the specific rail gauge and axle load (limited to 8 tons) of this network.

Among its advantages are :

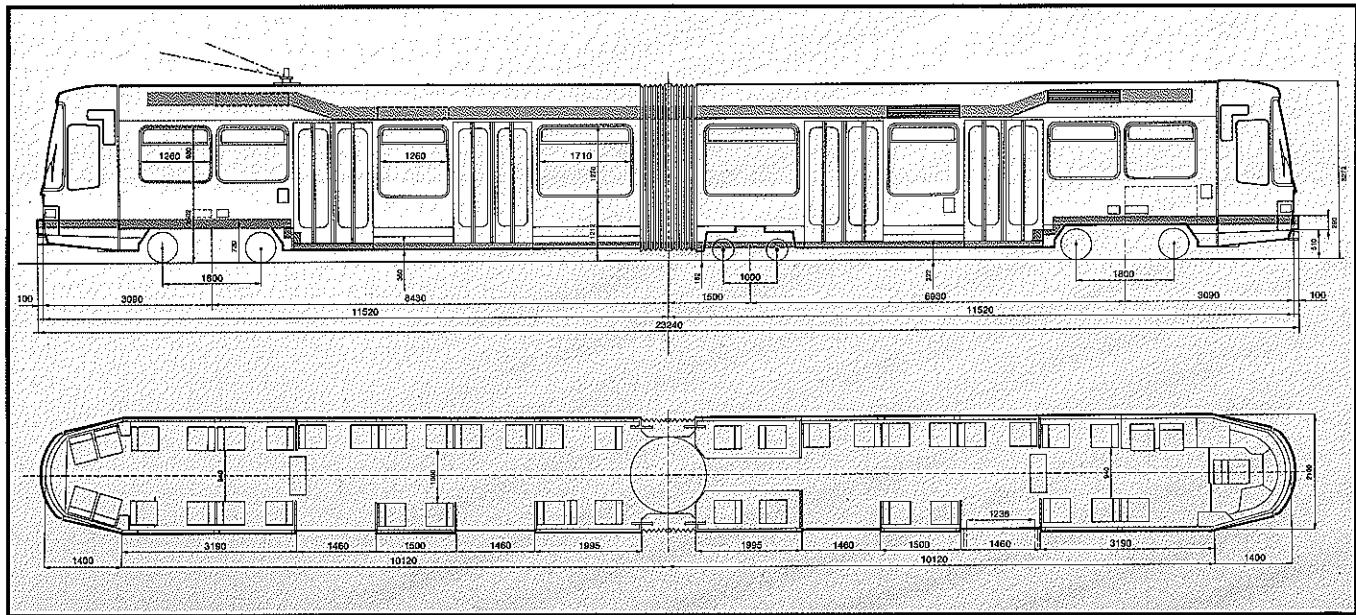
- Reduced rail gauge and weight,
- Lower floor board, facilitating access for the handicapped,
- Improved reliability and lower maintenance costs due to the use of microprogrammed solidstate equipment.

VEVEY supplies the bodyshells, the bogies and the articulation system for the vehicle.

GEC ALSTHOM supplies the motors and the traction equipment, and is also responsible for fitting out the interior and integrating the various components of the vehicle.

VEVEY

GEC ALSTHOM



SPECIFICATIONS

GENERAL

Unidirectional vehicle, (bidirectional optional).	
Vehicle length	23.20 m
Vehicle width	2.10 m
Floor height to rail	lower section 360 mm upper section 720 mm
Ceiling height	2.10 m
Free door access	1.26 m

CAPACITY

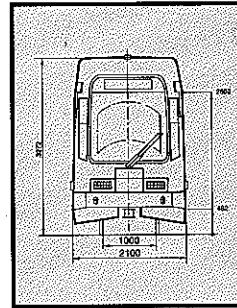
Weight (no load)	27.4 t
Weight (under load)	41.0 t
Passenger capacity - seated	43

- standing 7 p/m² 161

Total : 204 passengers
Access via 4 folding doors, without footboard.

PERFORMANCES

Maximum speed	70 km/h
Maximum acceleration	1.2 m/s ²
Normal operating deceleration	1.2 m/s ²
Maximum emergency deceleration	3.0 m/s ²



POWERING

Supply voltage 600 V d.c., trolley arm collection
2 140-kW d.c. motors
Motor control : one GTO chopper per motor
Electric braking : regenerative and/or rheostatic

BOGIES

2 single-motor bogies, 1 carrier bogie
Wheel base 1,800 mm MB, 1,000 mm CB
Track gauge 1.000 mm
Electrohydraulic disk brakes
Electromagnetic pads.

MISCELLANEOUS EQUIPMENT

Heating ventilation system
Static converter : 3-ph 380/220 V, 50 Hz, 24 V d.c.
24-V Battery

GEC ALSTHOM

Division Transport
Tour Neptune - Cedex 20
92086 Paris - La Défense (France)

Téléphone: 33 (1) 47.44.90.00
Télex: ALSTR 611 207 F
Telex: 33 (1) 47.78.77.55

Vevey

CH-1800 Vevey (Suisse)
Téléphone: 021/925 71 11
Télex: 451 104 VEY CH
Telefax: 021/921 00 60

Systèmes de transport

ACEC TRANSPORT

GEC ALSTHOM

Voitures de métro léger

Voitures articulées à trois bogies
de la Société Nationale des Chemins de Fer Vicinaux (SNCV), Belgique.

Equipement électrique.

Électronique embarquée.

TPF 935-83.20
Tiré à part de la
REVUE-ACEC



Voiture du réseau de Charleroi

L'EQUIPEMENT ELECTRIQUE DES NOUVELLES VOITURES DE METRO LEGER DE LA SNCV

INTRODUCTION

La Société des Chemins de Fer Vicinaux a décidé, il y a quelques années, de transformer ses 2 réseaux de tramways classiques (Littoral et Charleroi) en réseaux de métro léger.

Ces derniers se caractérisent principalement par des voies en site propre sur la quasi totalité des lignes ; ceci étant indispensable pour obtenir une vitesse commerciale et une régularité de trafic satisfaisantes.

Sur le réseau du littoral, le tracé des lignes actuelles le long de la côte est maintenu presque intégralement ; des adaptations étant prévues seulement pour la traversée des agglomérations.

Par contre, le réseau de Charleroi sera complètement restructuré ; il est notamment prévu la construction d'une boucle ceinturant le centre de Charleroi et de laquelle partiront 8 lignes en antenne desservant la grande agglomération. Ces travaux sont en cours d'exécution actuellement et leur achèvement est prévu pour 1994.

Les voitures du type 9000 roulant sur les deux réseaux actuels ne répondent plus aux critères de confort et de fiabilité exigés pour des voitures de métro léger. Le client a, dès lors, en 1977, passé commande à l'industrie belge de deux voitures prototypes de conception entièrement nouvelle (une voiture pour chaque réseau).

Cette commande, répartie entre la société «Constructions Ferroviaires et Métalliques» pour la partie mécanique et ACEC pour la partie électrique, a été étendue en 1978 à une première série de 103 voitures dont 50 pour le littoral et 53 pour Charleroi.

CONCEPTION DES VOITURES

Les nouvelles voitures de métro léger sont des voitures articulées à 3 bogies dont les 2 extrêmes sont motorisés. Les voitures de Charleroi comportent 2 postes de conduite et des portes des 2 côtés tandis que celles du Littoral ne comportent qu'un seul poste de conduite et des portes d'un seul côté.

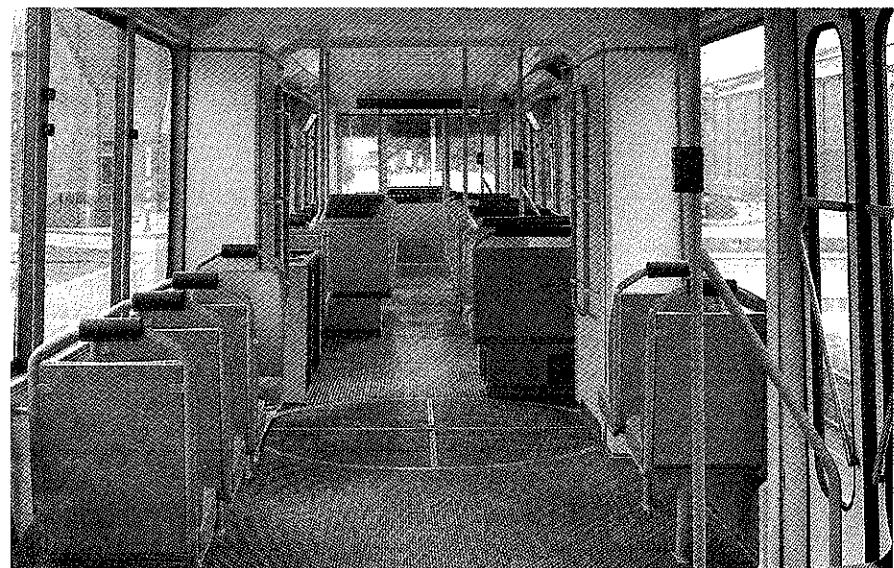
Il est possible d'accoupler 3 voitures entre elles, ce qui permettra de former des trains de grande capacité en périodes de pointes. Les performances des véhicules en traction ont été définies en tenant compte des caractéristiques différentes des deux réseaux. En particulier, la vitesse maximale est de 65 km/h sur le réseau de Charleroi où la distance moyenne entre arrêts est de 600 m et de 75 km/h sur le réseau du Littoral où cette distance est de 1000 m.

L'équipement de motorisation est cependant le même sur les deux types de voitures, les performances différentes étant obtenues par simple changement du rapport de réduction des ponts réducteurs.

FICHE TECHNIQUE DES VOITURES

- Réseau d'alimentation en courant continu :
 - tension nominale : 600 V
- Dimensions des voitures :
 - longueur hors tout : 22,880 m
 - largeur hors tout : 2,500 m
 - hauteur extérieure : 3,260 m
 - hauteur intérieure : 2,195 m
 - hauteur du plancher au dessus du rail (roues neuves) : 0,860 m
- Ecartement de la voie : 1,0 m

- Diamètre des roues (neuves/usées) : 660/600 mm
- Rapports de réduction des ponts de bogie :
 - Charleroi : 1/6,22
 - Littoral : 1/5,4
- Tare : 32,5 t
- Charge maximale : 13,44 t (192 personnes)
- Charge normale : 9,87 t (141 personnes)
- Vitesse maximale de service :
 - Charleroi : 65 km/h
 - Littoral : 75 km/h
- Nombre de moteurs par véhicule : 2
- Puissance au régime continu de chaque moteur : 216,3 kW
- Accélération au démarrage, en palier et sous charge normale :
 - Charleroi : 1 m/sec²
 - Littoral : 0,85 m/sec²
- Décélération en freinage de service, en palier, à pleine charge et pour V<=45 km/h
 - Charleroi et Littoral : 1,35 m/sec²
- Vitesse de variation de l'accélération et de la décélération : 1 m/sec³
- Vitesse commerciale sous charge normale, en palier et avec 20 secondes d'arrêt :
 - Charleroi sur trajet type de 600 m : 30 km/h
 - Littoral sur trajet type de 1000 m : 39 km/h



1. Voiture du réseau de Charleroi.

PARTIE MECANIQUE

— La caisse est construite en acier soudé avec ossature autoportante et tôles extérieures participant à la résistance de l'ensemble.

— Toutes les portes sont doubles, avec deux vantaux à mouvement louvoyant vers l'intérieur et à commande électropneumatique.

Il est prévu en outre une marche mobile pour quai bas.

— L'éclairage normal est assuré par 2 rangées latérales continues de tubes fluorescents.

— La ventilation de la voiture est réalisée par 2 groupes de ventilation situés dans la toiture. En hiver, pour le chauffage, ces ventilateurs soufflent à travers des résistances alimentées sous tension 600 V sous la surveillance de thermostats d'ambiance.

— La conduite de la voiture s'effectue par pédales. Le pédalier, de fabrication ACEC, en comporte 3 :

- pédale de traction
- pédale de freinage
- pédale d'homme-mort

— De conception entièrement nouvelle, les bogies du type monomoteur comportent :

- des roues élastiques

- 2 étages de suspension : primaire par éléments en caoutchouc et secondaire par coussins d'air
- 2 réducteurs à simple étage et à arbre creux (sur bogies moteur)
- le moteur de traction disposé longitudinalement, entièrement suspendu et à ventilation forcée (sur bogies moteur)
- 2 freins à disques sur essieu et à commande électropneumatique
- 2 patins électromagnétiques sur rails
- des sablières à commande électropneumatique.

FREINS

Les voitures sont équipées de 3 types de frein :

- électrodynamique (rhéostatique et à récupération) sur les bogies moteurs
- électropneumatique sur les 3 bogies
- à patins électromagnétiques sur les 3 bogies

Le tableau de la page 5 reprend tous les modes de freinage.

CIRCUITS DE PUISSANCE

Le schéma des circuits de puissance (fig. 3) présente les particularités suivantes :

- La voiture est alimentée par un seul pantographe à commande par servomoteur électrique et sa protection est assurée par

un fusible HT et un disjoncteur de ligne. Ces 3 appareils sont installés sur la toiture.

— Chaque moteur est alimenté par un hacheur et les 2 hacheurs de la voiture sont entrelacés sur un filtre d'entrée unique.

— L'élimination sélective des hacheurs peut être effectuée par des contacteurs d'isolation, permettant ainsi, en cas d'avarie sur une demi-voiture, de continuer à rouler avec l'équipement de l'autre demi-voiture.

— La commutation traction-freinage est réalisée pour chaque moteur par deux contacteurs de puissance. Ceux-ci fonctionnent toujours à courant nul, ce qui assure une usure minimale des contacts.

— L'inversion du sens de marche par un inverseur agissant sur le courant d'excitation des moteurs.

