

recherche - transport

COST 303 ÉVALUATION TECHNIQUE ET ÉCONOMIQUE DES PROGRAMMES NATIONAUX DE TROLLEYBUS BI-MODE

**Rapport final
et
résumé du séminaire de Bruxelles sur
le trolleybus bi-mode**

Observatoire Economique
et Statistique des Transports

DOCUMENTATION

1987, n°

Édité par:
F. Fabre, A. Klose
Commission des Communautés européennes

Direction générale Transports
Direction générale Science, recherche et développement

Publié par:
COMMISSION DES COMMUNAUTÉS EUROPÉENNES

Direction générale
Télécommunications, industries de l'information et innovation

Bâtiment Jean Monnet
LUXEMBOURG

AVERTISSEMENT

Ni la Commission des Communautés européennes, ni aucune autre personne agissant au nom de la Commission n'est responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations ci-après.

Cette publication est aussi éditée dans les langues suivantes:

DE ISBN 92-825-7002-9

EN ISBN 92-825-7003-7

Une fiche bibliographique figure à la fin de l'ouvrage.

Luxembourg: Office des publications officielles des Communautés européennes, 1987

ISBN 92-825-7004-5

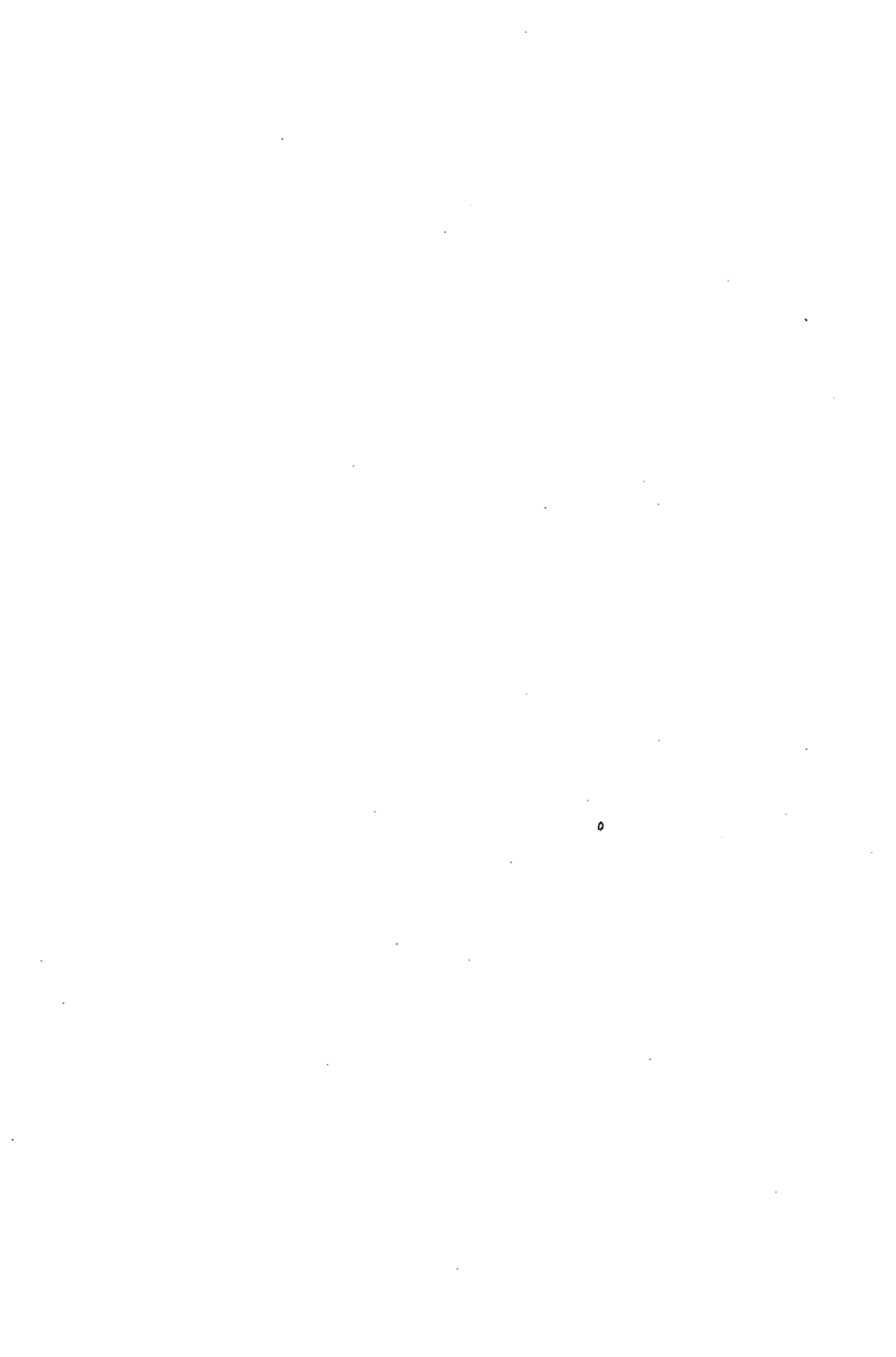
N° de catalogue: CD-NA-10993-FR-C

© CECA-CEE-CEEA, Bruxelles • Luxembourg, 1987

Printed in Belgium

S O M M A I R E

	<u>Page</u>
- INTRODUCTION	V
- COMITE DE GESTION	XI
- THEME 1 : Description comparative des véhicules	1
- THEME 2 : Mesures pour l'évaluation des performances	15
- THEME 3 : Fiabilité et maintenance	45
- THEME 4 : Sécurité et aspects normatifs	51
- THEME 5 : Alimentation en énergie électrique	55
- THEME 6 : Etude économique	63
- THEME 7 : Evaluation socio-économique	81
- THEME 8 : Conclusions générales	87
- ANNEXE I : Avenir du Trolleybus bi-mode	93
- ANNEXE II : Séminaire	113



INTRODUCTION

1. Cadre et Objectifs de L'Action COST 303

Après le deuxième choc pétrolier, de nombreux pays européens s'interrogeaient sur le renouveau de la traction électrique adaptée aux transports collectifs urbains. Métro léger, tramway moderne, trolleybus et autobus électrique connaissaient alors un regain d'intérêt d'autant plus marqué que des considérations environnementalistes s'affirmaient simultanément autour des Centres Urbains.

Dans le cadre du renouveau de la filière trolleybus, industriels et gouvernements ont, de façon quasi-unanime, répondu avec le trolleybus bi-mode.

Il apparaissait en effet manifeste que pour relancer dans la décennie 80 un mode de transport datant des années 30, il fallait, dans la mesure où la technique le permettait, s'affranchir du plus lourd handicap du trolleybus qui reste sa rigidité d'exploitation : rivé à sa ligne aérienne, le trolleybus classique devient impuissant sitôt qu'une perturbation extérieure vient entraver son exploitation. Grâce à sa seconde source d'énergie, le trolleybus bi-mode devient véritablement un système de transport moderne et performant.

Il possède en effet les avantages incontestés du trolleybus liés à la traction électrique (coût énergétique, confort, performances, longévité, ...) sans en hériter des inconvénients.

Il devient dès lors envisageable de s'affranchir de la ligne aérienne là où elle s'avère inopportune : centre ville (esthétique), antennes et dépôt (coût), carrefours complexes (esthétique et coût) pour ne la conserver que sur les tronçons où elle sera la mieux utilisée : tronc commun, rampes,

La disponibilité du système est largement améliorée vis à vis des perturbations intervenant au niveau de l'itinéraire (travaux, accidents ...), de l'alimentation électrique (panne ou grève) ou encore de la chaîne de traction électrique.

C'est ainsi qu'un certain nombre de programmes de développement de trolleybus bi-mode étaient lancés ou en voie de l'être dans différents pays européens. Depuis 1975, plus de dix prototypes de trolleybus bi-mode ont en effet été réalisés dans les pays de la Communauté élargie.

Ces véhicules, réalisés sur la base de cahiers des charges fonctionnels présentant de très nombreuses similitudes, relevaient de conceptions technologiques souvent très éloignées.

Dès lors, une réflexion commune au niveau européen s'avérait particulièrement opportune. Il apparaissait en effet important de pouvoir dégager, par l'analyse des différents programmes en cours au niveau européen, les éléments de comparaison nécessaires à la prise de décision sur la mise en oeuvre de systèmes de trolleybus bi-mode.

Il s'agissait également de dégager, sur la base des éléments disponibles, les actions de recherche complémentaires à engager pour favoriser le développement de cette nouvelle filière de transport collectif urbain et de proposer d'éventuelles recommandations qui pourraient être prises au niveau européen, en particulier en matière de normes, pour faciliter l'exportation d'un produit dont le marché à court terme reste limité.

C'est la mission qui a été confiée au Comité de Gestion de l'Action COST 303 en septembre 1981 par huit pays européens, République Fédérale d'Allemagne, Belgique, Danemark, Finlande, France, Italie, Royaume-Uni et Suisse, engagés à des niveaux plus ou moins avancés dans le développement de trolleybus bi-mode

Comme son nom l'indique, l'Action COST 303 se situe dans le cadre des actions COST (Coopération Européenne dans le domaine de la Recherche Scientifique et Technique) qui associe les pays de la Communauté à sept autres pays européens.

Les actions concertées sans financement commun, dont fait partie l'Action COST 303, sont conduites au niveau gouvernemental, les activités liées à ce type d'action sont financées au niveau national, la coordination et la diffusion des résultats étant assurées par la Commission des Communautés Européennes.

La durée des travaux initialement prévue pour une période de trois ans, a dû être prolongée d'une année pour se conformer au calendrier de certains matériels, décalé d'autant par rapport à celui de l'Action.

2. Organisation des travaux du COST 303

1) Les véhicules soumis à évaluation

En annexe à la Déclaration Commune d'Intention signée par Les huit gouvernements concernés par l'Action COST 303 se trouve le programme d'évaluation, précédemment élaboré par un sous-comité technique. Ce programme définissait les grandes lignes des travaux à mener par le Comité de Gestion de l'Action COST 303 et prévoyait en particulier l'évaluation technique et économique des différents prototypes disponibles, ce qui constituait une originalité dans une action européenne.

Très vite, il est apparu que seule l'utilisation d'un appareillage unique de mesure, manipulé par une même équipe, permettrait, à partir d'un programme d'essai commun, d'aboutir à des résultats homogènes donc effectivement comparables.

C'est grâce à la compétence et à l'extrême diligence d'une équipe de l'A.T.M. de Milan (réseau de transport public urbain), qui a effectué l'ensemble des campagnes de mesure en mettant à disposition du COST 303 une chaîne d'acquisition de données parfaitement adaptée au problème posé, que cet objectif a pu être tenu.

C'est ainsi que neuf véhicules ont été soumis à ce programme de mesures.

Ce sont :

- Un autobus articulé et un trolleybus articulé classiques servant de référence pour l'étude économique.
- En RFA, Les prototypes articulés O305 GTD de Daimler-Benz (hacheur à GTO) et SG 240 H de M.A.N. Les mesures se sont tenues sur le site d'évolution habituel de ces véhicules, c'est à dire à Essen où se trouve le site propre commun aux trolleybus guidés et aux tramways.
- En France, le bi-mode articulé fabriqué en série par Renault Véhicules Industriels sous la dénomination de PER 180. Les mesures ont été faites à Nancy où circulent actuellement 48 véhicules de ce type, puis à Saint-Etienne.
- Pour la Belgique, le prototype Van Hool-ACEC AG 280 T a été testé sur son terrain d'essai, c'est à dire à Solingen en RFA, aucun réseau de trolleybus ne subsistant en Belgique au moment des essais.
- En Finlande, à Helsinki, le prototype standard SWS de Strömberg utilisant un moteur asynchrone. Bien qu'il ne soit pas bi-mode à proprement parler du fait de la faible puissance de son groupe d'autonomie, ce véhicule a été retenu dans l'évaluation pour l'intérêt présenté par l'utilisation de la traction asynchrone.
- En Italie, le prototype articulé de Mauri utilisant une transmission hydrostatique et le prototype standard de FIAT, le IVECO 471 BM qui présente la particularité d'être à la fois, bi-mode et hybride : en mode trolleybus, comme en mode autonome, il utilise des batteries Cadmium-Nickel de la SAFT permettant de lisser les pointes de puissance au démarrage et de récupérer l'énergie de freinage.

2) Les différents thèmes d'étude

La responsabilité des travaux a été partagée entre les différentes nationalités présentes au sein du Comité de Gestion, sept thèmes d'étude étant définis.

Thème 1 : Descriptif des matériels existants (Danemark - RFA)

Les principales caractéristiques des véhicules évoqués ci-dessus sont présentées dans ce document qui constitue donc le catalogue de tous les trolleybus bi-mode européens réalisés dans les dix dernières années.

Thème 2 : Evaluation technique (Italie)

Comme il a été précisé ci-dessus, une équipe du réseau de Milan a effectué les neuf campagnes de mesures prévues.

Pour chacune de ces campagnes dont la durée moyenne était de trois jours, l'équipe d'A.T.M. était assistée d'un observateur étranger au pays d'origine du véhicule, qui décidait de la validité des conditions de mesure et se trouvait donc en droit de refuser un essai si les conditions lui semblaient insuffisamment respectées. On notera donc que le maximum de précautions ont été

prises pour assurer un caractère incontestable aux résultats des mesures.

Il s'agissait essentiellement de mesures de performances et de consommation en mode électrique comme en mode thermique, le véhicule étant toujours à vide.

Les spécifications de ces mesures ont été définies pour être directement exploitables par l'étude économique.

Thème 3 : Fiabilité - Maintenance (Suisse)

Le montant des investissements nécessaires à la mise en place d'un réseau de trolleybus impose d'assurer au matériel une longévité suffisante pour équilibrer le bilan financier. Le thème propose des exigences de longévité inhérentes à l'exploitation comme à la technique des véhicules.

Pour assurer cette longévité des propositions de politique de maintenance sont présentées. Enfin, une prévision des coûts de maintenance des trolleybus bi-mode comparée à ceux de l'autobus et du trolleybus classique est proposée.

Thème 4 : Sécurité et normes (Italie)

Il s'agit là du recueil de toutes les normes nationales ou internationales, s'appliquant au trolleybus bi-mode. L'examen de la conformité des véhicules testés avec l'ensemble de ces normes est analysé. Cette analyse permet de dégager les quelques aspects sur lesquels la législation en vigueur devrait pouvoir évoluer pour intégrer un véhicule qui n'est ni tout à fait autobus ni tout à fait trolleybus.

Thème 5 : Alimentation en énergie électrique (France)

L'ensemble des composants d'un système d'alimentation en énergie électrique est présenté, de la sous-station au fil de contact en mettant un accent particulier sur la technologie de suspension du fil de contact.

Thème 6 : Etude économique (Belgique)

L'étude économique, qui représente après le Thème 2 le deuxième point fort de l'action, prend comme cadre une ligne diamétrale du réseau de Liège. Sur cet axe, le plus chargé du réseau, dont on connaît toutes les caractéristiques d'exploitation, un modèle mathématique permet de simuler la marche de l'ensemble des véhicules, trolleybus classiques et autobus compris, en utilisant directement les résultats des mesures obtenues dans le Thème 2. A partir des résultats obtenus (parc nécessaire, consommation d'énergie ...) une étude économique basée sur la méthode de l'échéancier permet de comparer entre eux et par rapport au trolleybus et à l'autobus les différents véhicules.