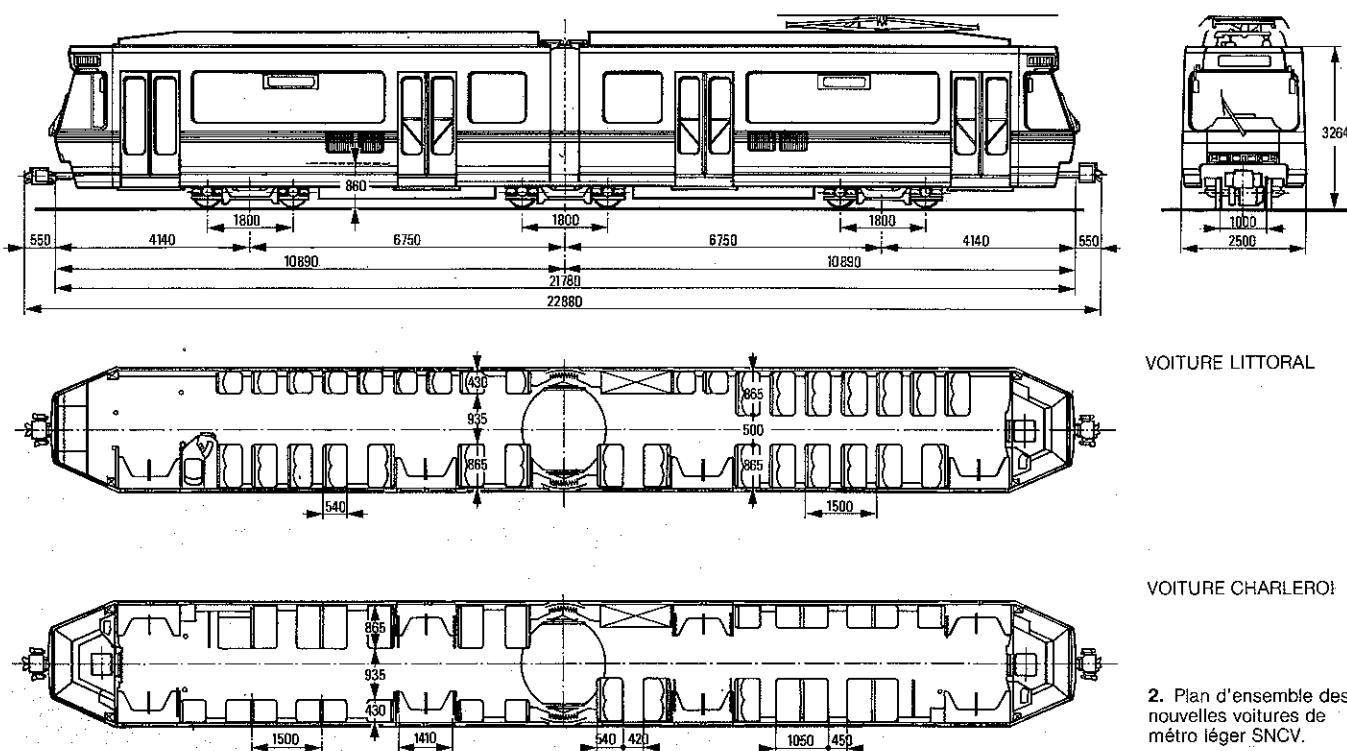
Fonctionnement en traction (1)

Les contacteurs K2 et K3 sont fermés. Le thyristor principal Th1 est allumé à intervalles fixes, laissant passer le courant du réseau à travers la self de lissage L2, l'inducteur du moteur M, la diode de traction D2, l'induit du moteur M et le contacteur de traction K3.

Lorsque le thyristor Th1 est éteint, le courant continue à circuler dans le moteur via la diode de roue libre D2.

Les 2 hacheurs fonctionnent à la fréquence constante de 200 Hz et sont déphasés entre eux d'une demi-période.

Le hachage est autorisé lorsque la tension est comprise entre 400 et 720 V.



VOITURE LITTORAL

VOITURE CHARLEROI

2. Plan d'ensemble des nouvelles voitures de métro léger SNCV.

Le courant maximal de démarrage du moteur est de 720 A pour une tension de réseau supérieure ou égale à 600 V. En dessous de cette valeur, le courant diminue pour atteindre 430 A à 400 V.

Fonctionnement en freinage

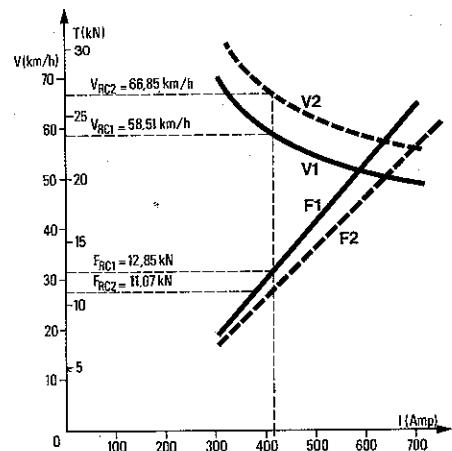
Les contacteurs K2 et K4 sont fermés. Dans la première phase du cycle de fonctionnement du hacheur, le thyristor principal Th1 est allumé, mettant le moteur M en court-circuit.

Le courant circule par l'induit du moteur M, la diode D3, le thyristor Th1, la self de lissage L2, l'inducteur du moteur M, le fusible F3 et le contacteur K4. Dans la deuxième phase, le thyristor Th1 est éteint; le courant du moteur est renvoyé au réseau via la diode D3, le fusible F4, le contacteur K2, la self L1, le disjoncteur Q1, le fusible F2 et le pantographe X1; le retour du courant s'effectue ensuite par la masse, la diode de roue libre D1, la self L2, l'inducteur du moteur M, le fusible F3 et le contacteur K4.

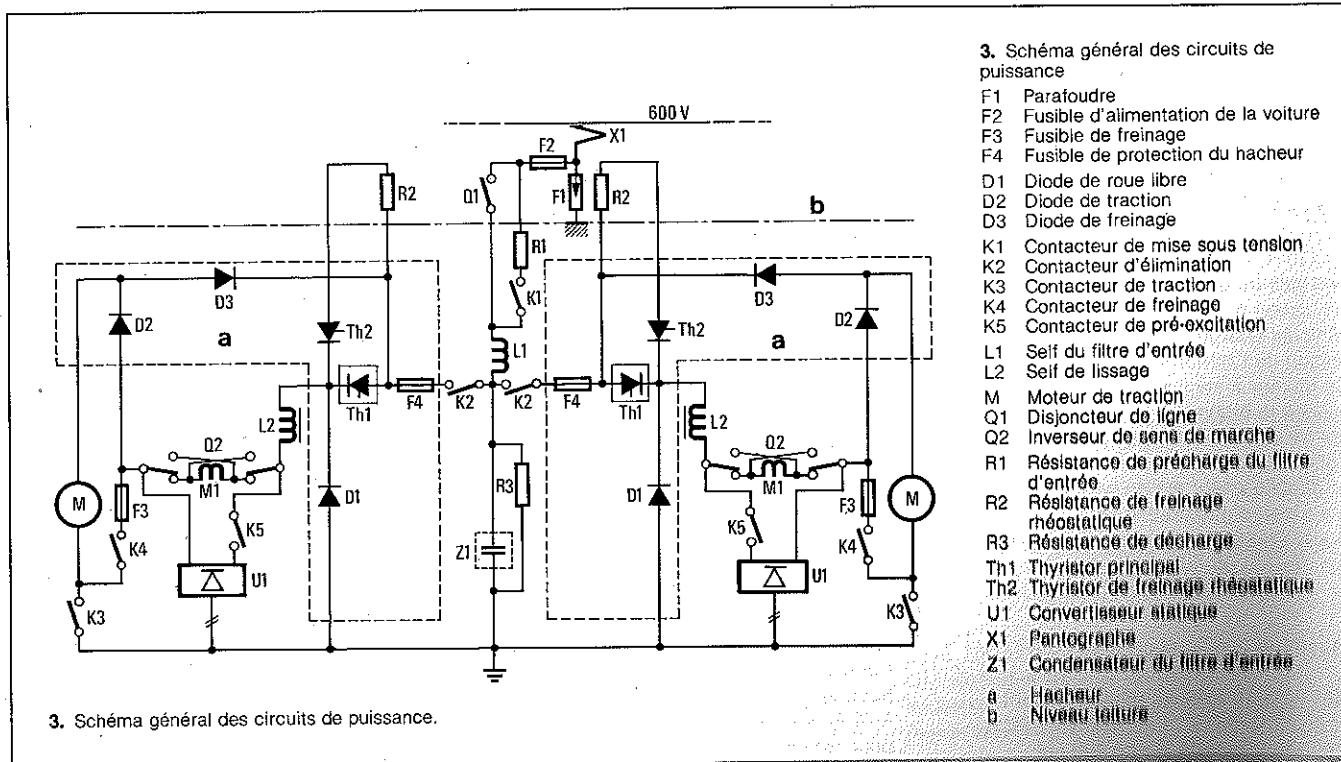
Si le réseau est incapable d'absorber toute l'énergie renvoyée, sa tension croît. Lorsqu'elle dépasse le seuil de 720 V environ, on allume le thyristor Th2. Le courant circule alors par D3, la résistance de freinage R2, le thyristor Th2, la self L2, l'inducteur M, le fusible F3 et le contacteur K4. Ce mode de freinage, appelé mixte, permet de renvoyer au réseau toute l'énergie qu'il est capable d'absorber. Le courant maximal de freinage est de 650 A par moteur à Charleroi et 700 A par moteur sur la voiture du littoral.

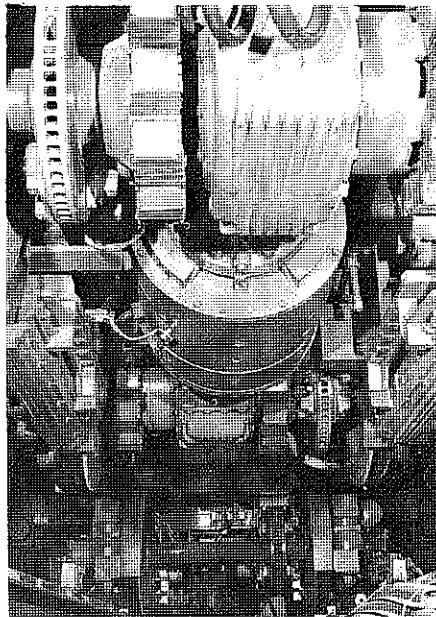
Tableau 1. - Modes de freinage

Commande des freins	électro-dynamique	pneumat. bogies moteur (indirect)	pneumat. bogie porteur (direct)	patins électro-magn.
Frein de service	X V>5 km/h	X V<5 km/h	X	
Frein d'urgence par :				
- pédale de F.	X	X	X	X
- Homme-mort	V>5 km/h	V<5 km/h		
- Survitesse				
Frein de sécurité par :				
- arrêt automatique				
- coup de poing		X	X	X
- pédale de F.				
- poignée voyageurs				
Frein d'immobilisation	X V≤1 km/h	X V≤1 km/h		
Frein de stationnement	X			

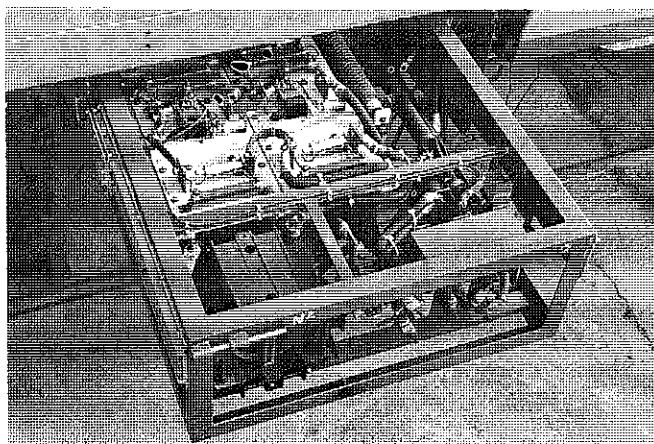


4. Courbe du moteur de traction.
V1/F1 : voiture Charleroi
V2/F2 : voiture Littoral





5. Le bogie et son moteur.



6. Vue du hacheur extrait de la voiture.

Moteur de traction ME084S

Grâce à l'utilisation du hacheur, les moteurs ont pu être définis à une vitesse beaucoup plus élevée que pour un équipement conventionnel à contacteurs (fig. 5); cette particularité a 2 conséquences sur l'équipement :

— on travaille constamment à plein champ, aussi bien en traction qu'en freinage, ce qui évite l'utilisation de contacteurs et résistances de shuntage.

— en freinage, la tension induite par le moteur reste toujours suffisamment faible pour pouvoir travailler dans toute la gamme de vitesses sans résistance additionnelle. On renvoie ainsi au réseau un maximum d'énergie en toutes circonstances.

Les caractéristiques en régime continu du moteur ME084S sont : $U_n = 560 \text{ V}$, $I = 415 \text{ A}$, $P = 216,3 \text{ kW}$, $N = 3064 \text{ tr/min}$. Ces valeurs ont été déterminées après simulation sur ordinateur de la marche du véhicule chargé sur la ligne la plus duré du réseau de Charleroi.

Ce moteur à ventilation forcée est réalisé suivant la technique habituelle chez ACEC (2). La carcasse est en construction entièrement soudée et l'isolation de l'induit et de l'inducteur est du type NOMINACEC avec post-imprégnation sous vide en résine epoxy classe F. Les porte-balais sont montés sur un curseur accessible par une seule trappe située sous le moteur.

Hacheur

Ses caractéristiques générales sont : U nominal 600 V - I sortie max. 730 A - I entrée max. 365 A - $f = 200 \text{ Hz}$.

Les hacheurs sont réalisés en plusieurs sous-ensembles qui sont :

- les condensateurs de filtrage assemblés dans 2 coffres.
 - les selfs de lissage et d'entrée installées dans 2 coffres et à ventilation forcée comme dans les réalisations antérieures (3).
 - les hacheurs proprement dits comprenant les semi-conducteurs et le circuit d'extinction.
- D'un encombrement très réduit grâce à l'utilisation d'un seul semi-conducteur contrôlant toute la puissance, ces 2 hacheurs sont montés sur glissières et sont entièrement extractibles.

Appareillage

L'appareillage électromécanique HT est installé dans deux coffres suspendus sous le châssis de la voiture et accessibles par le dessous. Pour empêcher l'entrée de poussières ou de neige dans les coffres, ceux-ci sont mis sous pression par liaison avec la sortie des ventilateurs des hacheurs. Tous les appareils électromécaniques sont à commande électrique. Outre les contacteurs du type W50 pour les circuits auxiliaires, les coffres contiennent au total :

- 6 contacteurs de type DSG 1/40 (fabrication KIEPE) pour les commutations traction-freinage et l'isolement des hacheurs.
- 2 inverseurs à bascule du type IB 35 pour l'inversion du sens de marche.

Résistance de freinage

Les résistances de freinage rhéostatique du type CR sont calculées pour fonctionner avec une ventilation naturelle et sont installées sur la toiture.

Ventilation

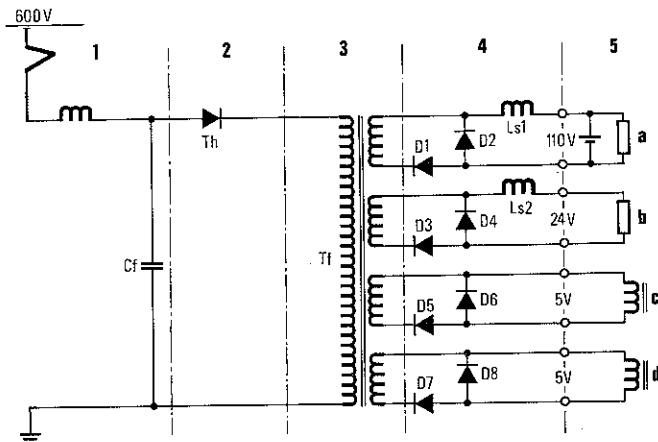
La ventilation des hacheurs, du convertisseur et des moteurs de traction est assurée sur chaque demi-voiture par 1 groupe constitué d'un moteur d'1,5 kW à 600 V et de 2 ventilateurs. Le premier ventilateur aspire l'air à travers des filtres, latéralement et à 1,5 m du niveau du rail, et le refoule successivement dans le hacheur, la self de lissage puis, d'un côté seulement, la self d'entrée et le convertisseur. Le second ventilateur aspire l'air sous la caisse à travers des filtres et le renvoie dans un moteur de traction.

LES AUXILIAIRES BT

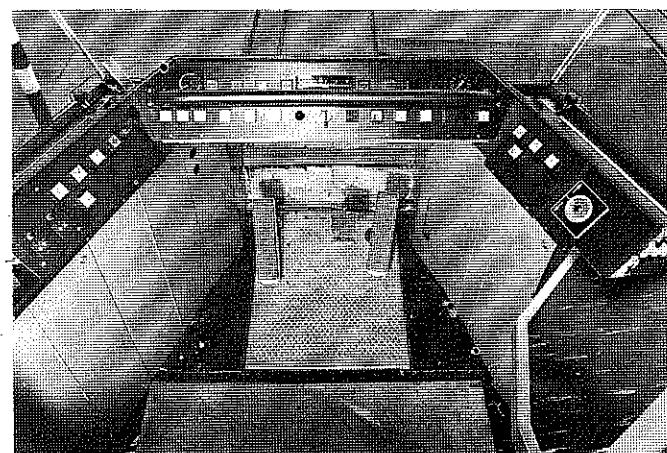
Alimentation

Les auxiliaires BT sont alimentés par un convertisseur statique de 8,5 kW fournit les tensions suivantes :

- 110 V courant continu pour la charge batterie (batterie alcaline 58 Ah), les asservissements et régulations, les commandes de train, les appareils de freinage pneumatique et les freins à patins et l'éclairage intérieur de la voiture.
- 24 Vcc pour les feux extérieurs, les signalisations, les équipements de radio et d'interphonie...



- 1. Filtrage commun aux hacheurs et convertisseur.
- 2. Cellule de découpage (hacheur).
- 3. Transformateur.
- 4. Redresseur et filtrage.
- 5. Batterie et charges.
- a) Auxil. 110 V. b) Auxil. 24 V c) Excit. Mot 1 d) Excit. Mot 2
- 7. Schéma de principe du convertisseur statique



8. Vue du poste de conduite

— 2 sorties supplémentaires à 5 Vcc sont prévues pour l'excitation des moteurs de traction en début de freinage.

Description du convertisseur statique

Le convertisseur SNCV est de la même famille que ceux construits ou en construction en centaines d'exemplaires pour des voitures de tramways (à 600 V), de métro (750 V) ou automotrices (3000 V). Tous ces convertisseurs diffèrent par la tension d'alimentation, la puissance et le nombre de sorties mais fonctionnent tous suivant le même principe.

Le convertisseur se décompose fonctionnellement en 4 parties :

— un filtre d'entrée qui, dans les voitures SNCV, est confondu avec celui des hacheurs ;

— un hacheur à fréquence variable composé d'une cellule de découpage Th sans thyristor d'extinction. La fréquence de hachage est réglée pour maintenir la tension de sortie principale à 110 V ;

— un transformateur Tf à 4 secondaires et qui adapte les ondes de tension rectangulaires provenant du hacheur aux 4 tensions de sortie souhaitées tout en assurant une isolation galvanique entre ces sorties ;

— les cellules de redressement D et de filtrage L alimentant ces différentes sorties.

Tous les composants du convertisseur, y compris son électronique de commande, sont assemblés dans un coffre installé sous caisse et placé dans le même circuit de ventilation que la self d'entrée.

CONCLUSION

Un maximum d'effort a été fait pour réaliser des voitures confortables et très économiques à l'utilisation et à l'entretien. Ces résultats ont été obtenus par l'utilisation du hacheur de puissance pour l'alimentation des moteurs de traction, par l'utilisation du convertisseur statique pour l'alimentation des auxiliaires BT, et, enfin, par le choix d'une vitesse de définition élevée pour les moteurs de traction. Ce choix a en effet permis d'obtenir une récupération maximale d'énergie en freinage tout en utilisant un minimum d'appareillage de puissance.

Bibliographie

- (1) J. GOUTHIÈRE - H. HOLOGNE. Les hacheurs à thyristors en traction électrique. Revue ACEC 1976/1-2.
- (2) BAWIN : NOMICACEC, une isolation classe F pour moteurs à courant continu. Revue ACEC 1972/2.
- (3) J. GALLOY : Les équipements à hacheurs des voitures du métro de Bruxelles. Revue ACEC 1976/3-4.

ELECTRONIQUE EMBARQUEE SUR LES NOUVELLES VOITURES SNCV

INTRODUCTION

Nous décrivons les équipements électroniques embarqués sur les véhicules du réseau de Charleroi, voitures articulées comportant deux postes de conduite et huit portes.

Les fonctions assumées, exploitant largement la souplesse offerte par la technique «programmée», sont les suivantes :

- pilotage de la partie puissance des hacheurs;
- commande statique des portes;
- génération en sécurité de signaux liés à la configuration des quais;
- annonce du nom des stations;
- comptage des voyageurs et enregistrement de données diverses;
- arrêt automatique en sécurité.

TECHNIQUE MISE EN OEUVRE.

Les fonctions énumérées peuvent en principe être exécutées en mode «câblé» ou «programmé».

En technique «câblée», une fonction est décomposée en tâches élémentaires réalisées par assemblage de composants (diodes, circuits intégrés logiques ou analogiques,...).

La fonction complète est générée par un raccordement spécifique entre ces cellules de base implantées sur diverses cartes en fichées dans des paniers.

En technique «programmée», chaque tâche élémentaire est «matérialisée» sous forme de quelques instructions logées dans une mémoire associée à un processeur.

L'ensemble d'une fonction est généré par exécution séquentielle de toutes ces instructions constituant un programme spécifique répété de manière cyclique.

Le concept «programmé» s'adapte plus souplement aux modifications introduites en cours d'étude et sera en conséquence, utilisé de préférence au «câblé».

Toutefois, si le temps d'exécution d'une instruction du répertoire d'un microprocesseur n'excède pas quelques microsecondes, il n'en demeure pas moins qu'un programme comportant plusieurs milliers d'instructions exigera un temps de cycle de quelques dizaines de millisecondes.

Les opérations gravitant autour de la génération des impulsions de commande des thyristors des hacheurs - que nous

désignerons dorénavant par l'expression : fonctions électroniques primaires de commande hacheur - ne peuvent s'accorder de tels délais de traitement. En conclusion, nous sommes conduits à adopter, pour l'exécution de l'ensemble de l'électronique embarquée, une solution hybride :

- la technique «câblée» est mise en œuvre pour réaliser les fonctions primaires de commande hacheur;
- le concept «programmé» est retenu pour traiter les fonctions secondaires de commande hacheur, la commande statique des portes, l'annonce du nom des stations, le comptage des voyageurs et l'enregistrement de données diverses.

N.B. : les opérations exécutées en sécurité font l'objet d'une réalisation spécifique alliant des relais électromagnétiques, des éléments magnétostatiques et de l'électronique «câblée».

DESCRIPTION FONCTIONNELLE DES DIVERS SOUS-SYSTEMES.

Pilotage de la partie puissance des hacheurs.

Les fonctions électroniques primaires qui concernent essentiellement la génération des impulsions de commande et la protection des thyristors du hacheur ont fait l'objet d'une description générale dans un article précédent auquel nous renvoyons le lecteur (1).

Les fonctions résiduelles, dites secondaires, sont reprises sur la Fig. 1.

— Emission et réception des niveaux de consigne de courant : à chaque pédale (traction ou freinage) d'un poste de conduite est associé un codeur permettant de générer une référence de courant sous forme digitale. Seuls les codeurs du poste occupé sont effectivement alimentés. Les signaux de sortie sont amplifiés et transmis par quatre fils de train vers l'ensemble des voitures accouplées.

Cette consigne est ensuite appréhendée et décodée au sein de chaque véhicule.

N.B. : Parallèlement à ce traitement des niveaux de référence à respecter, des ordres purement logiques traduisent l'exigence d'une configuration du type traction ou freinage.

— Limitation de jerk (limitation de la dérivée de l'accélération), la consigne de courant

traverse un générateur de rampe transformant le signal d'entrée du type échelon en un signal de sortie variant linéairement dans le temps.

— Réglage de la référence en fonction de la charge.

— Substitution des freins : le freinage de base est du type électrodynamique mixte (récupération et rhéostatique); lorsque son action devient impossible, dans la zone des basses vitesses, on lui substitue un freinage de nature électropneumatique.

— Manipulation des mesures de vitesse : dans chaque voiture, deux capteurs de vitesse délivrant des signaux du type fréquentiel sont logés au niveau des réducteurs associés aux moteurs. Ces mesures sont manipulées d'une part pour réaliser le déclencheur et enrayage, d'autre part pour générer divers seuils de comparaison.

— Limitation de la consigne maximum de courant en freinage en fonction de la vitesse.

— Déclencheur externes à l'électronique secondaire ou propres à celle-ci.

Les défauts externes sont décelés par l'électronique sur base de critères programmés et mémorisés; les défauts internes sont détectés par un système d'auto-diagnostic de pannes du type watch dog.

La détection de ces diverses défaillances initie des actions spécifiques (signalisation, demande de substitution, freinage d'urgence, marche en secours...).

Commande statique des portes.

Déverrouillage des portes par le conducteur - ouverture par les passagers.

Lorsqu'il prend possession du véhicule, le conducteur sélectionne, par des interrupteurs, un canevas représentatif de la mission confiée à chaque porte : porte autorisant simultanément la montée et la descente, réservée uniquement à la montée, permettant seulement la descente. En cours d'exploitation, il demande un déverrouillage des portes situées à sa droite ou sa gauche suivant les quais rencontrés. La requête est effectivement transmise si la vitesse est nulle et le frein d'arrêt appliquée. En fonction du canevas choisi, correspondant à un programme mémorisé dans l'électronique, celle-ci provoque l'excitation de voyants sur les portes adéquates. L'ouverture proprement dite, par

l'entremise d'électrovannes, est initiée par les voyageurs actionnant les boutons-poussoirs situés sur les portes concernées. Si le quai rencontré est à bas niveau, une action parallèle opère le déploiement des marches mobiles.

Fermeture.

Des bords sensibles sur les vantaux et des détecteurs sensibles couplés aux marches permettent de déceler la présence d'un voyageur au niveau d'une porte. Si depuis quelques secondes aucun passager n'est signalé, l'électronique commande un buzzer annonçant l'imminence de la fermeture de la porte et, le cas échéant, de la rentrée de la marche mobile.

Ces mouvements sont ensuite amorcés. Si une personne se présente à ce moment, une réouverture est provoquée tandis que le buzzer avertit les voyageurs qu'une nouvelle opération de fermeture va débuter. Une fois la porte close le conducteur supprime sa demande de déverrouillage.

N.B. : Dans certaines circonstances, le conducteur peut provoquer l'ouverture d'une ou plusieurs portes sans intervention des voyageurs.

Génération en sécurité de signaux liés à la configuration des quais.

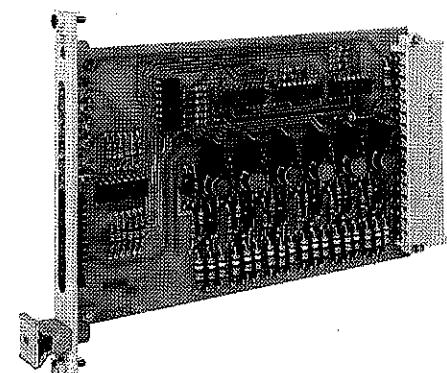
Des balises implantées dans la voie indiquent au véhicule les caractéristiques de la prochaine station. Leurs signaux sont interprétés à bord au sein d'un dispositif de traitement d'informations en sécurité. Celui-ci envoie, vers le système de commande des portes, des grandeurs logiques représentatives de la configuration du quai (haut ou bas, situé à droite ou à gauche). S'il existe une discordance entre les portes que le conducteur désire déverrouiller et la position du quai, la demande avorte et une signalisation apparaît au poste de conduite. De même, le déploiement des marches mobiles est subordonné à l'annonce d'un quai bas par le dispositif de sécurité.

Annonce du nom des stations.

Sur des poteaux disposés le long des voies, sont installés des réflecteurs de marque ALMEX. Chaque véhicule est doté d'un émetteur/récepteur de micro-ondes livré par la même firme. L'onde émise est réfléchie et modulée de manière spécifique lorsqu'elle frappe un des réflecteurs. Le signal ainsi renvoyé est capté par le récepteur qui le transmet à l'équipement électronique.