Thème 7 : Evaluation socio-économique (Suisse)

Il s'agit là d'une analyse multicritère faisant intervenir tous les acteurs concernés : usagers, exploitant, collectivité, économie nationale et industrie.

3. Déroulement de l'action

L'action s'est déroulée dans les meilleures conditions de coopération entre les divers pays engagés et le programme présenté dans la déclaration commune d'intention a été très largement tenu.

Néanmoins, certaines simplifications sont intervenues par rapport à ce programme. En particulier les difficultés rencontrées dans l'exploitation des mesures de bruit, de pollution et de jerk ont conduit à abandonner ces mesures.

En revanche, au delà de ce programme et pour accroître la portée des travaux qui ont été menés de 1981 à 1985, un film présentant l'Action COST 303 a été tourné sur les sites d'évolution des matériels étudiés.

Sa large diffusion assurée par les Services de la C.E.E. permettra d'améliorer la connaissance du trolleybus bi-mode au niveau mondial (Expositions de Munich, de Vancouver, Publications de la Communauté, etc ...)

Pour améliorer encore la diffusion des travaux du COST 303 et pour permettre d'y intégrer certains aspects qui auraient pu être omis, un Séminaire International s'est réuni à Bruxelles les 5 et 6 novembre 1985. Ce séminaire, qui a connu un large succès puisqu'il a réuni plus de 150 spécialistes, était organisé autour des mêmes thèmes que ceux de l'Action COST 303 : matériel roulant, installations fixes, évolution des besoins, expérimentation et évaluation économique.

Il a ainsi permis de présenter tout à la fois les résultats de l'Action COST 303 et, grâce à la participation d'intervenants extérieurs au Groupe COST 303, la quasi totalité des expériences menées dans le monde au cours des cinq dernières années en matière de trolleybus bi-mode.

4. Présentation du rapport de synthèse

Comme cela a été évoqué ci-dessus, tous les aspects du trolleybus bi-mode ont été étudiés à partir de thèmes dont la responsabilité était confiée à des pays différents. Chacun de ces thèmes a donné lieu à la rédaction des rapports spécifiques dont les conclusions sont présentées, thème par thème, dans ce rapport de synthèse.

Outre les conclusions par thème, ce rapport présente :

- une conclusion générale qui constitue la véritable réponse à la question posée au COST 303, c'est à dire : faut-il oui ou non favoriser le développement des trolleybus bi-mode ?
et si oui, quelles orientations donner à ce développement ?
- le point de vue des différents pays sur les suites à donner à l'Action COST 303
- les rapports des Présidents de Séance du Séminaire.

COMITE DE GESTION
DE
L'ACTION COST 303

Président : M. Bertrand DUPONT (F)
Vice-Président : M. Ulrich KOCH (R.F.A.)

COMITE DE GESTION

R.F. D'ALLEMAGNE

- M. Ulrich KOCH
Dipl. - Volkswirt

SNV Lokstedter Weg 24
D - 2000 HAMBURG 20

- M. BOHLIG
Dipl. Ing.

SNV Lokstedter Weg 24
D - 2000 HAMBURG 20

BELGIQUE

- M. Claude BODDEN
Ingénieur

Administration des Transports
Cantersteen 12
1000 BRUXELLES

- M. Gaston MAGGETTO
Professeur

V.U.B.
TW-E TEC
Pleinlaan 2
1050 BRUSSEL

- M. Jean-Louis AUGUSTE
Attaché au Service
Exploitation

STIL
Rue du Bassin 119
4030 LIEGE

- M. Peter VANDENBOSSCHE
Ingénieur

V.U.B.
TW-ETC
Pleinlaan 2
1050 BRUSSELS

DANEMARK

- M. J. JENSEN
Professor

Energy Research Inst.
Odense University
DK - 5230 ODENSE M.

- M. Jørgen LUNDSGAARD
Proj. Manager
Eng. PhD.

Energy Research Inst.
Odense University
DK - 5230 ODENSE M.

- M. Ole NISSEN
Manager of applied
research and develop.
section

Energy Research Laboratory
Odense University
DK - ODENSE

FINLANDE

- M. Kari LIESAHO
Proj. engineer

Helsinki City Transport
Toinen linja 7
00530 HELSINKI

FRANCE

- M. Bertrand DUPONT
Ingénieur

SAEMTUL
13 bis Place du Maréchal Leclerc
F - 02000 LAON

ITALIE

- M. Luciano MAZZON
Chef du Service des Achats
et des Contrats

Azienda Trasporti Municipali
Milano
Via Stelvio 2
MILANO

- M. Giampiero BRUSAGLINO
Ingénieur

Centro Ricerche FIAT
Strada TORINO 50
ORBASSANO (Torino)

- M. Diego VECCHIO

A.T.M. - Milano
Foro Bonaparte 61
MILANO

ROYAUME-UNI

- M. Michael HARRISON
Strategic Planning Manager

West Yorkshire Passenger
Transport Executive
c/o Public Transport Office
Country Hall
UK - WAKEFIELD

- M. Roger B. COBBE
Financial Analyst

West Yorkshire Passenger
Transport Executive
Metro House
West Parade
UK - WAKEFIELD - WF 1-INS

SUISSE

- M. Jean-François MADZIEL
Fonct. Scientifique

SET
Effingerstrasse 14
3003 BERNE

- M. Bruno ALBRECHT
Dipl. Ing. ETH/SVI

Institut für Verkehrsplanung
und Transporttechnik
ETH - Hoenggerberg
8093 ZURICH

SECRETARIAT

- M. Francis FABRE
Administrateur principal

Commission des Communautés Européennes
Rue de la Loi 200
B - 1049 BRUXELLES

THEME 1 : DESCRIPTION COMPARATIVE DES TROLLEYBUS BI-MODE EXPERIMENTES

A l'heure actuelle, des trolleybus bi-mode sont engagés en exploitation régulière en République fédérale allemande, en Finlande et en France, des prototypes ont été développés en Belgique et en Italie. En particulier, les systèmes de bi-mode ont atteint en République fédérale et en France un stade qui leur permet d'être engagés en grand nombre en service commercial ou de faire l'objet de passations de commandes de la part des exploitants.

Dans le cadre de l'action de recherche européenne COST 303, dix véhicules bi-mode au total, provenant de cinq pays, ont été soumis à l'expérimentation. Ces dix véhicules peuvent être caractérisés brièvement comme il suit:

- Belgique: Bus articulé VAN HOOL/ACEC, type AG 280 T, électrique (captage)/diesel-électrique (prototype)
- RFA: Bus à deux essieux Mercedes-Benz, type O 305 B, électrique (captage)/accumulateurs (véhicule de démonstration)
- RFA: Bus articulé Mercedes-Benz, type O 305 GTD, électrique (captage)/thermique (véhicule de série)
- RFA: Bus articulé M.A.N., type SG 240 H - Duo, électrique (captage)/thermique (véhicule de démonstration)
- Finlande: Bus à deux essieux SWS, électrique (captage)/diesel-électrique (véhicule de démonstration)
- France: Bus à deux essieux Renault, type ER 100/ER 100 H, électrique (captage)/diesel-électrique (véhicule de série)
- France: Bus articulé Renault, type ER 180 H, électrique (captage)/accumulateurs (prototype)
- France: Bus articulé Renault, type PER 180 H, électrique (captage)/thermique (véhicule de série)
- Italie: Bus articulé Mauri, électrique (captage)/thermique (prototype)
- Italie: Bus à deux essieux Fiat, type CNR-IVECO 471 BM, électrique (captage)/diesel-électrique (prototype)

Les types de véhicules susindiqués ont été soumis, dans le cadre de l'action de recherche, à un programme d'expérimentation commun en vue de dégager leurs principales caractéristiques de performances et de consommation et comparés les uns aux autres sous l'angle d'une évaluation économique. Ces études comparatives sont mentionnées plus loin.

Les dix véhicules sont présentés au tableau 1 avec quelques unes de leurs caractéristiques techniques, à la suite de quoi les véhicules sont décrits individuellement.

Tableau 1:

LES TROLLEYBUS BIMODES EUROPEENS EN 1984 - CARACTERISTIQUES PRINCIPALES

PAYS	CONSTRUCTEUR/ TYPE	TYPE DE VEHICULE	MODS DE TRACTION	STATUT COMMERCIAL	Longueur (m)	Largeur (m)	HAUTEUR Anse Haut, perches (m)	POIDS TOTAL en ch. (kg)	CAPACITE		FONCTIONNEMENT PAR CAPTAGE				FONCTIONNEMENT AUTONOME			
									Places assisés	Places debout	Vitesse max. (km/h)	Accélé- ration (m/s ²)	Puissan- ce con- sommée (kW)	Vitesse max. (km/h)	Accélé- ration (m/s ²)	Puissan- ce con- sommée (kW)		
BELGIQUE	VAN HOOL ACEO AG 280 T	Articulé	Electrique (cap- tage) - thermique (diesel-electrique)	Prototype	17.900	2.490	3.400	27000	46	85	60	1.2	177	60	1.2	110 x)		
REP. FED. D'ALLEMAGNE	MERCEDES - BENZ O 305 B	2 essieux	Electrique (cap- tage-batterie)	Véhicule de démonstration	11.110	2.500	3.600	18800	43	31	60	1.2	90	70	1.2	90		
REP. FED. D'ALLEMAGNE	MERCEDES - BENZ O 305 CTD	Articulé	Electrique (cap- tage) - thermal- ique	En exploita- tion commer- ciale	17.260	2.500	3.310	27600	62	106	60	1	179	72	-	177		
REP. FED. D'ALLEMAGNE	M.A.N. SG 240H - DUO	Articulé	Electrique (cap- tage) - thermal- ique	Véhicule de démonstration	16.630	2.500	3.340	25900	59	76	68	1.5	165	68	-	177		
FINLANDE	SWS	2 essieux	Electrique (cap- tage) - thermique (diesel-electrique)	Véhicule de démonstration	12.000	2.500	3.150	18500	37	45	60	1.6	110	40	1.6	51 45 x)		
FRANCE	RENAULT ER 100WER100H	2 essieux	Electrique (cap- tage) - thermique (diesel-electrique)	En exploita- tion commer- ciale	11.522	2.500	3.380	18000	33	66	60	1.3	121	40	0,67	43		
FRANCE	RENAULT ER 180H	Articulé	Electrique (cap- tage-batterie)	Prototype	17.560	2.500	2.980	27200	46	99	62	1.37	178	56	1,37	-		
FRANCE	RENAULT PER 180H	Articulé	Electrique (cap- tage) - thermique	En exploita- tion commer- ciale	17.792	2.500	3.380	29000	41	119	60	1.3	164,5	60	1,3	166		
ITALIE	MAURI	Articulé	Electrique (cap- tage) - thermique	Prototype	17.895	2.460	3.000	29200	43	129	48	1.6	180	52	1,5	188		
ITALIE	FIAT CNR - IVECO 471 BM	2 essieux	Electrique (cap- tage) - thermique (diesel-electrique)	Prototype	11.990	2.500	3.550	18400	26	58	70	1.3	90	70	1,3	123		

à la sortie du conducteur

VAN HOOL AG 280T



Le prototype de l'AG 280T a été réalisé en 1984 par VAN HOOL en collaboration avec les ACEC. Avant que le véhicule n'entre en service sur le nouveau réseau de trolleybus de la Ville de Gand, il a été testé pendant quelque temps sur le réseau des transports de Solingen.

L'AG 280T a été conçu comme trolleybus articulé. Pour l'exploitation en dehors des lignes aériennes, il a été pourvu d'un groupe moteur diesel-générateur, qui peut être livré pour diverses classes de puissance, de sorte même que la version la plus puissante permet d'obtenir des caractéristiques de marches dynamiques comparables à celles d'un bimode. Le véhicule est équipé d'un moteur à courant continu commandé par un hacheur, lequel moteur entraîne l'essieu médian du véhicule par l'intermédiaire d'un différentiel décalé par rapport à l'axe du véhicule. Ce type d'entraînement rend possible un plancher particulièrement bas, d'une hauteur constante sur toute la longueur du véhicule. Grâce aux essieux avant et arrière dirigés, la largeur de la surface balayée se réduit à 5 m pour un rayon de braquage de 10,9 m.

Pour une longueur de 17,9 m, il peut accueillir 131 passagers et atteint une vitesse maximale de 60 km/h dans les deux modes de traction.

MERCEDES BENZ O 305 B



C'est sous cette désignation qu'est apparu un bi-mode à deux essieux, développé par Daimler-Benz en collaboration avec les firmes Bosch, Dornier et Varta. Deux bi-mode de ce type (trolley-accumulateurs) ont été testés en exploitation régulière avec transport de personnes, à Esslingen, entre 1979 et 1981.

Ces bi-mode sont construits de façon à pouvoir être alimentés alternativement en énergie par la ligne aérienne ou, lorsque celle-ci n'est pas disponible, par la batterie. Le véhicule est équipé d'un moteur shunt à courant continu et excitation séparée, commandé par un hacheur ainsi que du freinage par récupération. Il est possible de recharger la batterie par la ligne aérienne.

D'une longueur de 11,11 m, ce bus peut transporter 74 passagers. En captation, il peut atteindre une vitesse maximale de 60 km/h, en traction par accumulateurs, une vitesse de 70 km/h.

MERCEDES BENZ O 305 GTD



Le O 305 GTD est un bi-mode articulé développé par Daimler-Benz en collaboration avec AEG et pourvu d'un moteur diesel à l'arrière. L'exploitation de démonstration en service de ligne a débuté à Essen en mai 1983 (avec des bus conçus pour le guidage mécanique). Deux autres bus ont été livrés à Esslingen à fin 1983. A l'heure actuelle, ce type de véhicule fait l'objet d'un développement ultérieur sur la base de l'autobus standard de la génération II. Des véhicules de ce type modifié entreront en service à Essen dès 1986 et à Esslingen en 1987.

Le moteur électrique surbaissé, commandé par hacheur, est disposé au milieu de la partie arrière tandis que le groupe de propulsion mécanique est placé à l'extrémité de la partie arrière. Les deux groupes de propulsion séparés agissent sur le troisième essieu (bus-poussoir dans les deux modes de traction). Le groupe moteur mécanique se compose d'un moteur diesel et d'une boîte de vitesse automatique. Lorsque les perches sont en contact avec la ligne aérienne, le moteur diesel est découplé automatiquement.

D'une longueur de 17,26 m, le bus peut accueillir 168 passagers. Il atteint en captation une vitesse maximale de 60 km/h, en thermique une vitesse maximale de 72 km/h.



Ce bimode a été développé par M.A.N. en collaboration avec Siemens sur la base de l'autobus articulé standard SG 240 H avec moteur avant et essieu arrière directeur. L'exploitation de démonstration en service de ligne a débuté en mai 1983 à Essen.

Le SG 240 H possède un moteur diesel qui est monté sous le plancher, à l'arrière de la remorque. La transmission de l'effort de traction à l'essieu moteur (essieu médian) est assurée par un arbre traversant. Le moteur électrique de traction, commandé par hacheur, est placé sous le plancher, au milieu de la motrice. Les deux entraînements agissent séparément sur l'essieu médian. A titre complémentaire, le véhicule est équipé de galets de guidage latéral en vue de l'exploitation avec guidage mécanique.

Pour une longueur de 16,63 m, le véhicule offre place à 135 passagers. Il atteint une vitesse maximale de 68 km/h dans les deux modes de traction.

TROLLEYBUS SWS



Ce prototype de trolleybus à deux essieux, qui a été développé sous la conduite de Helsinki City Transport par les firmes OY Wiima AB, OY Sisu-Auto AB et OY Strömberg AB, a parcouru sur la seule ligne de trolleybus d'Helsinki 70'000 km en exploitation proatoire. En dépit du résultat positif des tests, il n'y a présentement aucune exploitation par trolleybus à Helsinki et aucun indice d'une possible reprise.

L'autobus diesel standard finlandais a servi de base à ce véhicule. Sa principale particularité technique est l'usage de la technique triphasée avec une image de tension constante. Le groupe moteur diesel/générateur n'a été conçu que pour une puissance réduite en exploitation hors de la ligne aérienne. En mode moteur diesel/générateur, l'entraînement est assuré par le moteur triphasé.

En mode trolley, ce bus atteint une vitesse maximale de 60 km/h, en mode diesel seulement 40 km/h. Pour une longueur de 12 m, il peut contenir jusqu'à 82 passagers.

RENAULT ER 100 R/ER 100 H



Ce trolleybus à deux essieux, construit par la firme Renault (RVI) en collaboration avec Traction CEM Derlikon et Alsthom Atlantique, est en service dans les villes de Grenoble, Lyon, St-Etienne, Marseille et Limoges.

On utilise sur les premiers véhicules de ce type (ER 100 R) une commande à rhéostat pilotée par des thyristors et une commande à hacheur sur le circuit d'excitation, tandis que les véhicules plus récents ont reçu une commande à hacheur (ER 100 H). Le moteur de traction compound à courant continu est monté à l'arrière du véhicule, dans l'axe longitudinal. Les deux exécutions de l'ER 100 sont équipées d'un groupe de marche auxiliaire diesel-électrique d'une puissance réduite. En exploitation hors de la ligne aérienne, le moteur diesel est accouplé au moteur à courant continu qui travaille comme génératrice.

Sous ligne aérienne, il peut atteindre 60 km/h, en exploitation thermique seulement 40 km/h. Pour une longueur de 11,52 m, il peut transporter jusqu'à 98 passagers.

RENAULT ER 180 H



L'ER 180 H a été développé par les firmes TREGIE, Renault (RVI), Traction CEM Oerlikon et S.A.F.T. L'unique prototype a été testé en 1982 à Lyon. Le développement du véhicule n'est pas poursuivi à l'heure actuelle. A moyen terme, il est toutefois prévu de reprendre le développement de ce concept de véhicules.

Ce bi-mode est un véhicule tout électrique; l'énergie de traction peut être tirée aussi bien d'une ligne aérienne que de l'accumulateur. Le moteur électrique est monté transversalement entre l'essieu médian et l'articulation et n'entraîne que le second essieu. Les batteries sont installées aux abords du troisième essieu. Elles sont constituées de cellules nickel-cadmium à grand débit. On ne procède qu'à une décharge de 20 % au plus afin de garantir une durée de vie supérieure à 25'000 cycles de décharge. Une boîte de vitesse flasquée sur le moteur transmet l'effort de traction du moteur électrique à l'essieu moteur.

Avec une longueur de 17,56 m, le véhicule offre place à 145 passagers. La vitesse maximale s'élève en mode trolley à 62 km/h, en mode batteries à 56 km/h.



Ce bi-mode articulé a été développé par Renault (RVI) en collaboration avec Trac-tion CEM Oerlikon et Alstom Atlantique. Il est opérationnel en France depuis no-vembre 1982, où le nouveau réseau exploité par bi-modes de Nancy a constitué son premier domaine d'engagement. Une version adaptée aux normes américaines a été engagée un certain temps à Seattle.

Le moteur diesel est installé à l'arrière, dans l'axe longitudinal du véhicule, le moteur électrique est placé transversalement entre le deuxième et le troisième es-sieu, derrière l'articulation. La commande du moteur électrique est assurée par un hacheur. En mode trolley, le freinage est possible par récupération de même que sur résistances.

Ce bus atteint dans les deux modes de traction une vitesse maximale de 60 km/h. Il a une capacité de 160 passagers pour une longueur de 17,79 m.



Ce bi-mode articulé a été développé par la firme MAURI en collaboration avec Marelli. C'est le résultat d'un projet orienté sur les économies d'énergie, soutenu par le Conseil national de la recherche italien.

Le châssis et la carrosserie ont été intégralement exécutés en aluminium. C'est la première fois que l'on a monté sur un bi-mode un système de transmission hydrostatique du couple, qui agit aussi bien en mode électrique qu'en mode diesel. Une pompe hydraulique variable accouplée directement sur le moteur de traction entraîne deux moteurs hydrauliques variables, reliés à l'essieu médian et à l'essieu arrière. En mode diesel, les moteurs variables sont alimentés par une pompe entraînée par le moteur thermique.

L'alternateur auxiliaire, la servo-pompe et le compresseur sont dédoublés.

En mode trolley, il peut atteindre 48 km/h et en mode thermique 52 km/h de vitesse maximale. Pour une longueur de 17,895 m, il a une capacité de 172 passagers.



Ce bi-mode à deux essieux a été développé par FIAT en collaboration avec les firmes IVECO, Marelli et S.A.F.T.

Le moteur de traction électrique de ce bus peut être alimenté par la ligne aérienne ou par le moteur diesel-générateur. De plus, une batterie Ni-Cd a été insérée dans la chaîne de traction. Elle sert à la récupération de l'énergie de freinage dans tous les modes d'exploitation ainsi qu'à fournir un apport d'énergie lors des pointes de puissance en traction trolley et diesel. Sur de courtes distances et avec une accélération réduite, elle peut suffire à elle seule à l'alimentation du véhicule.

Dans les deux modes de traction, il peut atteindre une vitesse de pointe de 70 km/h. Pour une longueur de 11,99 m, ce bus peut accueillir jusqu'à 111 passagers.

THEME 2 : MESURES POUR L'EVALUATION DES PERFORMANCES

DES AUTOBUS BI-MODE POURQUOI ?

En 1983, par exemple, le système de transport italien a consommé 0,3 million de tep de gaz naturel, 23,7 millions de tep d'hydrocarbures et 0,4 million de tep d'électricité, produites pour la plupart à partir d'hydrocarbures.

La situation n'est pas nécessairement la même dans tous les pays, mais les concepts définis ci-après sont applicables d'une façon générale.

L'assortiment en énergie primaire d'un pays risque à tout moment de se modifier brutalement et tout processus industriel devrait être à même de s'adapter - en douceur - à de tels bouleversements.

Si deux sources d'énergie primaire A et B étaient disponibles l'une à la suite de l'autre - disons A la première et lorsque A est épuisée B - on pourrait concevoir deux générations de véhicules traditionnels.

La première génération de véhicules pourrait consister en un autobus à moteur traditionnel fonctionnant à l'énergie A, alors que la seconde génération pourrait être un trolleybus fonctionnant à l'énergie B.

Malheureusement, un tel programme est irréalisable en raison des modifications soudaines et imprévisibles de l'approvisionnement énergétique, dues soit à l'épuisement des réserves soit à des bouleversements politiques au niveau international. D'où la raison d'être d'un véhicule bi-mode présentant des performances similaires en mode A ou B.

La raréfaction de l'énergie A par rapport à l'énergie B, suite à la politique énergétique d'une nation ou à la prédominance temporaire de l'une d'elles, n'influence en rien l'exploitation du véhicule.

Toutefois, et quel que soit le système de traction bi-mode choisi, le nouveau véhicule sera technologiquement plus avancé que chacun de ses parents, ce qui peut impliquer un poids plus élevé, des organes de commande plus complexes et éventuellement une consommation spécifique plus élevée.

Même alors, l'économie d'énergie réalisée au niveau de la source A, la première à s'épuiser, serait maintenue puisque le rythme d'épuisement de l'énergie A utilisée simultanément avec l'énergie B, serait ralenti.

C'est pourquoi, économiser l'énergie A revient en fait à retarder le moment de son épuisement définitif.

Entretemps, les recherches sur les combustibles fossiles, les minéraux fissibles et la fusion d'éléments légers, alliées à l'utilisation de l'électricité comme vecteur principal d'énergie pour les transformations et le transport, auront - espère-t-on - procuré une énergie inépuisable pour les siècles à venir.

Auquel cas, le trolleybus traditionnel, équipé d'organes de commande de haute technologie, jouera à nouveau un rôle prépondérant dans ce secteur des transports locaux sur pneus.

EXPOSE DU SYSTEME DE MESURES

Le même système de mesures a été utilisé pour la détermination des performances de tous les véhicules.

Il se compose conceptuellement de deux parties : une partie dite d'"intelligence ou de traitement" et une partie d'"acquisition".

La première consiste en un équipement informatisé de saisie des données, la seconde se compose de transducteurs analogiques adaptés aux diverses grandeurs que l'on entendait mesurer.

Ces derniers avaient pour tâche de traduire la grandeur sous examen sous la forme d'une tension, la seule qui peut être lue et saisie par l'équipement d'acquisition.

Cet équipement est un modèle HP 3054 de Hewlet Packard doté d'une mémoire vive de 32 K, programmé en BASIC, et d'un système de mémoire de masse à bandes de 250 K pour les données et les programmes, qui a été programmé en vue de l'interrogation cyclique des transducteurs auxquels il a été relié.

Chacune d'elles fournit, en conséquence, dans une unité de mesure correspondant à celle qui a été obtenue, un signal de tension représentant la grandeur concrète à mesurer.

Il en découle des mesures discontinues, basées sur un processus d'échantillonnage, parce qu'un transducteur donné n'est à nouveau interrogé qu'une fois que tous les autres ont été consultés, selon une séquence définie préalablement dans un programme.

La fréquence de l'échantillon est également prédéterminée et n'est limitée que par la capacité de stockage de la mémoire vive; plus la fréquence est élevée, plus la saturation est proche.

Les données contenues dans l'aire de stockage active peuvent être dirigées, selon un programme, sur une bande magnétique et mises à disposition en vue du traitement subséquent sous la forme d'un print-out, d'un traçage de courbes ou d'une calculation automatique en fonction des différences finies.

La partie "acquisition" est composée de transducteurs choisis en raison de leur compatibilité avec l'allure des variations des quantités à mesurer.

Les pages qui font suite donnent une description détaillée de chacun d'eux, comprenant les fiches techniques avec les caractéristiques, la méthode utilisée pour leur implantation et, lorsque c'est jugé nécessaire, le calcul de la constante de transfert (c'est à dire lorsqu'elle dépend de paramètres externes comme le rayon du tour de roue).

Les transducteurs ont été choisis en conformité avec le chapitre des mesures qui avaient pour objectif :

1. l'établissement de la courbe vitesse-temps en fonction des différentes positions de la pédale d'accélérateur, et par conséquent, des différents régimes de puissance du moteur, obtenus au moyen d'une règle graduée; ces positions étaient en général égales à $4/4$, $3/4$, $1/2$ et $1/4$ de la courses de la pédale, même si, dans un petit nombre de cas, cet éventail a été élargi;
2. l'établissement d'une courbe de la consommation instantanée, associée à chacune des courbes de vitesse décrites plus haut; par consommation instantanée, on entend le flux de carburant entrant dans la propulsion diesel, la tension et le courant de traction entrant dans la propulsion électrique;
3. l'établissement des profils de vitesse constante, proches ou correspondant aux valeurs suivantes : 50, 40, 30 ou 20 km/h;
4. l'établissement des courbes de la consommation instantanée, en liaison avec les paliers de vitesse constante qui ont été atteints;
5. la mesure de la consommation instantanée des auxiliaires, le véhicule se trouvant à l'arrêt;
6. la mesure des différents profils de vitesse en décélération avec le frein de service et le frein d'urgence;
7. la mesure de la consommation instantanée (ou de la récupération si elle est installée) durant le freinage.

Il n'y a par conséquent pas de mesure complète du cycle, comme la séquence accélération, marche sur l'erre, freinage, arrêt du véhicule pendant un laps de temps équivalent à un arrêt en ligne.

Nous en sommes arrivés là, car après de nombreuses tentatives pour nous situer sur des cycles comparables, nous avons perçu l'extrême complexité de cette procédure, en particulier lorsqu'elle devait se dérouler sur des parcours d'essai qui étaient tous différents les uns des autres.

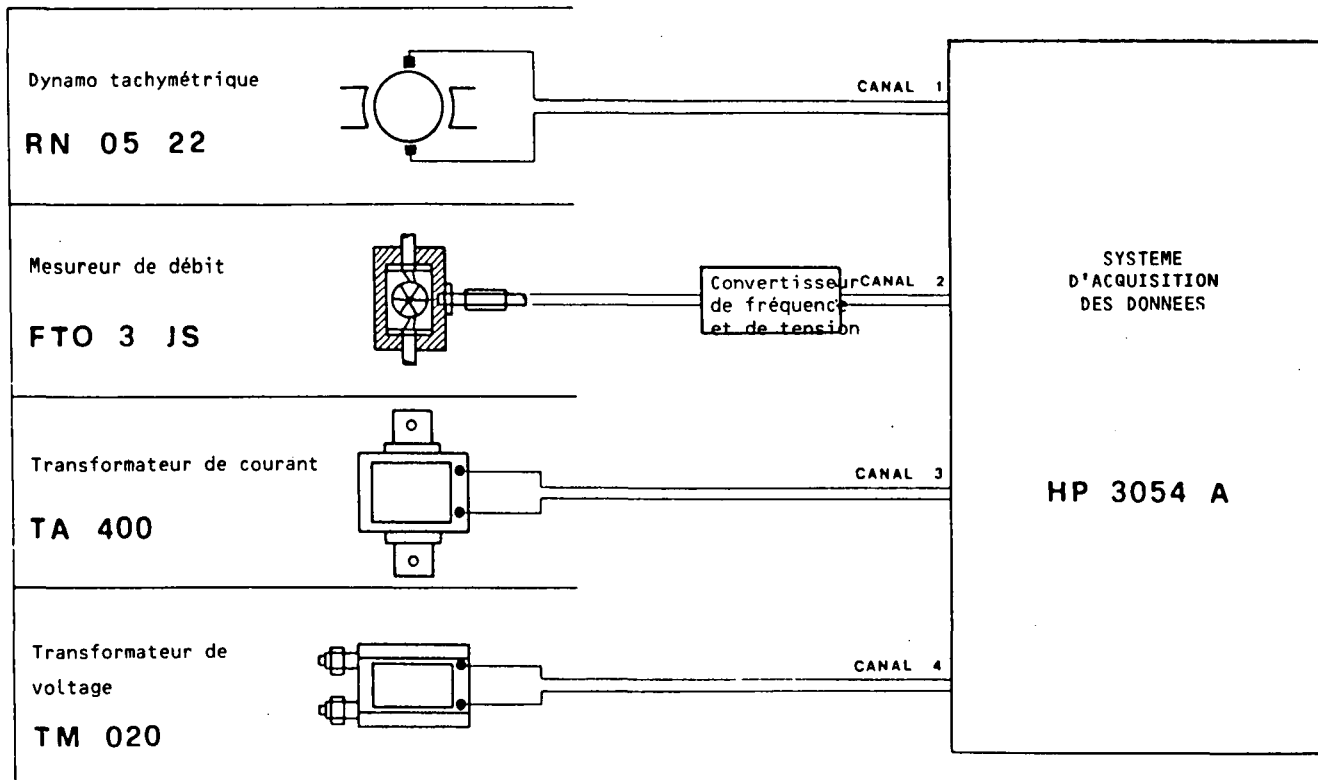
Nous avons alors imaginé, guidés par le fait que nous disposions d'une capacité de calcul automatique inhérente au système de mesure, de mesurer le cycle par "tranches séparées" (mentionnées aux points 1 à 7), de les combiner ensuite pour recréer et simuler n'importe quelle possibilité cinématique et la consommation d'énergie correspondante.