Ce message est validé, interprété comme représentant le nom de la prochaine station et transcodé afin de délivrer un signal adéquat vers deux panneaux d'affichage. Ceux-ci permettent la visualisation de messages de 15 caractères dont le contenu est fonction du code reçu.

Chaque caractère, de 70 mm de haut, est bâti sur une matrice de 5 × 7 diodes électroluminescentes (L.E.D.). Les panneaux d'affichage, dotés également d'une horloge digitale, sont fournis par la société BETEA AUTOMATION.



2. Carte d'interface pilotant 6 sorties logiques statiques.

1. Fonctions électroniques secondaires de pilotage hacheur.

C_T codeur couplé à la pédale de traction

C_F codeur couplé à la pédale de frein

I_M mesure de courant moteur

$I_{M\ min}$ valeur min. du courant moteur

N mesure de vitesse

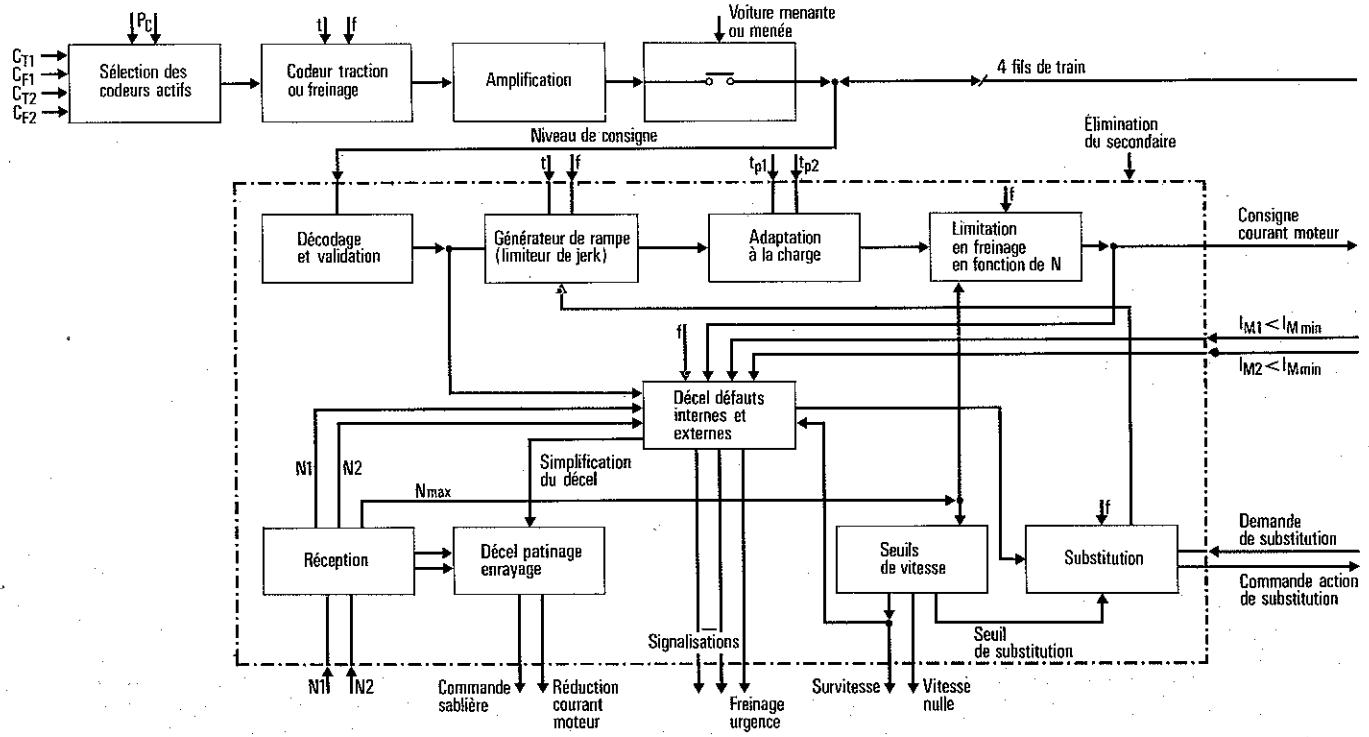
N_{max} plus grande des 2 valeurs N_1 et N_2

P_c poste de conduite occupé

t demande de traction

f demande de freinage

t_p transducteur de mesure de pression



Comptage des voyageurs et enregistrement de données diverses.

Ces fonctions additionnelles sont destinées à recueillir des données statistiques sur les taux d'occupation des véhicules, les mouvements de passagers, le respect des horaires...

Dans cet esprit, elles ne seront implantées qu'après une première période d'exploitation des voitures et seulement sur 10% d'entre elles.

Arrêt automatique en sécurité.

En certaines zones (courbes, descentes...) la vitesse du véhicule est limitée à un niveau prescrit. Si cette vitesse maximum autorisée est dépassée, un arrêt automatique est provoqué en sécurité. Si elle est approchée, sans néanmoins être atteinte, un avertissement lumineux et sonore est adressé au conducteur. Ces fonctions sont réalisées par conjonction d'équipements embarqués et d'appareils installés au sol suivant des modalités qui seront détaillées dans un prochain article faisant le point de la philosophie ACEC sur les traitements en sécurité.

CARACTERISTIQUES TECHNOLOGIQUES GENERALES.

Remarque préliminaire.

Des traitements électroniques opérés par voie «câblée» ou «programmée» présentent leurs caractéristiques propres. Toutefois, dans la présente application, les deux techniques s'inscrivent dans une enveloppe technologique commune (présentation du matériel, choix et mise en œuvre des composants...) conditionnée par deux concepts de base :

- le respect de règles CEI relatives à l'électronique embarquée (voir publication CEI 571 «Règles pour les équipements électroniques utilisés sur des véhicules ferroviaires»);
- la conformité à une normalisation internationale (packaging Europa).

Présentation..

Les divers composants sont implantés sur des cartes à circuit imprimé dont les dimensions (100 mm × 160 mm) répondent au format Europa (Fig. 2). Un choix minutieux et une mise en œuvre correcte des composants sont des éléments primordiaux pour la réalisation d'équipements électroniques embarqués fiables. Les cartes, dotées de connecteurs males normalisés, sont enfichées dans des paniers standardisés dont la largeur est de 19" (soit 483 mm) et la hauteur de 3 U (soit 3 × 44,45 mm ≈ 133 mm). Divers paniers peuvent être superposés pour obtenir un ensemble de 6-9 ou 12 U de hauteur (Fig.3).

Les cartes sont équipées de plaquettes frontales portant un numéro repère permettant l'identification du circuit et divers éléments (interrupteurs, L.E.D., douilles de test...) facilitant la surveillance et le dépannage.

Le câblages au sein d'un panier s'opère soit en technologie Wire-Wrap, soit par l'entremise de circuits imprimés.

Les liaisons avec l'environnement extérieur s'effectuent par l'intermédiaire de connecteurs du type pavé rassemblés sur un fronton surmontant un groupe de paniers.

Spécification ACEC.

Afin de sensibiliser le personnel travaillant sur un équipement destiné à être embarqué, nous avons rédigé une spécification interne codifiant un certain nombre de règles (composants autorisés, facteurs de derating à appliquer, impositions technologiques, essais à exécuter...).

Celles-ci doivent être scrupuleusement respectées par toutes les cellules concernées, depuis le stade de la conception et du développement, jusqu'à l'étape des essais finaux, en passant par l'atelier de fabrication.

Cette spécification interne, qui fait l'objet de révisions périodiques, synthétise à tout moment l'expérience acquise par notre société dans le domaine très particulier de l'électronique embarquée.

ARCHITECTURE MISE EN PLACE POUR ASSUMER LES TRAITEMENTS DU TYPE «CABLE»

Dans cette technique, la spécificité d'une fonction est assumée par le matériel mis en œuvre (groupements de composants, câblage).

Dans une telle optique, il apparaît que les circuits enfichables développés sont très diversifiés. Ainsi, dans le panier rassemblant l'électronique primaire, on constate que la plupart des plaques mises en œuvre sont différentes.

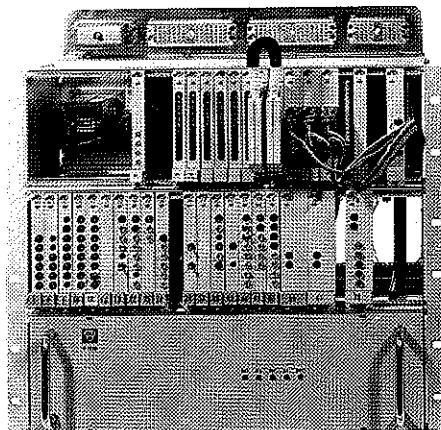
Les tâches exécutées (distributeur séquentiel, horloge à 200 Hertz (Fig. 4), mesure et régulation du courant moteur...) conjuguent les traitements analogiques et numériques.

ARCHITECTURE MISE EN PLACE POUR ASSUMER LES TRAITEMENTS DU TYPE «PROGRAMME»

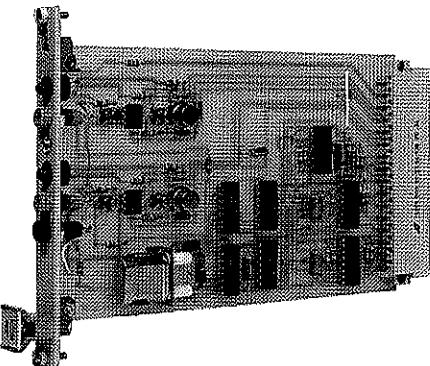
Dans cette technique, il est possible de concevoir un matériel hautement répétitif, la spécificité d'une fonction étant assurée par le volet logiciel.

Architecture matérielle.

La figure 5 schématisé la structure mise en œuvre pour traiter la commande statique ..



3. Ensemble électronique de pilotage hacheur comprenant :
 — le boîtier enfilable d'alimentation
 — les cartes assurant les fonctions primaires en technique «câblée»
 — les cartes de fonctions secondaires en technique «programmée»
 — le fronton doté de connecteurs pavés destinés aux liaisons avec l'environnement extérieur.

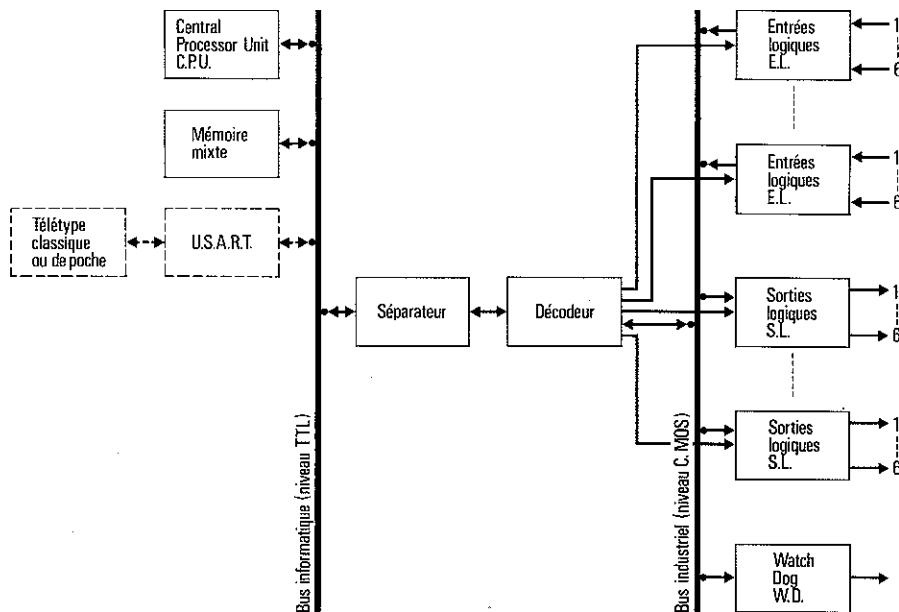


4. Carte horloge à 200 Hz.

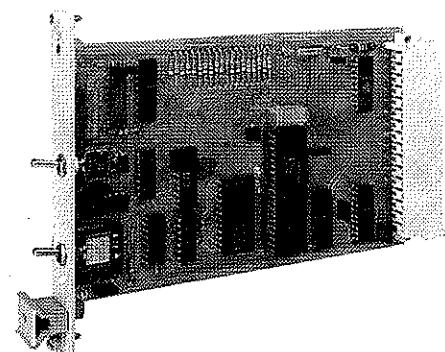
des portes et l'annonce du nom des stations. Le cerveau du système est constitué par la carte C.P.U. (Central Processor Unit) articulée sur le microprocesseur INTEL 8085 (fig. 6). Le programme à exécuter est logé en mémoire morte (EPROM), tandis que les variables manipulées sont placées en mémoire vive (RAM). Les mémoires des 2 types cohabitent sur le circuit Mémoire Mixte à raison de 2 K bytes de RAM et 6 K bytes de EPROM.

Les 2 cartes constituant l'unité centrale sont reliées par un bus informatique qui peut également accueillir une carte dotée d'un USART (Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter). Ce circuit permet un dialogue avec un périphérique d'exploitation (T.T.Y. de poche par exemple).

Les informations logiques échangées avec le véhicule transitent par des cartes d'interface à isolation galvanique (EL



5. Architecture matérielle de l'électronique «programmée».



6. Carte CPU. (Central Processor Unit) portant le microprocesseur INTEL 8085.

manipulant 6 Entrées Logiques ; SL traitant 6 Sorties Logiques). Ces circuits sont reliés par un bus industriel.

Le passage du bus industriel (niveau C.MOS-15 Volts) au bus informatique (niveau TTL-5 Volts) s'opère au travers d'un séparateur. L'appel par le C.P.U. d'une carte E.L. ou S.L. déterminée s'exécute par l'entremise d'un décodeur. Pour faciliter les tests, les états des signaux des circuits E.L. et S.L. sont visualisés par L.E.D.

De plus, ces cartes peuvent accueillir des petites plaquettes enfichables dotées d'interrupteurs permettant d'imposer à n'importe quelle variable un état logique déterminé.

N.B. : Dans le traitement du secondaire hacheur, certaines informations échangées avec le véhicule se présentent sous forme analogique ou fréquentielle. Elles sont prises en charge par des circuits d'interface adéquats (carte à 8 Entrées Analogiques ; carte à 2 Sorties Analogiques ; carte à 2 Entrées Fréquentielles).