Le principe du raccordement des transducteurs à l'équipement d'enregistrement des données est illustré à la figure 1 qui montre que chaque transducteur est relié à un canal de mesure et décrit également le type de transducteur utilisé.

Les transducteurs de tension et de voltage alternent évidemment avec ceux de mesure du flux de carburant diesel, les uns entrant automatiquement en fonction avec la traction électrique, les autres avec la traction diesel.

SCHEMA DE RACCORDEMENT DES TRANSDUCTEURS AU SYSTEME D'ACQUISITION

Figure 1.



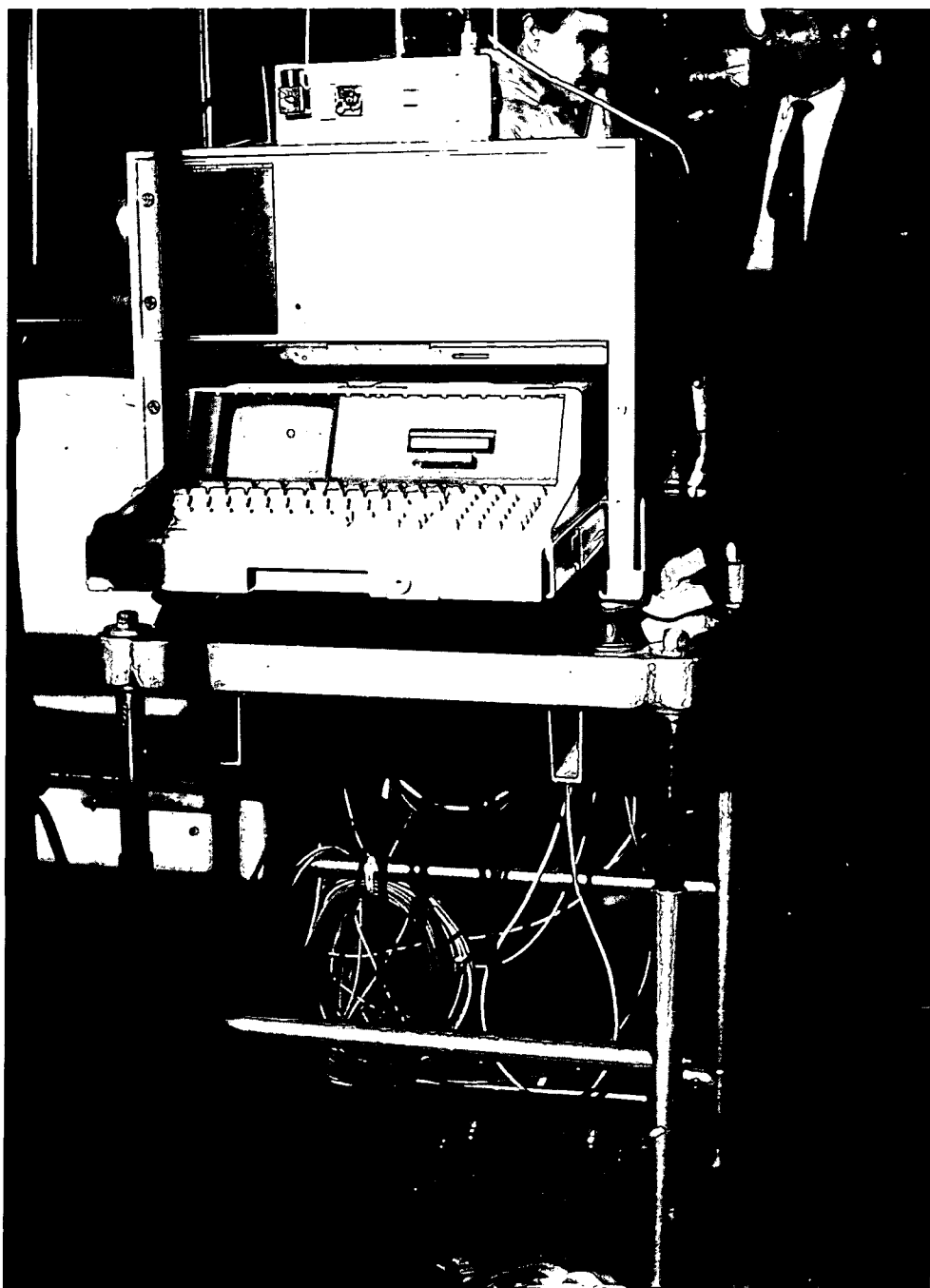


Photo N° 1 : Console d'ordinateur sur une table absorbant les chocs.

MESURES DE VITESSE

C'est une dynamo tachymétrique Radio Energie RN 05 22, dont les caractéristiques figurent à la suite de ce paragraphe, qui a été choisie.

Elle a été installée de manière à ce que son stator soit fixé à la caisse du véhicule et son rotor à la roue, ce qui nécessitait, en tout instant, le calcul de la constante de transduction

vitesse : tension

à partir de celle indiquée par le constructeur

nombre de tours par minute : tension.

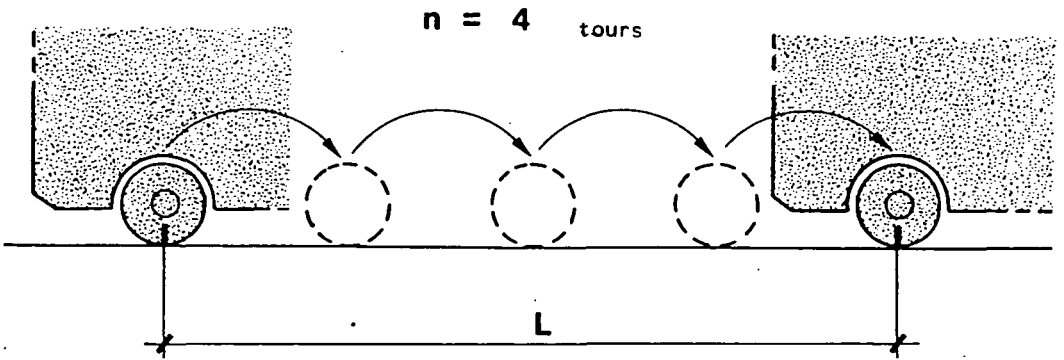
En fait, la vitesse linéaire du véhicule dépend évidemment du nombre de rotations et du rayon de la roue, ce dernier étant variable de cas en cas.

La méthode de calcul utilisée pour obtenir la constante recherchée est illustrée par la figure 4 et commentée ci-après.

La roue a été forcée d'accomplir un certain nombre de tours (3 ou 4) de manière à obtenir son rayon réel compte tenu du tassement du pneu.

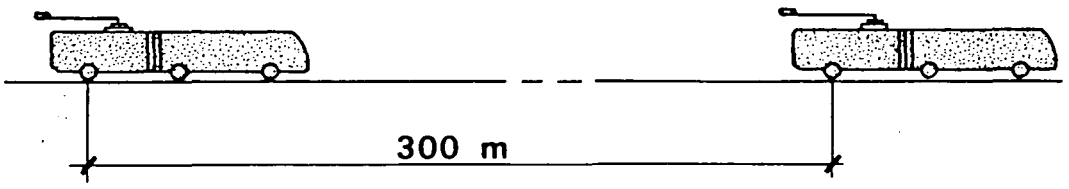
Ensuite, afin de confirmer la validité du résultat obtenu et de l'assurer, le véhicule examiné a parcouru une distance-test de 300 m à différentes vitesses, on a enregistré le signal émis par la dynamo et on l'a intégré: on a ainsi obtenu confirmation de la précision de la mesure tachymétrique lorsque, après intégration, on a atteint également une valeur de 300 m.

Figure 2.



$$2 \pi R n = L$$

$$R = \frac{L}{2 \pi n}$$



$$\int \text{Vel}(t) dt = 300$$

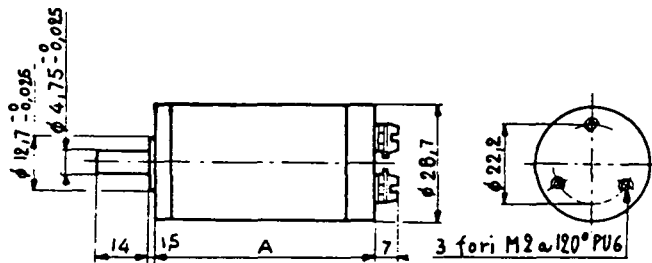
DINAMO TACHIMETRICA RN 05

CARATTERISTICHE GENERALI

La dinamo RN 05 fornisce corrente continua ed è particolarmente interessante per le sue ridottissime dimensioni.

Le sue caratteristiche principali sono:

- Indotto a 9 canali e collettore a 9 lamelle.
- Protezione IP 44.
- Isolamento classe B.
- Momento d'inerzia 11 g./cm².
- Forza elettromotrice 7 Volt a 1.000 giri/min.
- Velocità massima d'utilizzazione:
(limite meccanico) circa 15.000 giri/min.
- Compensata alla variazione del flusso sui magneti dovuto alla temperatura; variazioni inferiori a 0,005% per °C.
- Spazzole CA 30 (carboargento) dimensioni 2,5 x 2,5 mm.
- Fissaggio in tutte le posizioni (orizzontale o verticale).



CARATTERISTICHE ELETTRICHE NORMALI

TIPO	Costante di velocità Volt giri/.	F.e.m. a 1.000 g./m. Volt	Resistenza di indotto Ω	Velocità max giri/min	Intensità max (1) A	Momento d'inerzia g./cm ²	Peso appross. Kg.	Dimensioni. Quota A
RN 05 10	0,007	7	220	12.000	0,04	11	0,1	44
RN 05 22	0,02	20,8	500	5.000	0,03	24	0,15	56

(1) Intensità massima ammissibile a regime permanente. Per l'impiego in "TACHIMETRICA" questa intensità deve essere diminuita in funzione della velocità d'utilizzo e della precisione richiesta.



RAPPRESENTANTE ESCLUSIVA PER L'ITALIA

MESURES DE FLUX

Ces mesures ont été rendues possibles par un transducteur à turbine FTO OMNIFLO 3 EXTENDED, dont les caractéristiques figurent à la fin de ce paragraphe.

La transmission du signal depuis le point de mesure, dans le moteur, jusqu'à l'entrée dans l'appareil d'enregistrement a été assurée au moyen d'une fréquence radio, constituée d'une onde porteuse de 45 KHz à modulation d'amplitude.

Le transducteur à turbine installé sur le tuyau menant du réservoir au moteur a exigé des modifications au circuit hydraulique, contournant les tuyaux de recyclage du carburant, qui sont comme chacun sait une des particularités du mode de propulsion diesel.

Cette modification, effectuée lors des premiers montages sous la forme d'une électro-valve qui avait la faculté, au début de la phase de mesure, de dévier le carburant par le transducteur durant le seul laps de temps nécessaire à la mesure, a été rendue permanente sur les installations ultérieures, après qu'il eut été prouvé que le transducteur n'était pas endommagé par le passage continu du carburant et qu'il pouvait le supporter durablement.

STANDARD HYDRAULIC CIRCUIT FOR DIESEL TRACTION

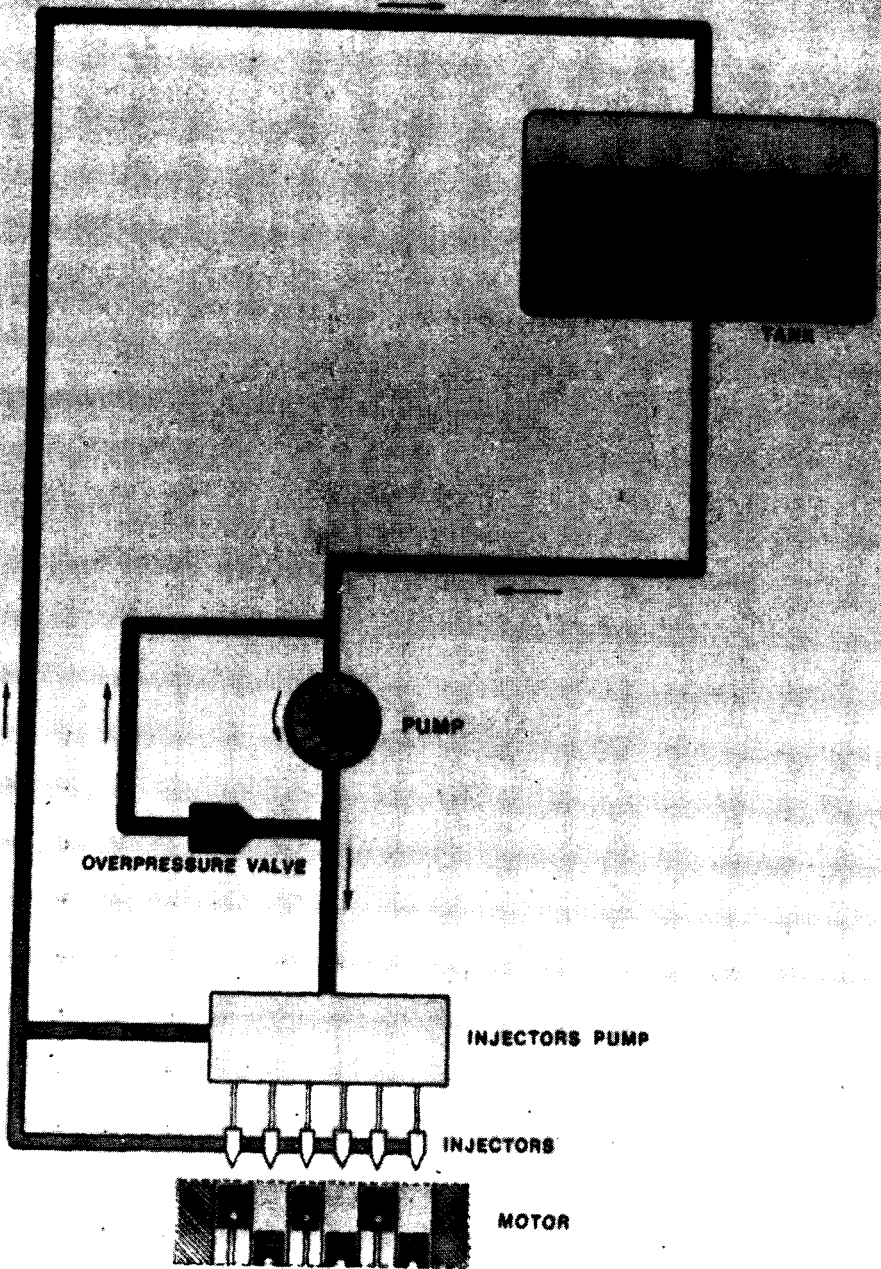
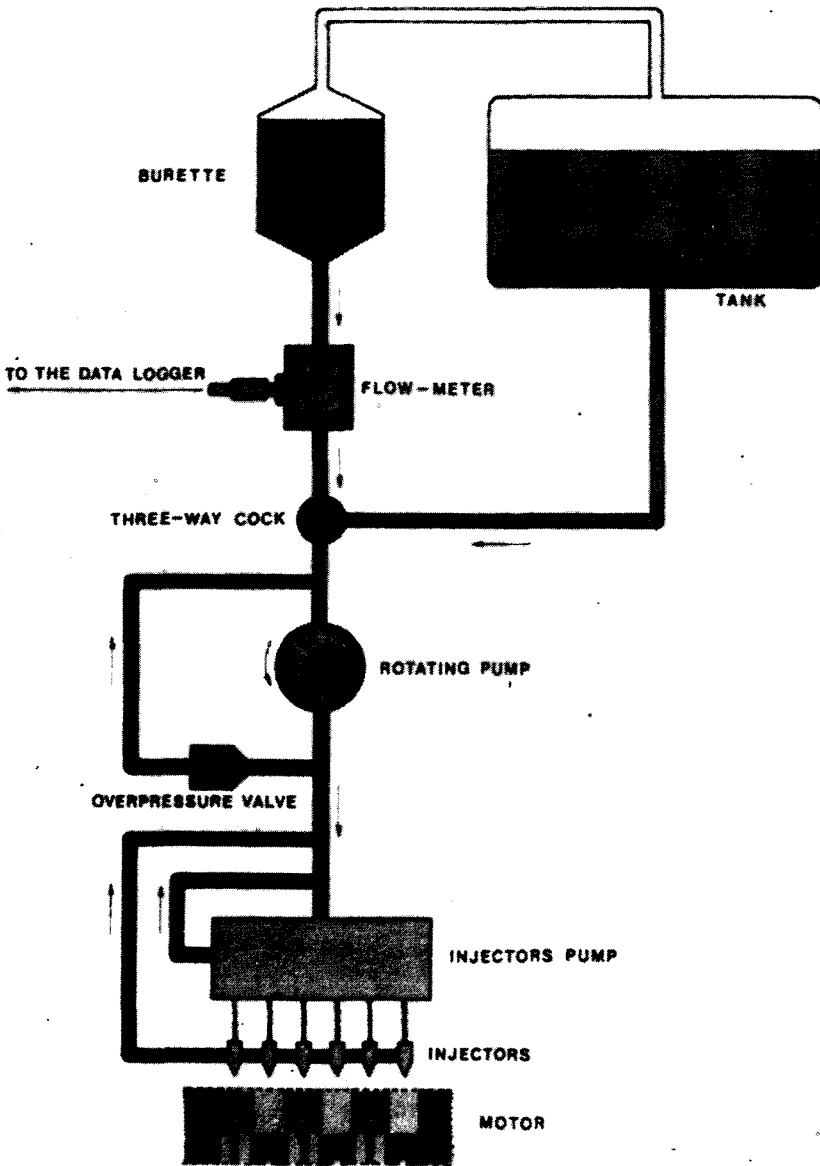


Figure 4.

INSTANTANEOUS MEASUREMENT OF GASOIL CONSUMPTION



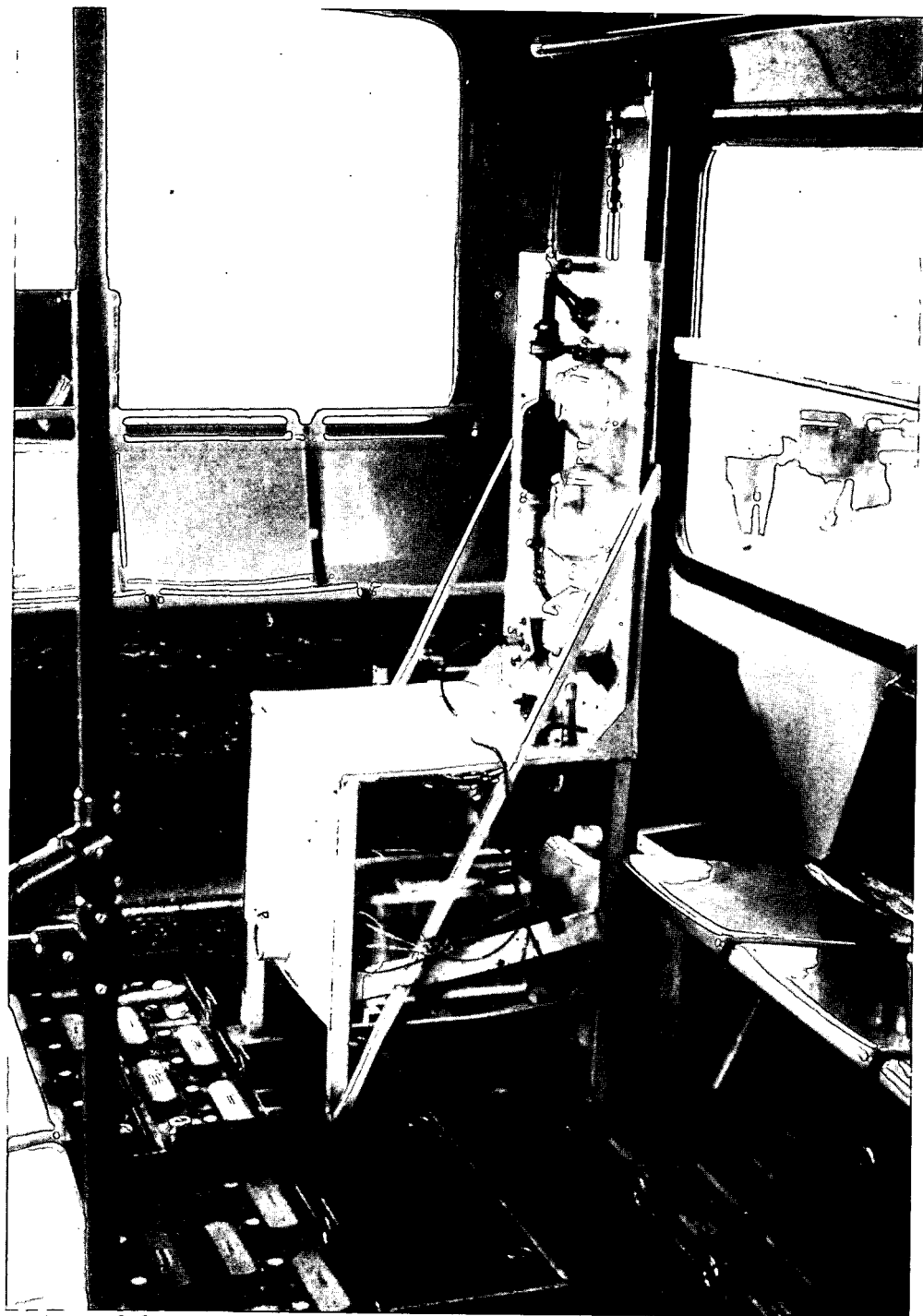


Photo N° 2 : Système de mesures de consommation de gazole N° 1.

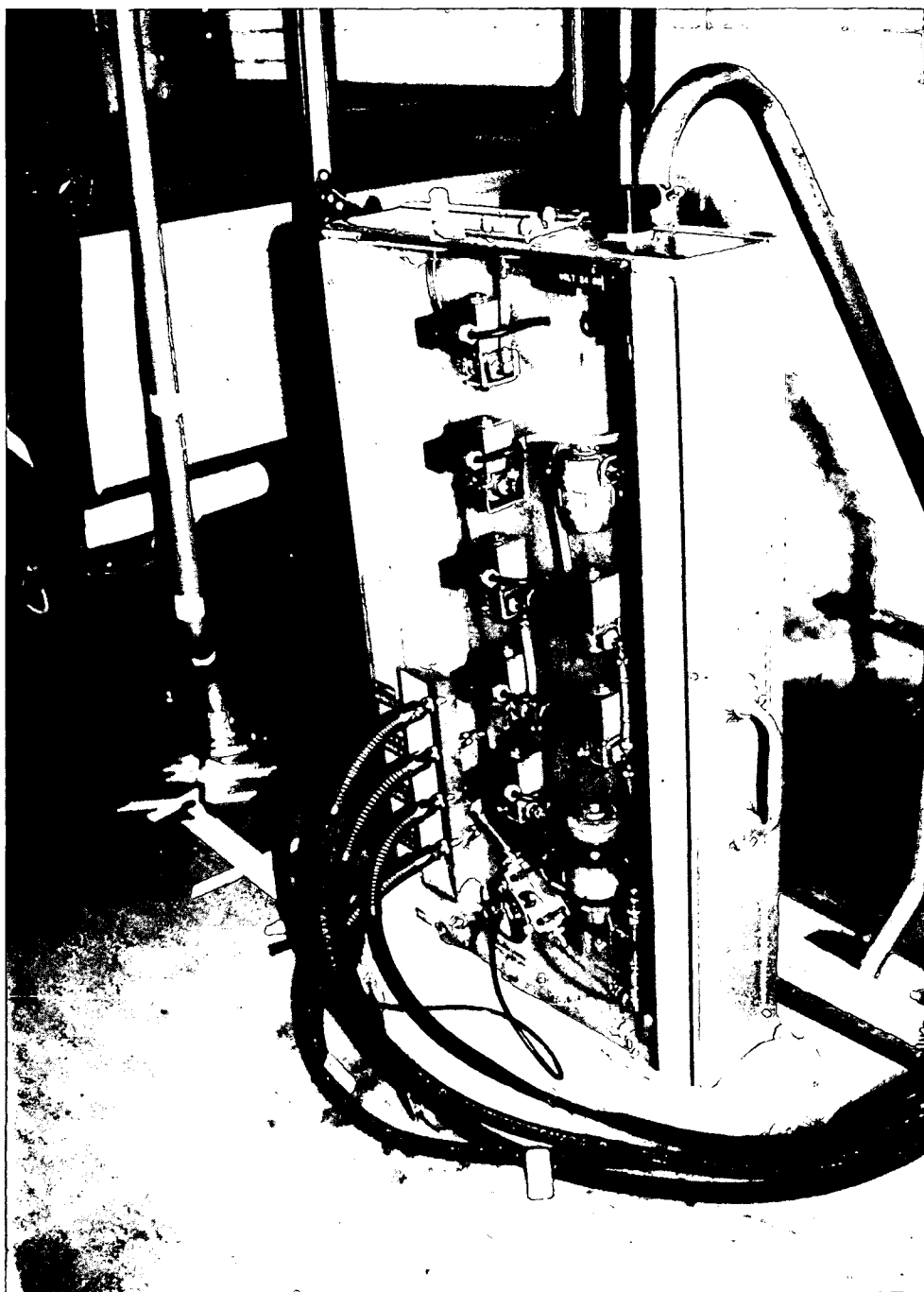


Photo N° 3 : Système de mesures de consommation de gazole N° 3.

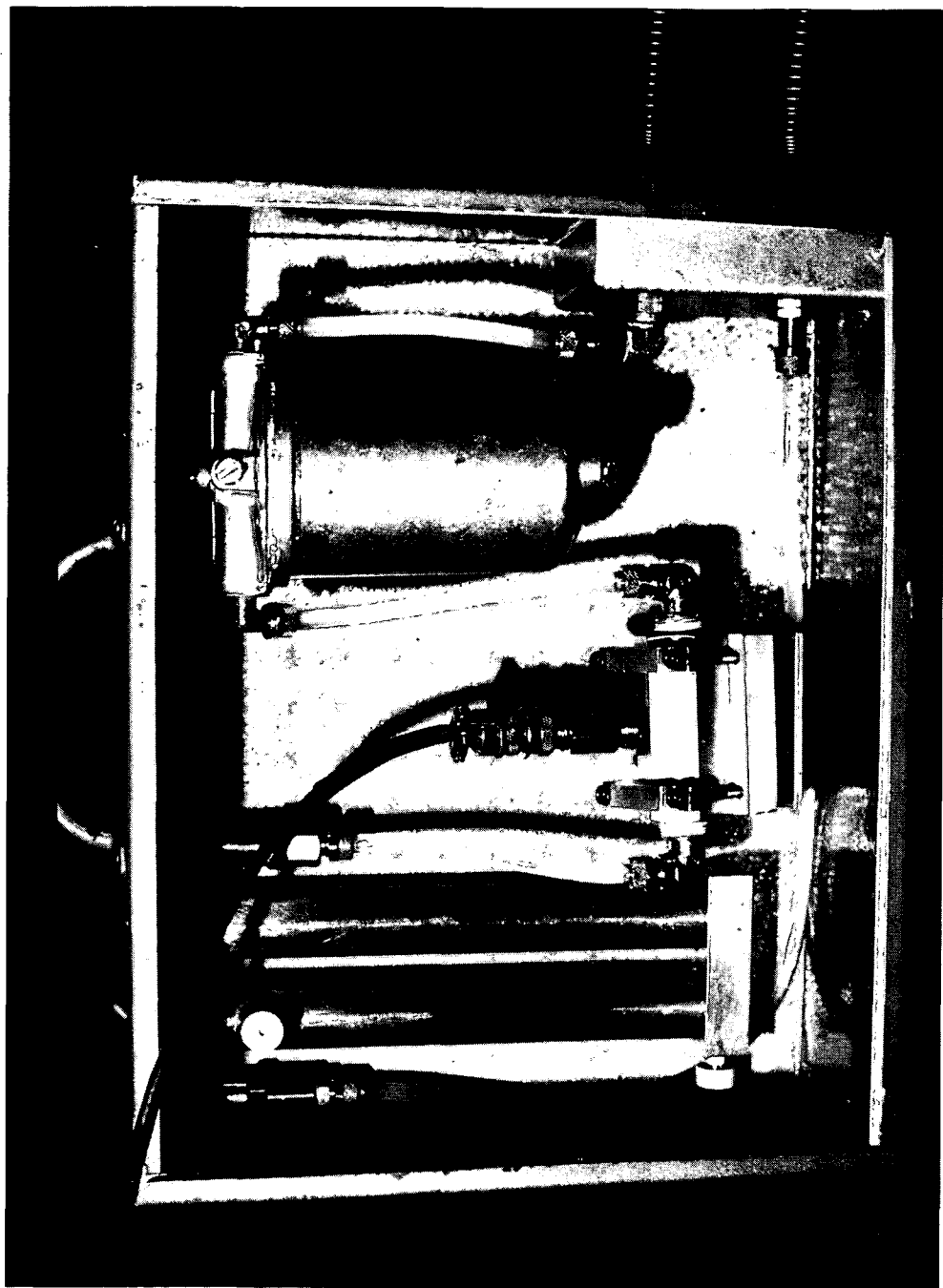


Photo N° 4 : Système de mesures de consommation de gazole N° 4.