Auto-diagnostic de panne.

Il s'accompagne par conjonction d'une vérification de la parité des EPROM et d'un contrôle du déroulement correct du programme (décelé par le fait qu'une instruction déterminée est exécutée régulièrement dans le temps de cycle impair).

Dans l'hypothèse où ces analyses ne révèlent aucun défaut, on relance périodiquement un mono-stable de watch dog raccordé au bus industriel. Dans le cas contraire, ce mono-stable n'est pas relancé dans l'intervalle de temps prévu ce qui provoque l'émission d'un signal logique dénonçant un défaut interne.

Architecture logicielle.

Les divers programmes sont rédigés en langage symbolique (assembleur 8085). Ces programmes «source» sont édités en centre de calcul. Celui-ci permet également la génération des programmes «objet» (en langage machine) et leur insertion en mémoire morte par l'entremise d'un programmeur de EPROM.

Nous avons adopté une structure logicielle modulaire. Cela signifie qu'un même groupe d'instructions (appelé macro-instruction ou module logiciel) peut être utilisé en diverses zones d'un programme principal.

DEPANNAGE.

L'agent chargé du dépannage fait appel à un équipement de test comportant des volets matériel et logiciel. Il analyse les fonctions assumées par voie «câblée» en substituant à la liaison entre le véhicule et les paniers électroniques un raccordement entre ces derniers et un banc de test. Celui-ci est doté des éléments nécessaires (interrupteurs, charges équivalentes) pour remplacer les signaux normalement échangés entre l'électronique et l'environnement extérieur.

Par exécution d'une simulation, le dépanneur peut dès lors localiser les cartes en défaut.

Pour les fonctions «programmée», il utilise une carte USART et un périphérique d'exploitation du type T.T.Y. de poche ainsi que des plaquettes à interrupteurs enfichables sur les circuits E.L. et S.L. Un logiciel de dépannage du type conversationnel lui indique par des manipulations simples (n'exigeant aucune formation informatique) quelles sont les cartes défectueuses.

Le diagnostic étant posé, une procédure de remplacement des circuits enfichables en défaut par des sous-ensembles de réserve permet de remettre le véhicule à la disposition de la cellule d'exploitation.

CONCLUSION.

L'électronique embarquée du type «câblé» contrôlant les équipements de puissance s'est imposée au cours de la décennie 70. L'apparition du processeur miniaturisé (microprocesseur) et son adaptation aux conditions d'environnement les plus sévères, entraîne aujourd'hui l'avènement de l'électronique embarquée par voie «programmée». Cette technique, d'une très grande souplesse, exécute des tâches confiées antérieurement à l'électronique «câblée» (secondaire de pilotage hacheur) ou à l'appareillage conventionnel (commande des portes). Elles facilitent l'introduction de fonctions nouvelles (annonce du nom des stations, comptage des voyageurs, enregistrement de données diverses). Elle autorise un diagnostic des cartes défectueuses par appel à un logiciel de dépannage du type conversationnel d'une puissance remarquable.

Les équipements «programmés» installés sur les nouvelles voitures de la S.N.C.V. permettent ainsi de franchir une nouvelle étape dans l'accroissement des performances, du confort, de la disponibilité, des facilités de conduite et de test.

Systèmes de transport

ACEC TRANSPORT

GEC ALSTHOM

L'équipement électrique des voitures du métro léger de Manille

TPF 935-83.21

Tiré à part de la
Revue ACEC

Dans le cadre de sa participation à la réalisation du métro léger de Manille par un consortium belge associé à l'entrepreneur philippin PNCC, ACEC a pris en charge l'équipement électrique des voitures. ACEC a ainsi fourni les moteurs de traction, les hacheurs qui les alimentent, l'électronique de commande de ces hacheurs, l'appareillage HT, les résistances de freinage et les auxiliaires BT.



1. Voiture du métro léger de Manille.

INTRODUCTION

L'accroissement de la densité du trafic dans la ville de Manille a amené le gouvernement philippin, après une étude de plusieurs années, à doter cette ville d'un réseau complet de métro léger. En juillet 1980, la commande d'une première ligne a été passée à un consortium belge constitué d'ACEC (Ateliers de Constructions Électriques de Charleroi), de BN (Constructions Ferroviaires et Métalliques — anciennement La Brugeoise et Nivelles), de TEI (Tractionel Engineering International) et de TC (Transurb Consult), ce consortium étant associé à un entrepreneur national PNCC (Philippine National Construction Corp.). Cette ligne d'une longueur de 14,5 km comporte 18 stations et est réalisée intégralement en viaduc, c.à.d. en site surélévé. La mise en exploitation d'un premier tronçon de 6,5 km a débuté en décembre 1984 et celle du second tronçon est prévue pour juin 1985.

Le trafic prévu initialement était de 18 000 passagers par heure et par sens de marche. Il augmentera pour atteindre 40 000 passagers par heure et par sens de marche.

Pour assurer ce service dans sa première phase, 64 voitures ont été fournies : le présent article en décrit l'équipement électrique.

On notera qu'outre l'équipement électrique des voitures, ACEC a également livré le matériel de puissance de neuf sous-stations d'alimentation : les transformateurs, les redresseurs et les disjoncteurs ultrarapides, ainsi que tous les équipements de signalisation et d'arrêt automatique.

CONCEPTION DES VOITURES

Les nouvelles voitures de métro léger sont des voitures articulées à quatre bogies dont les deux extrêmes sont motorisés. Les voitures comportent un poste de conduite et cinq portes de chaque côté.

Les trains seront constitués, dans la première phase, de deux voitures accouplées en permanence. Une troisième voiture, identique aux deux premières pour des raisons d'unification du matériel, sera ajoutée dans une phase ultérieure.

Le tableau 1 résume les caractéristiques essentielles des voitures.

LA PARTIE MÉCANIQUE

Du point de vue mécanique, les voitures sont caractérisées par les particularités suivantes :

- la caisse est construite en acier soudé avec ossature autoportante et tôles extérieures participant à la résistance de l'ensemble ;
- les portes sont doublez, avec deux vantaux à mouvement louvoyant-tournant vers l'extérieur et à commande électropneumatique ;
- la ventilation de la voiture est assurée par des groupes de ventilation situés dans la toiture ;
- la conduite de la voiture s'effectue par pédales ; le pédalier, de fabrication ACEC, en comporte trois :
 - la pédale de traction
 - la pédale de freinage
 - la pédale d'homme-mort.

— Réseau d'alimentation en courant continu :	
• Tension nominale	: 750 V.
— Dimensions des voitures	
• longueur hors tout	: 29,740 m
• largeur hors tout	: 2,500 m
• hauteur extérieure	: 3,272 m
• hauteur du plancher au-dessus du rail (roues neuves)	: 0,900 m
— Ecartement de la voie	: 1,435 m
— Diamètre des roues (neuves/usées)	: 660/600 mm
— Rapport de réduction des ponts de bogie	: 1/6,125
— Tare	: 41 t
— Charge maximale	: 24 t (374 pers.)
— Vitesse maximale de service	: 60 km/h
— Nombre de moteurs par véhicule	: 2
— Puissance en régime continu de chaque moteur	: 217,7 kW
— Accélération au démarrage, en palier et sous charge maximale	: 1 m/s ²
— Décélération en freinage de service, en palier, à pleine charge	: 1,35 m/s ²
— Vitesse de variation de l'accélération et de la décélération	: 1 m/s ³

Tableau 1. Fiche technique des voitures.

- de conception entièrement nouvelle, les bogies du type monomoteur comportent
 - des roues élastiques ;
 - deux étages de suspension : primaire par éléments en caoutchouc et secondaire par ressorts ;
 - deux réducteurs à simple étage et à arbre creux (sur bogies moteurs) ;
 - le moteur de traction disposé longitudinalement, entièrement suspendu et autoventilé (sur bogies moteurs) ;
 - deux freins à disques sur essieu et à commande électropneumatique ;
 - deux freins électromagnétiques à patins sur rails.

Les freins

Les voitures sont équipées de trois types de frein : le frein électrodynamique (réostatique et à récupération) sur les bogies moteurs, le frein électropneumatique sur les quatre bogies et le frein à patins électromagnétiques sur les quatre bogies. Le tableau 2 reprend tous les modes de freinage.

Commandes des freins	Electro-dynamique	Electro pneumatique		Electro magnétique Patins
		bogies moteurs	bogies porteurs	
Frein de service	x V>5 km/h	x V<5 km/h	x	
Frein d'urgence par :				
— homme-mort	x V>5 km/h	x V<5 km/h	x	
— survitesse				
Frein de sécurité par :				
— arrêt automatique				
— coup de poing		x	x	x
— pédale de frein				
— poignée voyageurs				
Frein de stationnement		x		

Tableau 2 - Modes de freinage.

LA PARTIE ELECTRIQUE

Les circuits de puissance

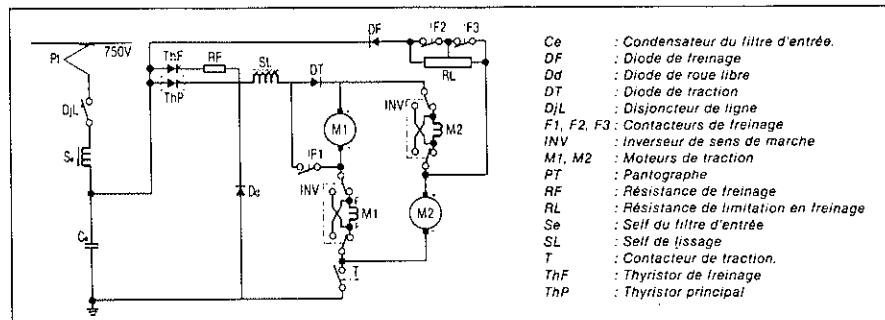
Le schéma des circuits de puissance présente les particularités suivantes :

- la voiture est alimentée par un seul pantographe à commande par servomoteur électrique et sa protection est assurée par un disjoncteur de ligne ;
- les deux moteurs sont alimentés par un seul hacheur à travers un filtre d'entrée unique ;
- la commutation traction-freinage est réalisée par deux contacteurs de puissance ; ceux-ci fonctionnent toujours à courant nul, ce qui assure une usure minimale des contacts ;
- l'inversion du sens de marche s'opère au moyen d'un inverseur agissant sur le courant d'excitation des moteurs.

Le fonctionnement en traction

Le contacteur T est fermé.

Le thyristor principal ThP est allumé à intervalles réguliers, laissant passer le courant du réseau à travers la self de lissage SL, la diode de traction DT, les inducteurs et les induits des moteurs M et



2. Schéma simplifié du circuit de motorisation.

le contacteur de traction T. Lorsque le thyristor ThP est éteint, le courant continue à circuler dans les moteurs via la diode de roue libre Dd.

Le hacheur fonctionne à la fréquence constante de 200 Hz.

Le hachage est autorisé lorsque la tension est comprise entre 500 et 900 V.

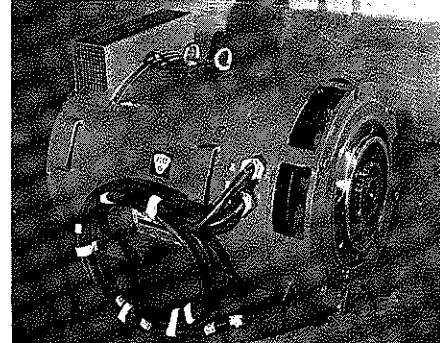
Le courant maximal de démarrage du moteur est de 550 A pour une tension de réseau supérieure ou égale à 750 V. En

les inducteurs et les induits des moteurs. Ce mode de freinage appelé mixte, permet de renvoyer au réseau toute l'énergie qu'il est capable d'absorber. Le courant maximal de freinage est de 490 A par moteur.

Le moteur de traction ME087S

Grâce à l'utilisation du hacheur, les moteurs ont pu être définis à une vitesse plus élevée que pour un équipement conventionnel à contacteurs ; cette particularité présente l'avantage de permettre de toujours travailler à champ constant aussi bien en traction qu'en freinage, ce qui évite l'utilisation de contacteurs et de résistances de shuntage.

3. Le moteur de traction ME087S.



dessous de cette valeur, le courant diminue pour atteindre 380 A à 500 V.

Le fonctionnement en freinage

Le contacteur F1 est fermé. Dans la première phase du cycle de fonctionnement du hacheur, le thyristor principal ThP est allumé, mettant les moteurs M en court-circuit.

Le courant circule par les inducteurs et les induits des moteurs M, la diode DF, le thyristor ThP, la self de lissage SL et le contacteur F1.

Dans la deuxième phase, le thyristor ThP est éteint ; le courant du moteur est renvoyé au réseau via la diode DF, la self Se, le disjoncteur DJL et le pantographe PT, le retour du courant s'effectue ensuite par la masse, la diode de roue libre Dd, la self SL, le contacteur F1 et les inducteurs et les induits des moteurs M. Une résistance RL assure la stabilité du freinage à récupération à grande vitesse.

Si le réseau est incapable d'absorber toute l'énergie renvoyée, sa tension croît. Lorsqu'elle dépasse le seuil de 900 V environ, on allume le thyristor ThF, le courant circule alors par la résistance de freinage RF, la self SL, le contacteur F1 et

les caractéristiques en régime continu du moteur ME087S sont $U_n = 750 \text{ V}$, $I = 310 \text{ A}$, $P = 217,7 \text{ kW}$, $N = 2229 \text{ tr/min}$, $F_d = 17,7 \text{ kN}$. Ce moteur autoventilé est réalisé suivant la technique habituellement utilisée chez ACEC. La carcasse est en construction entièrement soudée et l'isolation de l'induit et de l'inducteur est du type NOMICACEC avec postimprégnation sous vide en résine époxy classe F. Les porte-balais sont montés sur un curseur accessible par une seule trappe située sous le moteur.

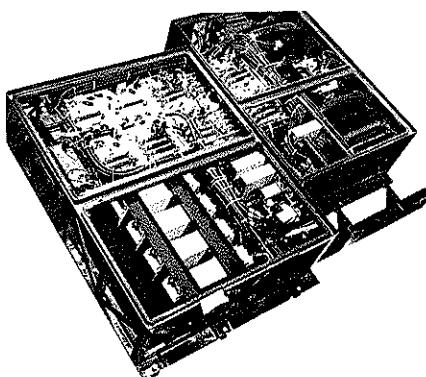
Le hacheur

Les caractéristiques générales du hacheur (fig. 4) sont :

$U_{\text{nominal}} = 750 \text{ V}$; $I_{\text{sortie max.}} = 1180 \text{ A}$; $f = 200 \text{ Hz}$.

Dans un coffre à ventilation forcée sont disposés :

- les condensateurs de filtrage ;
- la self de lissage et d'entrée ;
- le hacheur proprement dit comprenant les semi-conducteurs et le circuit d'extinction.



4. Le hacheur.

La ventilation du hacheur est assurée par un groupe constitué d'un moteur de 2 kW sous 750 V et d'un ventilateur qui aspire l'air sous la voiture et le refoule ensuite dans le hacheur.

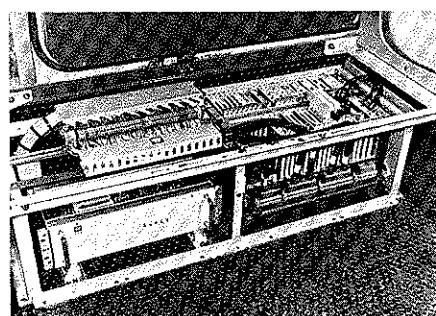
L'électronique de commande

Le hacheur est piloté par une électronique de commande (fig. 5) qui comprend deux parties : l'électronique " primaire " et l'électronique " secondaire ".

L'électronique " primaire " assure les fonctions concernant le hacheur seul, c'est-à-dire :

- la mesure des courants dans les moteurs de traction et de la tension à l'entrée du hacheur;
- la régulation du courant de sortie du hacheur;
- la protection du hacheur;
- la génération des impulsions sur le thyristor principal et sur le thyristor de freinage rhéostatique.

Elle reçoit sa consigne de l'électronique " secondaire " qui réalise les fonctions propres à la voiture et en particulier : — la réception et le traitement des ordres et des consignes en traction et en freinage ; ces consignes sont générées dans le poste de conduite occupé par des codeurs associés aux pédales de traction et de freinage, puis sont envoyées après amplification sous forme de signaux codés sur quatre fils de train ;



5. L'électronique de commande.

— après réception, les consignes sont décodées puis traitées en fonction de la charge du véhicule de façon à obtenir des accélérations et décélérations indépendantes de la charge ; ensuite elles sont envoyées vers l'électronique primaire de façon progressive pour éviter les démarques et les freinages brutaux ; — la manipulation des mesures de vitesse : la vitesse de chaque moteur est mesurée par un capteur installé dans un réducteur et qui envoie un signal fréquentiel vers l'électronique ; ces mesures de la vitesse des deux moteurs sont comparées et utilisées pour générer différents seuils de vitesse (vitesse "nulle", vitesse de substitution, vitesse de court-circuit des résistances de limitation,...) et pour la détection des patinages et des enrayages.

Au point de vue technologique, l'électronique "secondaire" est exécutée en technique programmée (utilisation d'un microprocesseur), tandis que l'électronique " primaire " est réalisée en technique câblée classique.

Les deux ensembles électroniques sont installés à l'intérieur de la voiture sous un siège.

L'appareillage

L'appareillage électromécanique HT est installé dans deux coffres suspendus sous le châssis de la voiture et accessibles sur le côté.

Les appareils électromécaniques sont à commande électrique ou électropneumatique ; outre les contacteurs du type KM306 pour les circuits auxiliaires, les coffres contiennent au total :

- trois contacteurs électromagnétiques du type DSG 1/40 (fabrication KIEPE) pour l'isolement du hacheur et la mise en court-circuit des résistances RL;
- deux inverseurs à bascule du type IB35 pour l'inversion du sens de marche;
- deux contacteurs à commande électropneumatique du type KP18 pour les commutations traction-freinage;
- quatre contacteurs électromagnétiques du type KM306 pour l'alimentation des auxiliaires HT.

Les résistances de freinage

Les résistances de freinage rhéostatique du type à plis sont installées sous la caisse et ventilées par deux petits groupes de ventilation alimentés en 110 V.

Les auxiliaires BT

• Alimentation

Les auxiliaires BT sont alimentés par un convertisseur statique de 5 kW fournissant les tensions suivantes :

- 110 Vcc pour la charge de la batterie, les asservissements et les régulations, les commandes de frein, les appareils de freinage pneumatique et les freins à patins et l'éclairage intérieur de la voiture ;
- 24 Vcc pour les feux extérieurs, les signalisations, les équipements de radio et d'interphonie ;

— une sortie supplémentaire en 5 Vcc prévue pour l'excitation des moteurs de traction en début de freinage.

• Convertisseur statique

Le convertisseur statique (fig. 6) est de la même famille que ceux construits ou en construction en centaines d'exemplaires pour des voitures de tramways (600 V), de métro (750 V) ou d'automotrices (3000 V). Ils diffèrent les uns des autres par la tension d'alimentation, la puissance et le nombre de sorties mais fonctionnent tous suivant le même principe.

Le convertisseur se décompose fonctionnellement en quatre parties .

— un filtre d'entrée confondu avec celui du hacheur ;

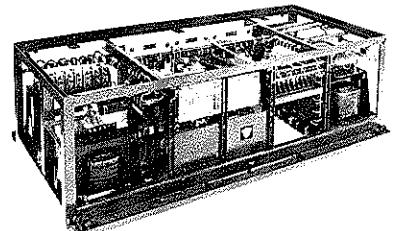
— un hacheur à fréquence variable composé d'une cellule de découpage sans thyristor d'extinction ; la fréquence de hachage est réglée pour maintenir la tension de sortie principale à 110 V ;

— un transformateur à trois secondaires qui adapte les ondes de tension rectangulaires provenant du hacheur aux trois tensions de sortie souhaitées, tout en assurant une isolation galvanique entre ces sorties.

— les cellules de redressement et de filtrage alimentant ces différentes sorties.

Tous les composants du convertisseur, y compris son électronique de commande, sont assemblés dans un coffre installé sous la caisse et ventilé par un petit groupe de ventilation incorporé.

6. Le convertisseur statique.



CONCLUSION

De conception moderne et bénéficiant de l'apport des techniques les plus récentes introduisant notamment l'utilisation des hacheurs, des convertisseurs statiques et des microprocesseurs, les équipements du métro de Manille dérivent directement de ceux fonctionnant sur le réseau belge depuis plusieurs années.

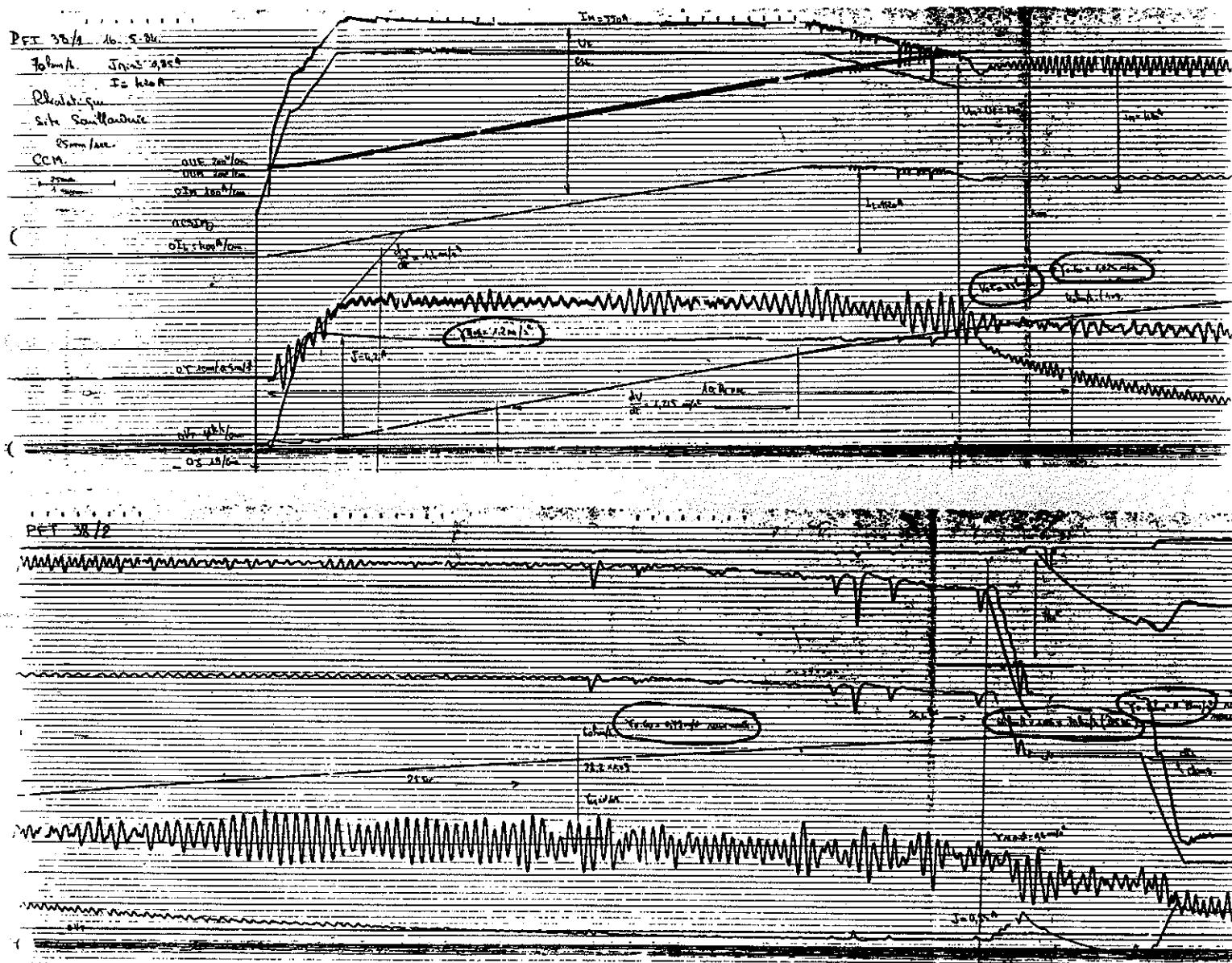
De plus, ils ont subi des essais particulièrement sévères avant leur expédition à Manille. En particulier, chaque voiture a roulé au moins 4.000 km lors des essais d'endurance sur la ligne d'essai de BN.

Le client a ainsi pu constater que son matériel présentait une fiabilité optimale dès la mise en exploitation.

Profil accélération, vitesse, charge max (6,6 p/m²) diagramme

$$V = f(T) \quad \gamma = f(T)$$

Rames neuves, palier, traction max



Tramway de Grenoble

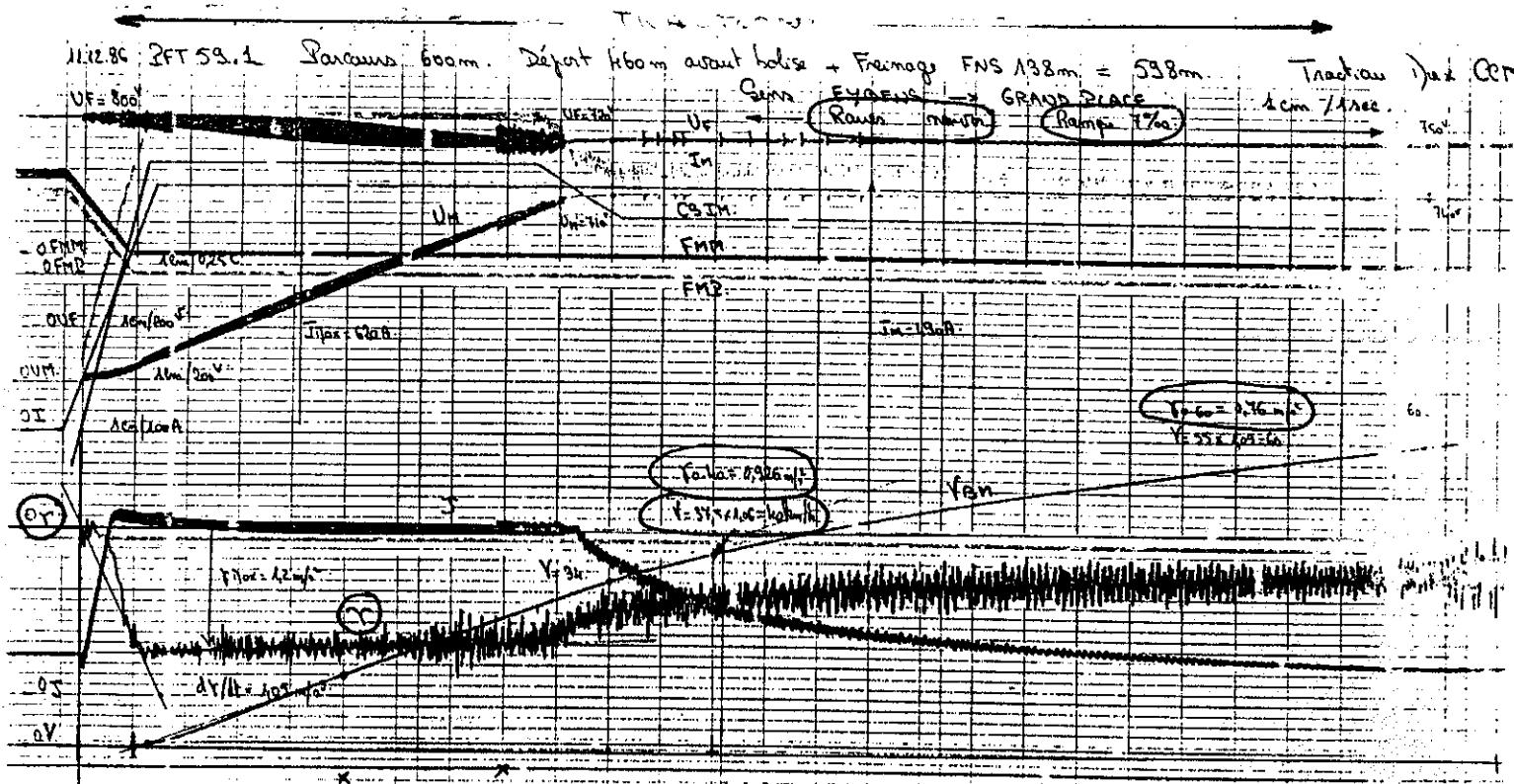
GEC ALSTHOM : PENS

Parcours 600 m. charge max (6,6 p/m²) diagramme V = f(T)

Rames neuves, rampe 7 %.