OMNIFLO® TURBINE FLOWMETERS

LIQUID

FTD OMNIFLO® MODEL NO. DESIGNATOR (MAX RATED FLOWRATE IN USGPM * 10)	BEARING** AVAILABILITY				FLOW RANGE						NORMAL 10:1 RANGE		
					US GALLONS PER MINUTE (USGPM)						APPROXIMATE MAX FREQUENCY OUTPUT (HZ)	APPROXIMATE K-FACTOR (PULSES PER GALLON) AT MAX FREQUENCY	
	B	JS	JC	JK	NORMAL 10:1		EXTENDED		RF/LFA* REQUIRED	RF/LFA* REQUIRED			
				MINIMUM	MAXIMUM	MINIMUM	MAXIMUM	MINIMUM	MAXIMUM				
.1	✓	✓			0.001	0.01	Yes	0.001	0.03	Yes	75	440,000	
.3	✓	✓			0.003	0.03	Yes	0.0015	0.05	Yes	190	380,000	
.5	✓	✓			0.005	0.05	Yes	0.003	0.08	Yes	320	380,000	
.6	✓	✓			0.006	0.06	Yes	0.004	0.09	Yes	360	360,000	
.8	✓	✓	✓		0.008	0.08	Yes	0.005	0.125	Yes	350	260,000	
1	✓	✓	✓		0.01	0.1	Yes	0.005	0.15	Yes	280	170,000	
2	✓	✓	✓		0.02	0.2	Yes	0.008	0.3	Yes	430	130,000	
3	✓	✓	✓		0.03	0.3	Yes	0.008	0.4	Yes	550	110,000	
5	✓	✓	✓		0.05	0.5	Yes	0.01	0.6	Yes	750	90,000	
6	✓	✓	✓		0.06	0.6	Yes	0.015	0.8	Yes	750	75,000	
8	✓	✓	✓		0.08	0.8	Yes	0.02	1.0	Yes	870	65,000	
10	✓	✓	✓		0.1	1.0	No	0.03	1.25	Yes	750	45,000	
20	✓	✓	✓		0.2	2.0	No	0.05	2.5	Yes	830	25,000	
30	✓	✓	✓		0.3	3.0	No	0.08	4.0	Yes	750	15,000	
50	✓	✓	✓		0.5	5.0	No	0.1	6.0	Yes	830	10,000	

*RF (Modulated Carrier) Pickoff and LFA (Low Flow Amplifier) eliminates Magnetic Pickoff drag thereby allowing the Turbine Meter to operate repeatably down to the minimum flow rate.

** B: 440 C SS Ball Bearing

JS: Sapphire Vee Jewel Bearing

JC: Tungsten Carbide Journal Bearing

JK: Graphite Journal Bearing

SPECIFICATIONS:

Liquid Service Performance Specifications are based on a liquid with a viscosity of 1.2 centistokes (MIL-C-7024B Type II solvent at 70°F).

Gas Service Performance Specifications are based on a gas with a density of 0.075 #/FT³ (air at standard conditions, 14.7 PSIA and 60°F).

CALIBRATION ACCURACY:

(accuracy of primary flow calibration standard directly traceable to NBS)

LIQUID: ± 0.05%

GAS: ± 0.3%

REPEATABILITY:

LIQUID: ± 0.1% of reading

GAS: ± 0.2% of reading

LINEARITY:

LIQUID AND GAS: The Omniflo® Turbine Meter is inherently non-linear. See linearity curves on back of this brochure for typical linearity characteristics.

PICKOFFS:

Magnetic: reluctance magnetic utilizes a permanent magnet within the pickoff body. Electrical output is a 30 millivolt minimum peak-to-peak sine wave. Can be amplified to a 10 volt square wave by using a magnetic pickoff pre-amplifier (PRA).

RF: RF or modulated carrier pickoff, used with an LFA amplifier, utilizes a 45 K Hz carrier frequency which is amplitude modulated by the passage of the turbine rotor blades. Electrical output from the LFA is a 10 volt square wave.

NOTE: Explosion-proof and high temp version pickoffs available.

OPERATING TEMPERATURE RANGE:

limited by pickoff

PICKOFF TYPE:

standard magnetic

hi temp. magnetic

standard RF

TEMPERATURE LIMITS:

- 430 to + 450°F

- 430 to + 750°F

- 430 to + 400°F

NOTE: Maximum temperature limit for jewel sapphire bearing in gas service is + 450°F.

FILTRATION RECOMMENDATIONS:

ball bearings: 10 micron

journal bearings: 75 micron

jewel bearings: 100 micron

MATERIALS OF CONSTRUCTION:

STANDARD: Housing/Supports:

Rotor:

Bearing:

304 S.S.

430F S.S.

Per Bearing Options

MESURES ELECTRIQUES

Les mesures ont été effectuées au moyen de deux transducteurs à effet Hall TM 020 (pour la tension) et TA 400 (pour le courant) qui sont décrits à la fin de ce paragraphe et ont été montés suivant le schéma de circuit de la figure 5. Ce dernier montre également les valeurs de l'alimentation et des résistances de mesure qui ont permis aux transducteurs de mesurer l'allure typique du voltage et du courant en traction électrique.

Nous avons utilisé des résistances de haute précision à fil métallique d'une puissance redondante afin de limiter le phénomène de dérive thermique.

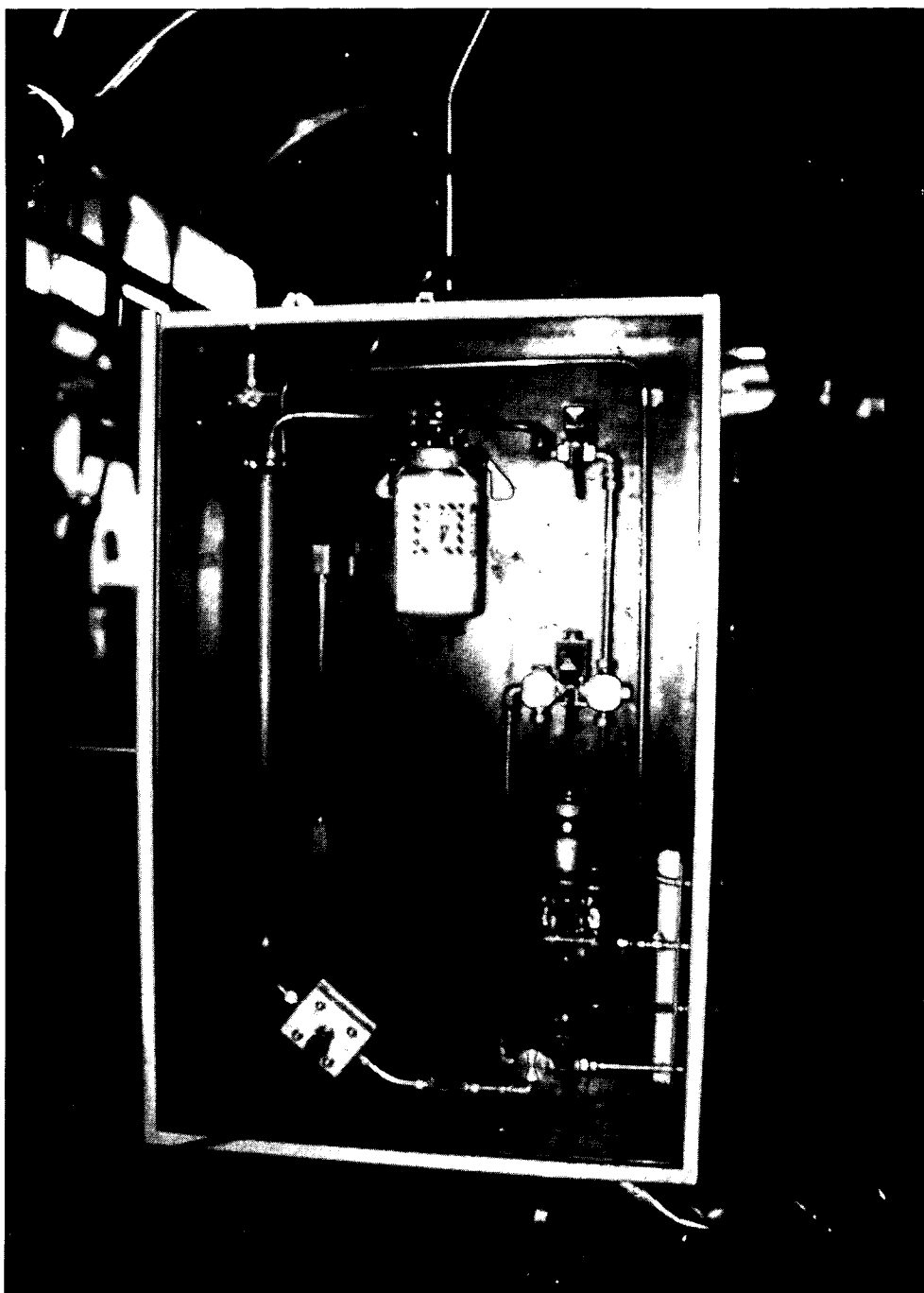
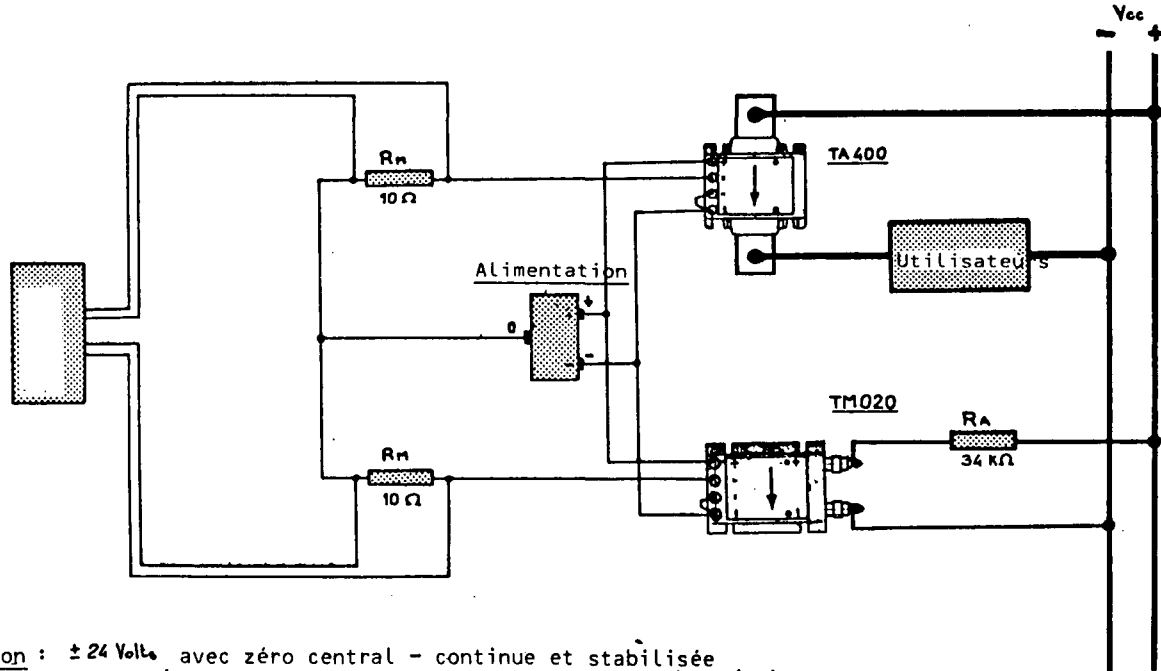


photo N° 5 : Système de mesures de consommation de gazole N° 2.



Alimentation : ± 24 Volts avec zéro central - continue et stabilisée

RA : R55 20/165 $22'000 \Omega$ e R55 20/40 $12'000 \Omega$ (en série)

Rm : RVN 50 10R3 10Ω

Petercem TRANSTRONIC

Type **TM 020** **BBFVN1N**
BBFVP1N

1. Electronic measuring transformer for d.c., a.c., pulsating a.s.o. ...currents or voltages with a high isolation level between primary and secondary circuits.

2. Technical characteristics

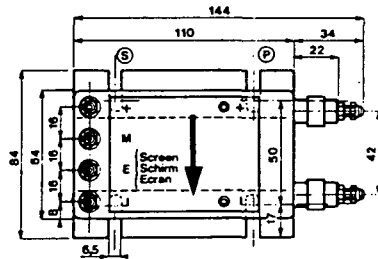
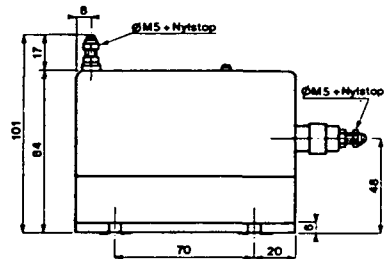
- Nominal primary current I_{PN} : 20 mA
- Overload capacity : 40 mA - 2 min/hr.
- Turns ratio : 10,000/2,000 (measuring current 100 mA for I_{PN})
- Accuracy : $\pm 1\%$ at I_{PN}
for -25°C to $+70^{\circ}\text{C}$
- Drift with temperature : $< 10^{-4}/^{\circ}\text{C}$
- Residual current for $I_p = 0$: < 0.7 mA at 25°C
- No linearity : $< 0.1\%$
- Delay time : 50 to 100 μs
- dI_p/dt accurately followed :
- Isolation
 - max. service voltage : 5 kv
 - test voltage :
 - P/S + Screen : 12 kv / 50 Hz / 1 min.
 - S/Screen : 1 kv / 50 Hz / 1 min.
- Temperature range
 - Accuracy $\pm 1\%$: -25°C to $+70^{\circ}\text{C}$
 - Without accuracy : -40°C to $+85^{\circ}\text{C}$
 - Storage temperature : -40°C to $+85^{\circ}\text{C}$
- Primary circuit :
 - Connections : $2 \times M5 + \text{Nylstop}$
- Internal resistance : approx. 700 Ω
- Secondary circuit :
 - Connections : $4 \times M5 + \text{Nylstop}$

- Secondary winding resistance : approx. 40 Ω
- External d.c. power supply : ± 15 V ($\pm 60\%$)
- Consumption :
 - d.c. current no load ($I_p = 0$) : 30 mA
 - d.c. current on load : 30 mA + measuring current
- Protection : the electronic circuit is protected against short and open circuit of the output.
On request, the electronic circuit is protected against reverse polarity of the d.c. power supply (with 2 diodes).
- Output : between "M" and the 0 of the d.c. power supply.
- Direction of the output signal : see overall dimensional drawing.

3. General characteristics

- Enclosure : Moulded enclosure made of self-extinguishing insulating material.
- Fixing : see overall dimensional drawing.
- Electronic circuit easily accessible for maintenance and repair.
- Weight : approx. 1.2 kg.

Overall dimensional drawing



- Direction of the output signal

(P)	(S)
$I_p > 0$	$I_s > 0$
$+ > 0$	$M > 0$

Commercial code

T	M	0	2	0	B	B	F	V	N	1	N
T	M	0	2	0	B	B	F	V	P	1	N

(1) Without serial diodes with \pm VA

(2) With serial diodes with \pm VA

Petercem TRANSTRONIC

Type **TA 400** XBFHN1N
XBFHP1N

1. Electronic measuring transformer for d.c., a.c., pulsating a.s.o. ...currents or voltages with a high isolation level between primary and secondary circuits.