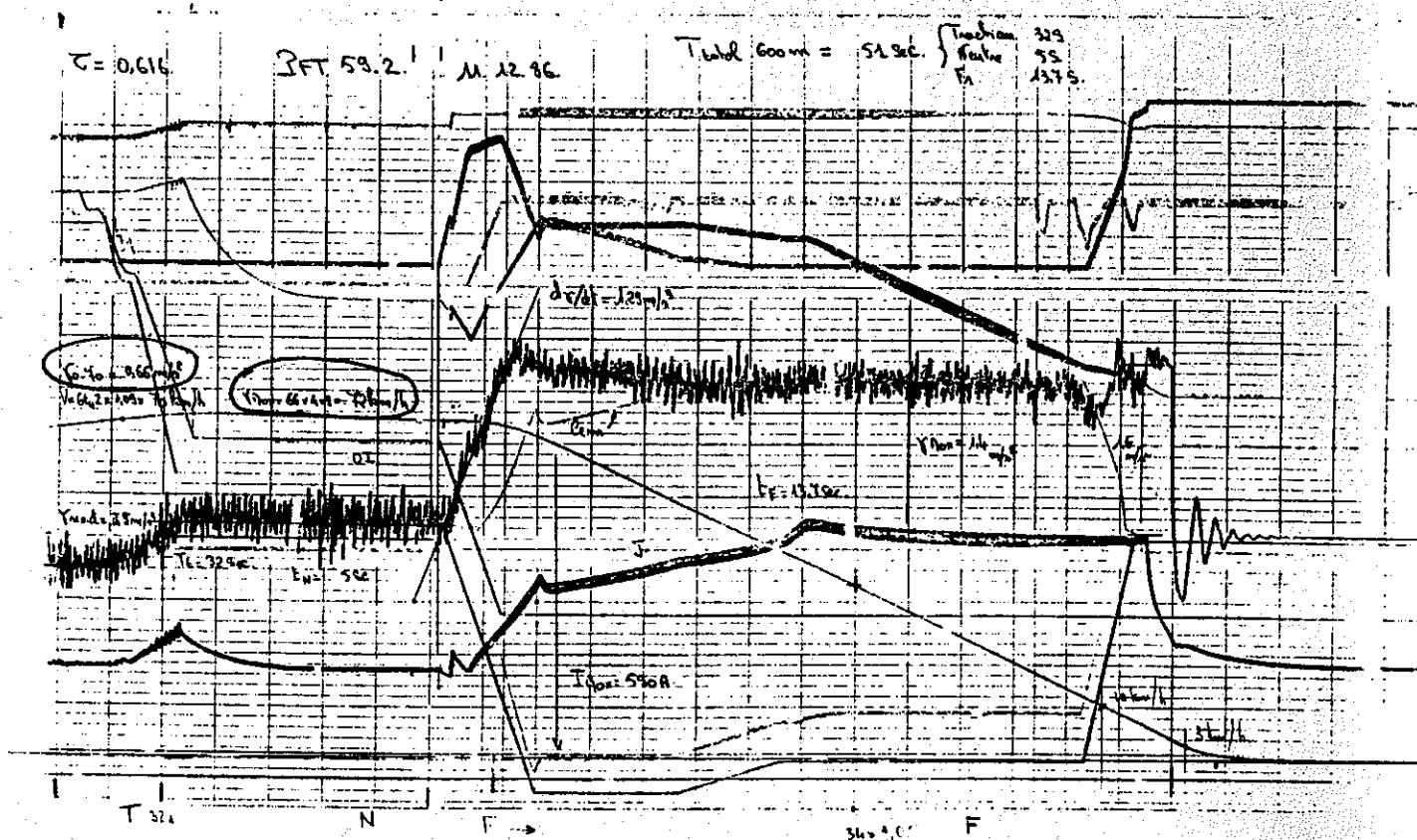
$$Y = f(T)$$

Traction max, marche sur terre, freinage normal de service.



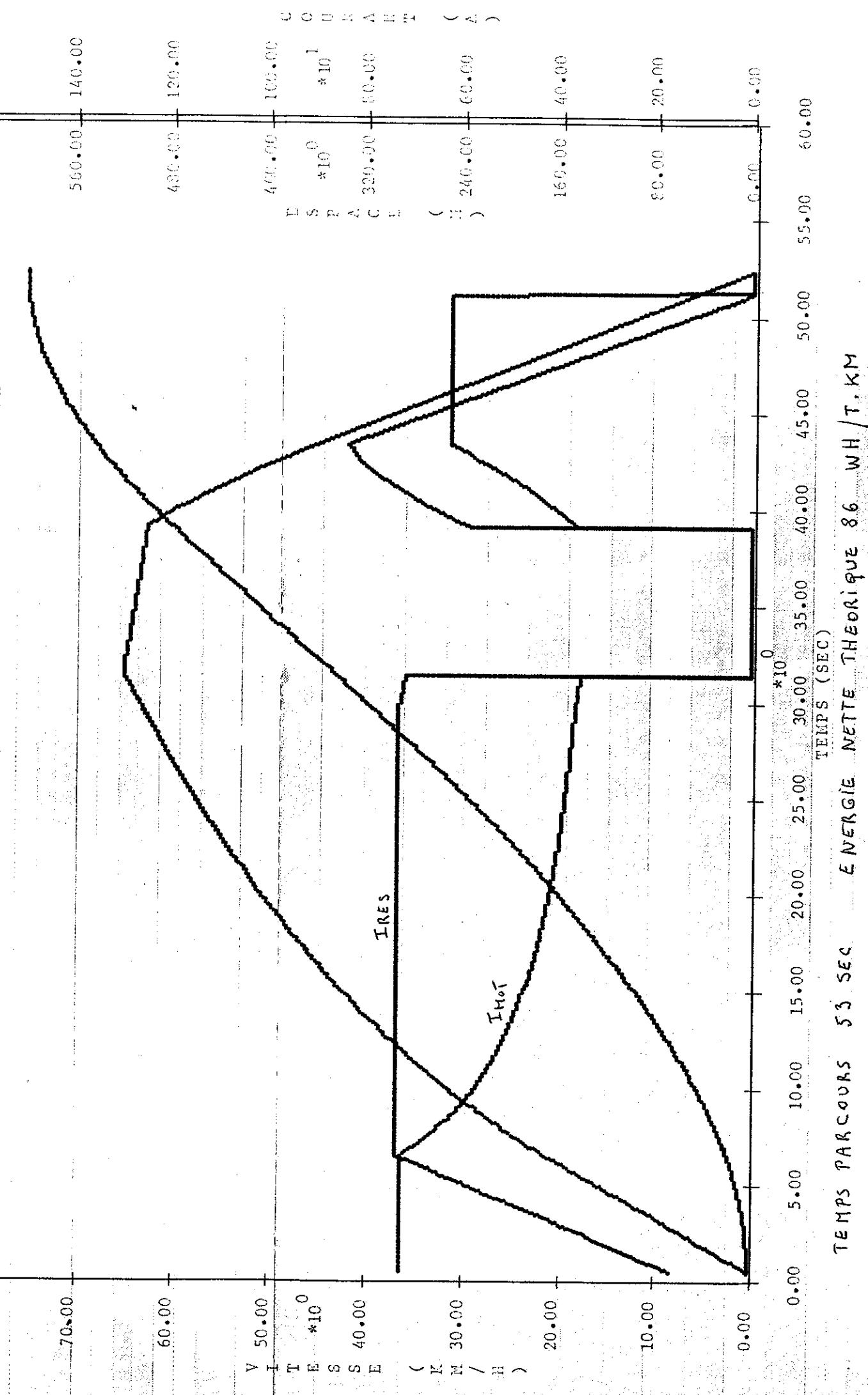
-> → MARCHE SUR → | ←
ERRF

FREINAGE NORMAL DE SERVICE



VOITURE SNCV PLEINE CHARGE TRAJET 600 H - PALIER

URES : 600 V



VEHICULE MANILLE PLEINE CHARGE

TRAJECTOIRE - PAR L'INTER

URES : 750V

80.00 + 160.00

70.00 + 140.00

60.00 + 120.00

50.00 + 100.00

40.00 + 80.00

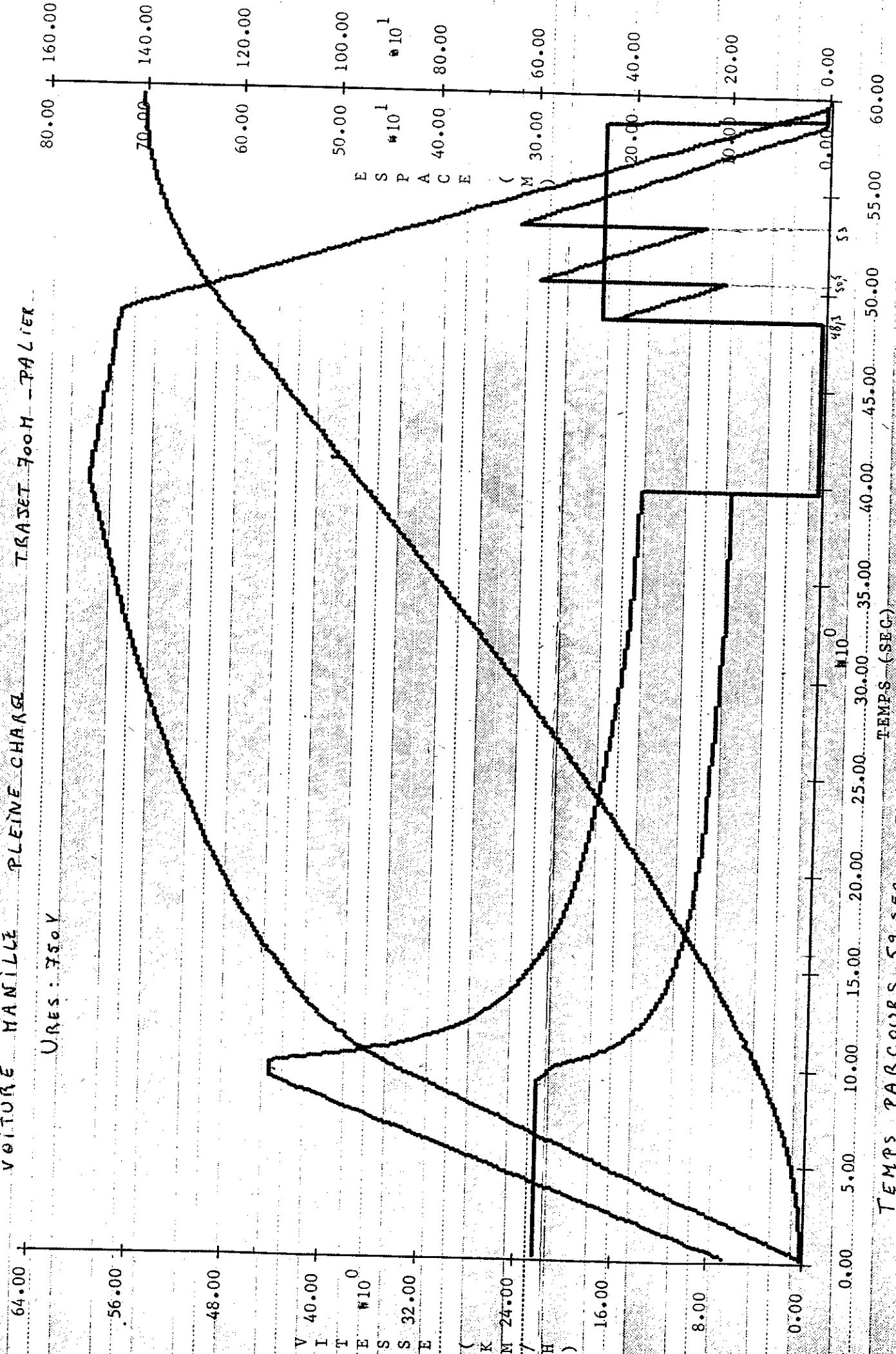
30.00 + 60.00

20.00 + 40.00

10.00 + 20.00

5.00 + 10.00

0.00 + 0.00



TEMPS PAR COURS 59 sec ENERGIE NETTE THEORIQUE : 75 WH/T.KM.