Overall dimensional drawing

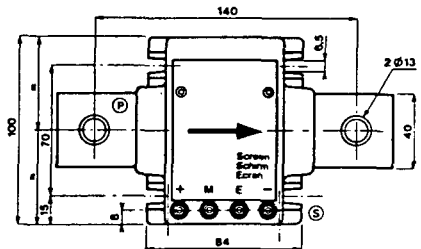
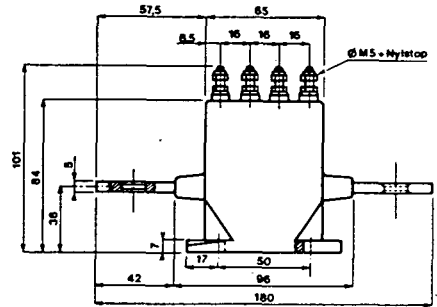
2. Technical characteristics

- Nominal primary current I_{PN} : 400 A
- Overload capacity : 800 A - 2 min/hr.
- Turns ratio : 1/5,000
(measuring current 80 mA for I_{PN})
- Accuracy : $\pm 1\%$ at I_{PN}
- Drift with temperature : $< 10^{-4}/^{\circ}\text{C}$
- Residual current for $I_p = 0$: < 0.25 mA at 25°C
- No linearity : $< 0.1\%$
- Delay time : $< 1 \mu\text{s}$
- dI_p/dt accurately followed : > 50 A/ μs
- Isolation
- max. service voltage : 2.5 kv
- test voltage :
- P/S + Screen : 6 kv / 50 Hz / 1 min.
- S/Screen : 1 kv / 50 Hz / 1 min.
- Temperature range
- Accuracy $\pm 1\%$: -25°C to $+70^{\circ}\text{C}$
- Without accuracy : -40°C to $+85^{\circ}\text{C}$
- Storage temperature : -40°C to $+85^{\circ}\text{C}$
- Primary circuit :
- Connections : Nickel plated copper bar : $180 \times 40 \times 5$ (200 mm^2) with 2 holes dia. 13 mm
- Internal resistance : negligible
- Secondary circuit :
- Connections : $4 \times \text{M5} + \text{Nylstop}$

- Secondary winding resistance : approx. 70Ω
- External d.c. power supply : ± 15 V ($\pm 50\%$ / $\pm 20\%$)
- Consumption :
- d.c. current no load ($I_p = 0$) : 30 mA
- d.c. current on load : 30 mA + measuring current
- Protection : the electronic circuit is protected against short and open circuit of the output.
- On request, the electronic circuit is protected against reverse polarity of the d.c. power supply (with 2 diodes).
- Output : between "M" and the 0 of the d.c. power supply.
- Direction of the output signal : see overall dimensional drawing.

3. General characteristics

- Enclosure : Moulded enclosure made of self-extinguishing insulating material.
- Fixing : see overall dimensional drawing.
- Electronic circuit easily accessible for maintenance and repair.
- Weight : approx. 1.2 kg.



(P)	(S)
$I_p > 0$	$I_s > 0$
→	$M > 0$

- Direction of the output signal

Commercial code

T	A	4	0	0	X	B	F	H	N	1	N	(1)
T	A	4	0	0	X	B	F	H	P	1	N	(2)

(1) Without serial diodes with \pm VA

(2) With serial diodes with \pm VA

CAMPAGNE DE MESURAGE

Les tests ont été effectués sur sept véhicules :

- trolleybus bimode Daimler Benz O 305 GTD, tests effectués à Essen du 11 au 18 novembre 1984
- trolleybus bimode MAN SG 240H, tests effectués à Essen du 11 au 18 novembre 84
- trolleybus bimode Van Hool AF 280 T, tests effectués du 28 janvier au 1er février 1985 à Solingen
- trolleybus bimode Renault PER 180 H, tests effectués d'abord à Nancy et ensuite à St Etienne, du 18 au 22 février 1985
- trolleybus bi-mode Sisu-Wiima Stromberg, tests effectués à Helsinki du 25 au 29 mars 1985
- trolleybus bimode Mauri, tests préliminaires et définitifs effectués à Milan du 15 au 19 avril 1985
- trolleybus bimode FIAT IVECO 471 BM, les tests seront effectués à Milan, probablement début 85.

PREMIERS RESULTATS ET CONCLUSIONS

Les calculs relatifs aux essais de chaque véhicule ont été consignés dans des livres spécialement prévus à cet effet : à titre d'exemple, voici la reproduction d'une page graphique ainsi que d'un listing numérique.

A présent, nous allons examiner les données relatives au pouvoir d'accélération et à la consommation des véhicules ; il n'a pas été tenu compte de l'énergie obtenue par récupération, étant donné que ce processus n'a lieu qu'au freinage, sur des véhicules spécialement équipés à cet effet.

Le présent aperçu ne prétend pas porter un quelconque jugement de valeur sur les véhicules. Les véhicules bimodes sont comparés à deux véhicules classiques :

- un trolleybus articulé FIAT CGE 2472, poids total en charge 17 500 kilos prêté par ATM,
- un trolleybus articulé Mauri 18P 24 S, poids total en charge 13 340 kilos, gracieusement mis à notre disposition par la société MAURI.

Les tests ont été effectués dans les mêmes conditions d'équipement et de méthodologie que pour les véhicules bimodes. Ils se sont déroulés à Milan du 15 au 19 avril 1985.

Traction électrique

En supposant que tous les véhicules démarrent simultanément à pleine accélération et compte tenu d'un signal de départ idéal, la situation après un trajet de 5 secondes serait :

- Distance parcourue : de 16,12 à 25,27 m ; consommation de départ : de 0,610 à 0,784 kilowatt heure/t km ;
- un trolleybus classique (identifié par un point de couleur différente) aurait parcouru 19,93 m et consommé 0,697 kW/heure/t km.

Après 10 secondes :

- Distance parcourue : de 52,86 à 83,14 m ; consommation depuis le point de départ trolleybus classique compris, de 0,378 à 0,527 kWh/t km
- Un trolleybus classique aurait parcouru 60,09 m et consommé 0,378 kWh/t km.

N.B. : même si les véhicules sont de longueur différente, la plupart d'entre eux ont des performances assez proches de celles du trolleybus classique.

Après 15 secondes :

- Distance parcourue de 103,08 à 156,66 m ; consommation depuis le point de départ, trolleybus classique compris, de 0,271 à 0,383 kWh/t km.
- Un trolleybus classique aurait couvert 110,61 m et consommé 0,271 kWh/t km.

Traction diesel

Ce mode de traction a fait l'objet d'une évaluation similaire. Il n'a pas été tenu compte des véhicules Van Hool et Stromberg, étant donné qu'aucun relevé direct n'a été effectué sur les moteurs diesel du premier véhicule et que le moteur du second ne fournit qu'une énergie d'appoint.

Après 5 secondes :

- Distance parcourue de 13,48 à 16,79 m ; consommation depuis le point de départ, de 0,073 à 0,147 litre/t km
- Un autobus classique aurait couvert 13,48 m et consommé 0,109 litre/t km.

Après 10 secondes :

- Distance parcourue, de 47,46 à 55,79 m ; consommation depuis le point de départ, de 0,065 à 0,100 litre/t km :
- Un autobus classique aurait couvert 51,44 m et consommé 0,096 litre/t km.

Après 15 secondes :

- Distance parcourue de 93,5 à 109,31 m ; consommation depuis le point de départ, de 0,0578 à 0,081 litre/t km.
- un autobus classique aurait parcouru 105,85 m et consommé 0,081 litre/t km.

Les tableaux et les graphiques suivants, qui résument les performances de chaque véhicule, vous permettront d'avoir une vision plus globale de ces résultats.

Les schémas suivants concernent des représentations graphiques et numériques de quelques batteries complètes de tests ayant trait à chaque véhicule.

ELECTRIC TRACTION

ACCELERATION UNDER FULL POWER

- empty vehicle -

Tableau 2.

VEHICLES	AFTER 5 sec OF RUNNING		AFTER 10 sec OF RUNNING		AFTER 15 sec OF RUNNING	
	SPACE meters	SPECIFIC CONSUMPTION Kwh / ton-Km	SPACE meters	SPECIFIC CONSUMPTION Kwh / ton-Km	SPACE meters	SPECIFIC CONSUMPTION Kwh / ton-Km
DAIMLER BENZ - AEG	20.28	0.674	67.55	0.465	132.08	0.359
MAN - SIEMENS	17.97	0.610	64.82	0.434	129.14	0.323
VAN HOOL - ACEC	21.29	0.784	75.62	0.527	149.43	0.383
RENAULT - TCO	20.93	0.688	66.59	0.451	126.78	0.347
SISU - WIIMA - STROMBERG	25.57	0.742	83.14	0.493	156.66	0.339
MAURI - MARELLI	16.12	0.596	52.86	0.457	103.08	0.369
FIAT IVECO	** 17.00	** 0.570	** 59.00	** 0.390	** 119.00	** 0.309
FIAT 2472 - CGE CLASSICAL 18mt TROLLEYBUS	19.93	0.697	60.09	0.378	110.61	0.271

Specific consumption from origin of the motion

DIESEL TRACTION

ACCELERATION UNDER FULL POWER

- empty vehicle -

Tableau 3.

VEHICLES	AFTER 5 sec OF RUNNING		AFTER 10 sec OF RUNNING		AFTER 15 sec OF RUNNING	
	SPACE meters	SPECIFIC CONSUMPTION litres/ton-Km	SPACE meters	SPECIFIC CONSUMPTION litres/ton-Km	SPACE meters	SPECIFIC CONSUMPTION litres/ton-Km
DAILMER - BENZ - AEG	11.74	0.147	46.71	0.100	97.43	0.078
MAN - SIEMENS	16.78	0.126	55.79	0.093	109.31	0.075
VAN HOOL - ACEC	13.36	*	44.91	*	86.75	*
RENAULT - TCO	13.86	0.073	47.46	0.065	93.50	0.058
SISU WIIMA - STROMBERG	*** 12.33	*** 0.104	*** 37.92	*** 0.081	*** 71.12	*** 0.070
MAURI - MARELLI	13.73	0.104	49.21	0.089	95.90	0.079
FIAT IVECO	** 14.00	** 0.200	** 51.00	** 0.110	** 106.50	** 0.080
MAURI 18 P245 CLASSICAL 18mt BUS	13.48	0.109	51.44	0.095	105.85	0.081

Specific consumption from origin of the motion

* VAN HOOL ACEC trolleybus not tested in diesel mode, because it was not possible to connect the flow-meter with its diesel engine.

The consumption under diesel traction could be evaluated on the ground of the theoretical efficiency of the chain: diesel engine, electrical generator + control logic, electrical motor.

-39-

** FIAT IVECO trolleybus not tested up to current date (july 1985); tests are foreseen by ; the values here reported are originated from a mathematical model of the vehicle's behavior.

*** Note that SISU WIIMA STROMBERG trolleybus has a diesel group only for emergency.

ELECTRIC TRACTION UNDER FULL POWER

- empty vehicle -

Tableau 4.

VEHICLES	AFTER 5 sec OF RUNNING		AFTER 10 sec OF RUNNING		AFTER 15 sec OF RUNNING	
	VELOCITY metres/sec	INSTANTANEOUS SPECIFIC POWER KW / ton	VELOCITY metres/sec	INSTANTANEOUS SPECIFIC POWER KW / ton	VELOCITY metres/sec	INSTANTANEOUS SPECIFIC POWER KW / ton
DAIMLER - BENZ - AEG	6.71	12.09	10.97	12.74	13.23	10.08
MAN - SIEMENS	6.30	12.39	11.16	10.20	13.24	9.23
VAN HOOL - ACEC	7.92	17.67	13.13	14.82	15.39	11.11
RENAULT - TCO	6.97	12.03	10.34	10.95	12.03	9.88
SISU - WIIMA - STRÖMBERG	8.64	16.72	13.46	15.02	(1)	(1)
MAURI - MARELLI	5.47	10.44	8.84	10.85	10.65	9.74
FIAT IVECO						
FIAT 2472 CGE CLASSICAL 18 mt TROLLEY-BUS	6.65	8.22	8.83	5.79	10.13	4.80

note : (1) data not measured

DIESEL TRACTION UNDER FULL POWER

- empty vehicle -

Tableau 5.

VEHICLES	AFTER 5 sec OF RUNNING		AFTER 10 sec OF RUNNING		AFTER 15 sec OF RUNNING	
	VELOCITY metres/sec	INSTANTANEOUS SPECIFIC POWER l/min.ton	VELOCITY metres/sec	INSTANTANEOUS SPECIFIC POWER l/min.ton	VELOCITY metres/sec	INSTANTANEOUS SPECIFIC POWER l/min.ton
DAIMLER - BENZ - AEG	5.82	0.0337	8.91	0.0371	11.13	0.0322
MAN - SIEMENS	5.94	0.0353	9.28	0.0373	11.52	0.0368
VAN HOOL - ACEC	5.12	(2)	7.51	(2)	9.10	(2)
RENAULT - TCO	5.49	0.0219	9.11	0.0285	11.84	0.0306
SISU - WIIMA - STRÖMBERG (1)	4.18	0.0197	5.98	0.0225	7.35	0.0231
MAURI - MARELLI	5.18	0.0317	8.27	0.0380	9.66	0.0385
FIAT IVECO						
MAURI 18P245 CLASSICAL 18 mt BUS	4.63	0.0330	8.87	0.0440	11.94	0.0439

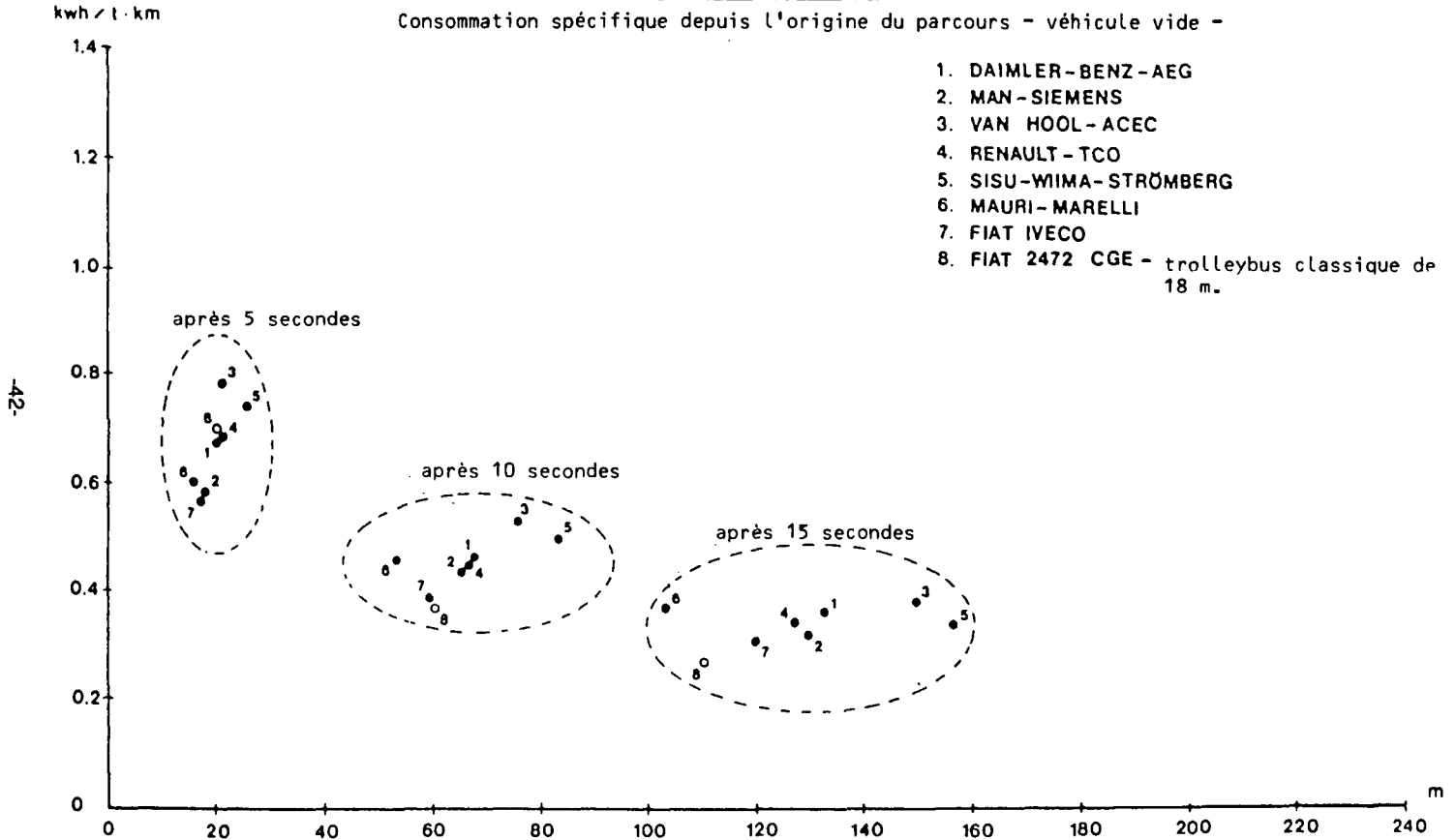
note : (1) vehicle equipped only with emergency diesel group

(2) data not measured

TRACTION ELECTRIQUE

Figure N° 6.