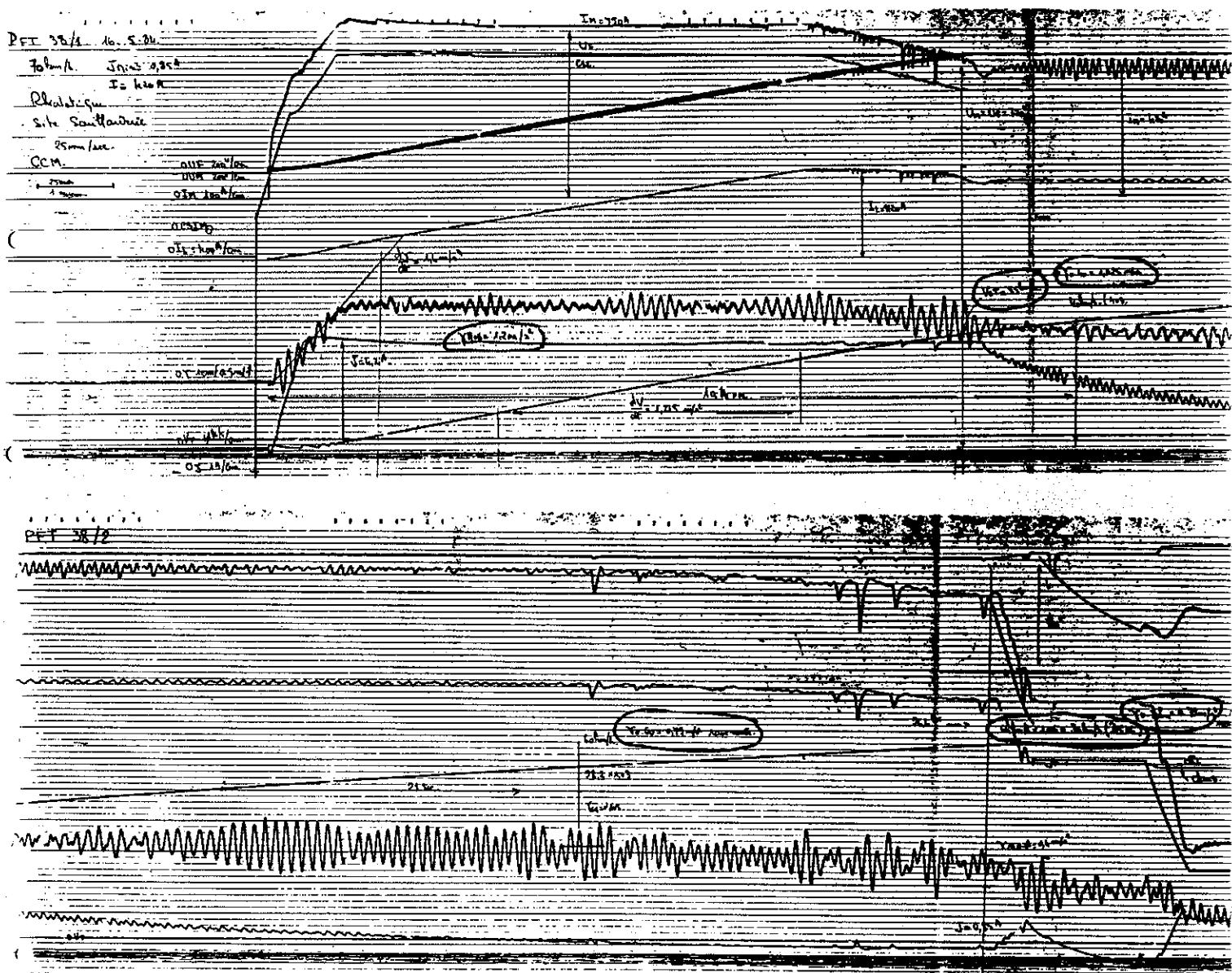
Tramway de Nantes

GEC ALSTHOM : PENS

Profil accélération, vitesse, charge max (6,6 p/m²) diagramme

$$V = f(T) \quad Y = f(T)$$

Rames neuves, palier, traction max



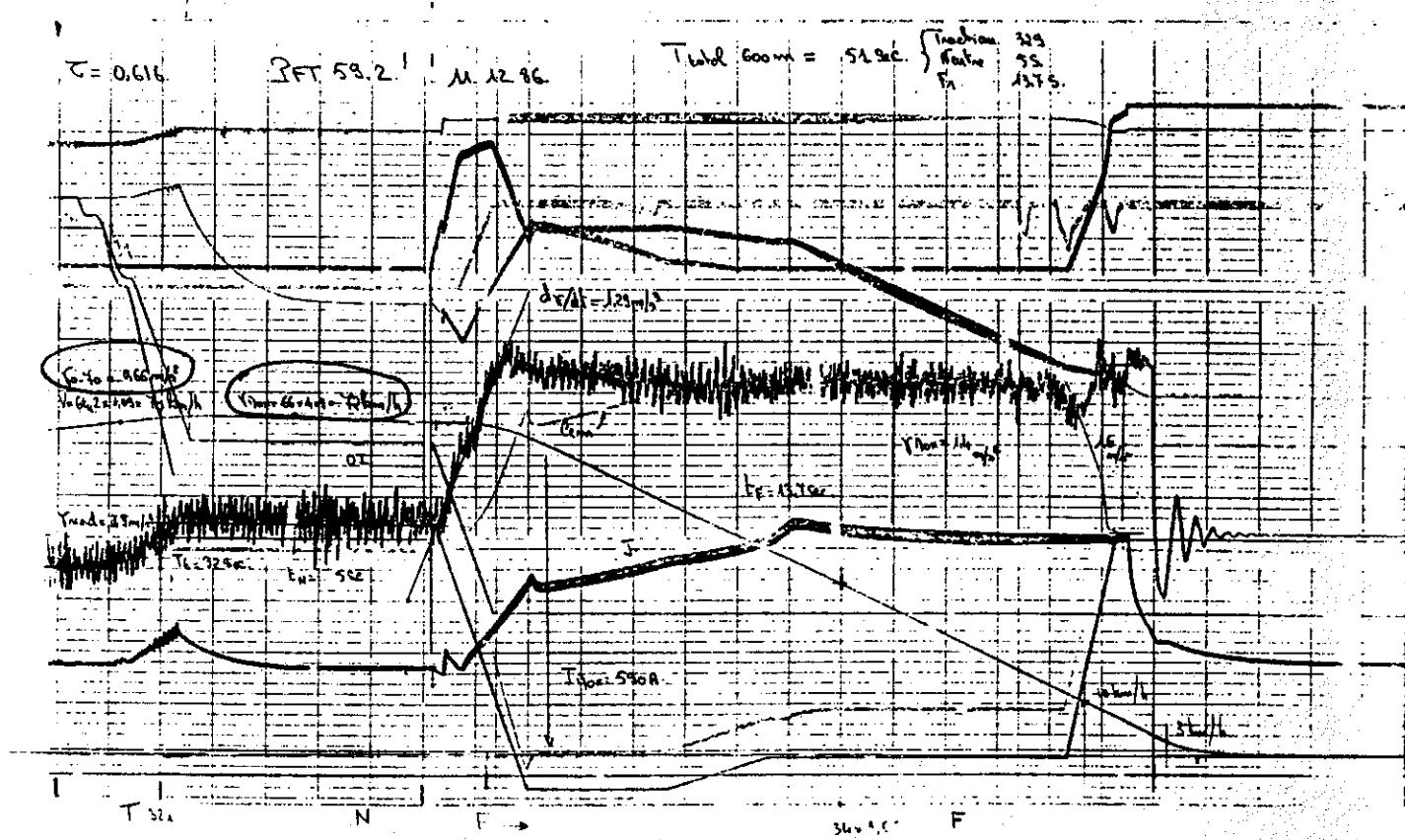
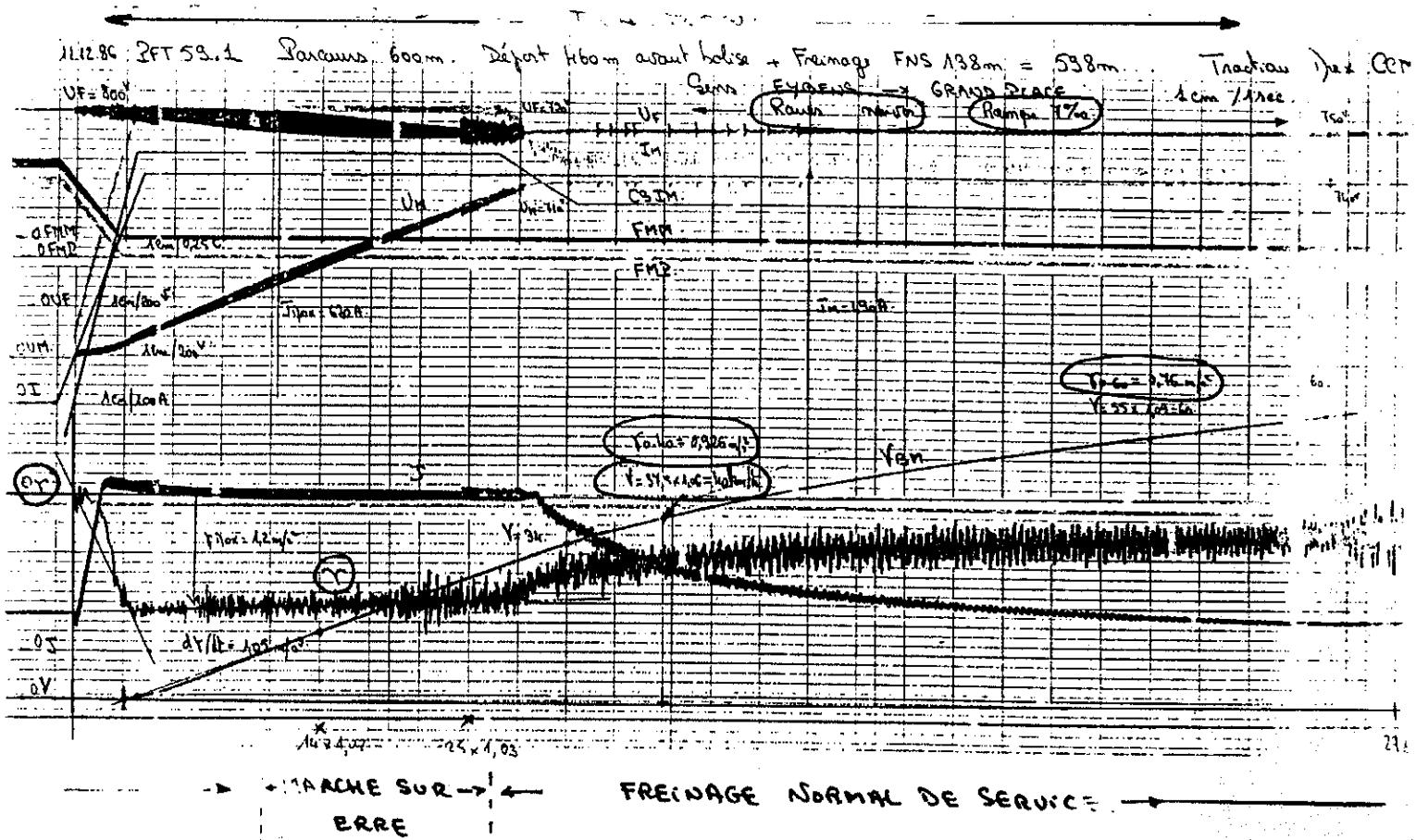
Tramway de Grenoble

GEC ALSTHOM : PENS

Parcours 600 m. charge max (6,6 p/m²) diagramme V = f(T)

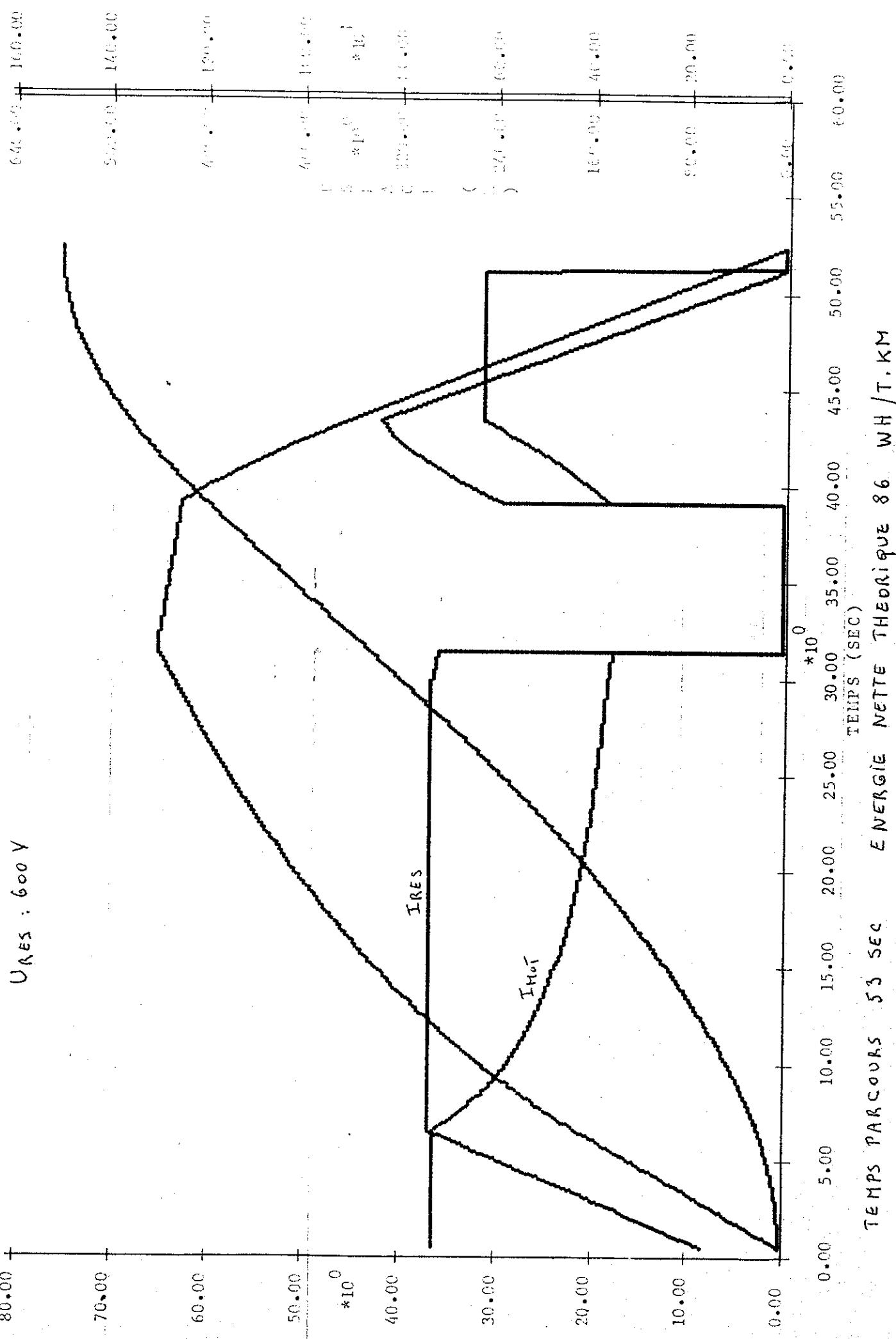
Rames neuves, rampe 7 %. $\gamma = f(T)$

Traction max, marche sur terre, freinage normal de service.



VOITURE SNCV PLEINE CHARGE TRAJET 600 H -PALIER

URES : 600 V



TEMPS PAR COURS 53 SEC ENERGIE NETTE THEORIQUE 86 W.H / T. KM

VOITURE MANILLE PLEINE CHARGE TRAJET 700M - PALETT

URS : 750V