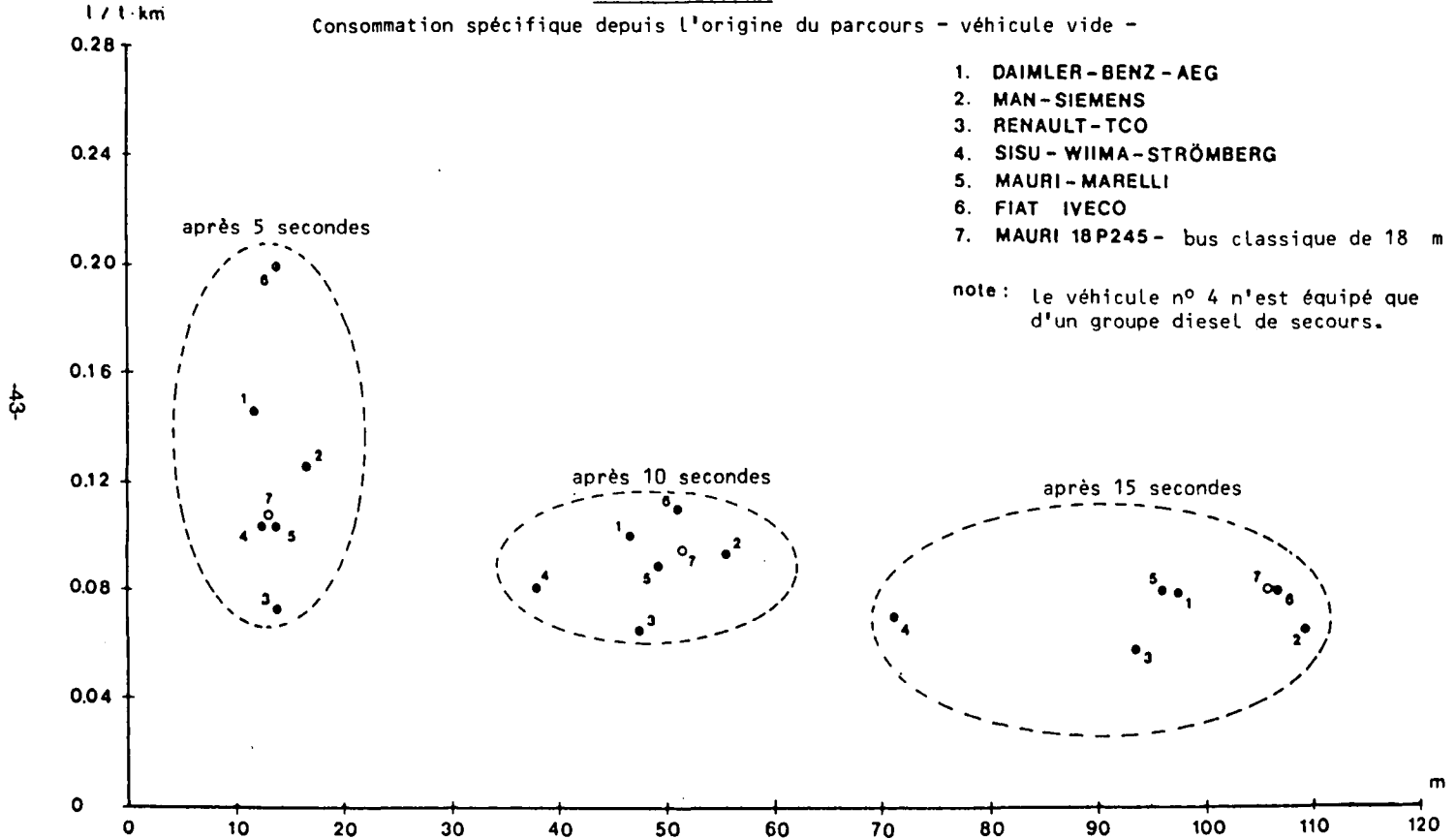
Consommation spécifique depuis l'origine du parcours - véhicule vide -



TRACTION DIESEL

Figure N° 7.

Consommation spécifique depuis l'origine du parcours - véhicule vide -



THEME 3 : FIABILITE ET MAINTENANCE

1. Définition et fiabilité du système

Il convient de rappeler qu'un trolleybus bi-mode est un véhicule routier de transport collectif de ligne pouvant utiliser alternativement deux sources d'énergie, dont l'une est l'électricité obtenue par captage sur une ligne aérienne présente sur une partie au moins du trajet desservi, et l'autre une énergie embarquée (carburant diesel ou accumulateur d'électricité).

On remarquera qu'on n'est pas étroitement lié à l'offre d'hydrocarbures, vu qu'on peut recourir à plusieurs types d'énergies primaires (hydraulique, charbon, pétrole, nucléaire, gaz naturel, etc) pour la production d'électricité, et que la fiabilité du véhicule face aux défaillances (de l'alimentation électrique ou de la ligne aérienne) est supérieure à celle des véhicules mono-modes, car la redondance est supérieure à l'unité.

2. Fiabilité et longévité du matériel roulant

On distingue des défaillances techniques qui imposent le retrait des voitures, occasionnant une perturbation de l'exploitation, et des défaillances qui sont sans incidence sur le service assuré.

Sur la base des cinq réponses au questionnaire "Exigences pour la fiabilité et la longévité d'un trolleybus bi-mode" adressé aux pays membres de l'action COST 303, on est parvenu à définir les valeurs de fiabilité requises suivantes:

- a) Nombre maximal de pannes provoquant
une perte de courses : 5 sur 100'000 km
- b) Nombre maximal de remises en état : 10 (20) sur 100'000 km
- c) Nombre maximal de déperchements : 10 sur 100'000 km

Ces exigences de fiabilité reposent en fait sur une conception des véhicules qui met l'accent sur une longévité appropriée des organes principaux des véhicules bi-mode. A cet égard, les réponses relatives aux exigences inhérentes à l'exploitation s'établissent comme suit:

- . Capacité totale du véhicule 110 et 160 places
- . Kilométrage annuel: - en captation 30'000 km) en tout
- en autonomie 20'000 km) 55'000 km
- . Rampe maximale 12 %
- . Intervalle maximal de maintenance 7'000 km
- . Interstation moyenne: - en captation 310 m
- en autonomie 450 m

Les exigences inhérentes à la technique des véhicules sont les suivantes:

- . Véhicules en général 15 - 20 ans
- . Châssis sans organes d'usure 15 - 20 ans
- . Transmission mécanique, sans revision 150 - 300'000 km
- . Appareillage électrique de puissance, sans revision 300 - 600'000 km

Ces critères exigeants reposent sur le postulat que les trolleybus bi-mode doivent procurer aux exploitants une utilité plus grande que les véhicules mono-mode. On peut fondamentalement atteindre un tel objectif par une conception robuste des véhicules - laquelle est forcément limitée par la nécessité de standardiser la production des véhicules de transport en commun - et par des politiques de maintenance adéquates.

3. Gestion physique des autobus et trolleybus

La politique de maintenance est intéressante à deux titres dans la perspective de l'engagement de trolleybus bi-mode : d'une part, elle permet de situer les coûts de maintenance des autobus et trolleybus et, d'autre part, d'émettre des considérations applicables à la maintenance des trolleybus bi-mode

Une politique de maintenance préventive s'efforce de connaître le moment d'intervention optimal sur un organe donné, afin d'en éviter la défaillance et, par là-même, le remplacement d'un véhicule en service commercial. Mais, en réalité, il n'est pas possible d'étendre cette politique à tous les organes faute de pouvoir remodeler l'ensemble de l'activité des ateliers en fonction de cette exigence. En pratique, on ne procède pas pour autant à une maintenance purement curative. Pour les trolleybus, on distingue des contrôles journaliers, hebdomadaires et mensuels motivés par des considérations de sécurité et des interventions à moyen et long terme qui sont fonction du kilométrage effectué.

Si l'on se penche sur une rétrospective des charges de maintenance de deux parcs de véhicules comprenant respectivement 58 trolleybus et 44 autobus standard, d'une part, et 41 trolleybus et 33 autobus articulés, d'autre part, on parvient aux constatations suivantes:

- pour des véhicules standard montrant des kilométrages annuels inférieurs ou égaux à 40'000 km, les charges de maintenance sont 15% plus faibles pour un trolleybus que pour un autobus, tandis que les coûts de maintenance aux 100 km sont plus élevés pour les trolleybus que les autobus.
- pour des véhicules articulés, qui assurent des parcours annuels supérieurs ou égaux à 40'000 km, les charges de maintenance annuelles sont en général 8-12% moindres pour les trolleybus, alors que les coûts de maintenance aux 100 km sont de 20% inférieurs à ceux des autobus.

Ces relations semblent avoir une valeur prédictive suffisante, au moins au niveau des entreprises considérées. Sur six séries de véhicules articulés, on observe quatre séries aux coûts de maintenance spécifiques croissants et deux séries aux coûts de maintenance décroissants. Toutefois, il faut rappeler que seule une expérience suffisamment longue sur des véhicules en exploitation permet de fonder de telles relations. A l'heure actuelle, l'expérience avec la plupart des trolleybus bi-mode est encore trop brève pour en dégager une tendance. Il est certainement préférable de partir des véhicules existants: trolleybus et autobus.

4. Essai de prévision des coûts de maintenance pour des trolleybus bi-mode articulés

Pour cette prévision, nous avons admis que les trolleybus bi-mode étaient exploités et entretenus selon les pratiques en vigueur dans une entreprise qui dispose de trolleybus et d'autobus articulés. En dépit des innovations qu'il incorpore, le véhicule bi-mode ne doit pas entraîner de bouleversements dans les habitudes de maintenance. Les exigences de fiabilité et de longévité émises à l'égard de la conception du trolleybus bi-mode doivent certainement y contribuer. Le fait de disposer de deux chaînes de traction ne va certainement pas conduire à un doublement des coûts de maintenance en fonction du kilométrage, car les deux chaînes de traction sont utilisées alternativement, et non conjointement. Une inconnue subsiste cependant en raison de la plus grande complexité des systèmes d'auxiliaires.

Afin d'établir cette projection, on a émis l'hypothèse que le comportement des organes principaux pouvait relever de deux principes opposés:

- en fonction du principe d'utilisation, où tous les organes spécifiques à un mode de traction se comportent en fonction de leur taux d'utilisation, tandis que les organes communs ont une allure variant de cas en cas, (voir le tableau ci-après)

Tableau 6 : Comportement des organes principaux des bimodes en matière de coûts de maintenance

Genres de frais de maintenance	a) Principe d'utilisation	b) Principe du mode déterminant
0. Menus travaux et service	comme le trolleybus	comme l'autobus
1. Moteur de traction	en fonction des prestations respectives	moteur él.: f. des prestations él. moteur diesel en base annuelle 1)
2. Châssis	en fonction des prestations respectives	comme l'autobus
3. Transmission	partie électrique: en base annuelle; partie thermique: en fonction des prestations	partie électrique: en base annuelle; partie thermique: en base annuelle
4. Equipement de traction électrique	comme le trolleybus	comme le trolleybus
5. Tension de bord	comme le trolleybus	comme l'autobus
6. Carrosserie	en fonction des prestations respectives	comme l'autobus
7. Equipement à air comprimé	en fonction des prestations respectives	comme l'autobus
8. Nettoyage	pas retenu ici	pas retenu ici
9. Peinture extérieure	en fonction des prestations respectives	comme l'autobus

1) Pour le moteur Diesel, il convient de retenir sa disponibilité et pas seulement le kilométrage effectué en charge. A défaut de connaître la durée de son utilisation, on prendra les frais de maintenance annuels de cet organe.

- ou en fonction du principe du mode déterminant, où les organes spécifiques à un mode de traction se comportent comme ceux du véhicule dont ils procèdent, tandis que les organes communs ont l'allure du mode encourageant les plus grandes sollicitations.

En partant des neuf centres de charges (service et menus travaux, moteurs de traction, châssis, transmission, équipement électrique de traction, tension de bord, carrosserie, équipement à air comprimé, peinture), on est parvenu sur la base d'une série chacune de trolleybus et d'autobus de même âge, relevant d'une même exploitation suisse, à dégager les deux fonctions suivantes, pour la période de 1977 à 1992:

. selon le principe d'utilisation: $Y1 = 58.18 + 0.190x$

. selon le principe du mode déterminant: $Y2 = 90.73 - 1.140x$

où x représente les années de service et où les valeurs sont en ECU aux conditions du 1.1.1983.

Dans le premier cas, on obtient des coûts de maintenance supérieurs à ceux des trolleybus classiques. Dans le second cas, on obtient des coûts de maintenance de tendance décroissante et initialement supérieurs à ceux des autobus classiques.

A terme, après 9 ans de service, les deux droites d'ajustement se rapprochent et situent nettement les coûts de maintenance du trolleybus bi-mode au-dessous de ceux de l'autobus, mais au-dessus de ceux du trolleybus classique.

THEME 4 : SECURITE ET ASPECTS NORMATIFS

Le trolleybus bi-mode constitue une réponse adéquate face au besoin exprimé d'un véhicule d'usage général dans le secteur du transport public urbain et suburbain, étant donné sa souplesse d'utilisation eu égard aux multiples exigences de l'exploitation et de l'environnement. Cette souplesse résulte d'une conception particulière du véhicule, caractérisée par la présence d'un système de propulsion électrique, d'un moteur thermique et/ou d'une batterie.

D'un point de vue technologique et opérationnel, le trolleybus bi-mode devrait être considéré soit comme un trolleybus, soit comme un autobus à moteur thermique (le cas échéant avec une transmission électrique ou hydrostatique non-conventionnelle) ou encore comme un véhicule mû par batteries.

L'aspect normatif doit par conséquent aborder les caractéristiques des véhicules sous l'angle des différentes modalités de l'offre et de la transformation de l'énergie aussi bien que sous celui de la diversité des systèmes dont ils sont équipés.

En premier lieu, il convient de noter qu'il n'existe pas de normes spécifiques pour les trolleybus bi-mode, absence qui est due au développement relativement récent de ce type de véhicule, encore en cours d'évolution.

Une étude a été entreprise afin de mettre en évidence les normes préexistantes relatives aux différents types de véhicules auxquels les trolleybus bi-mode peuvent être assimilés, suivant les différents modes d'utilisation et les différents systèmes embarqués, notamment le trolleybus, l'autobus et (le cas échéant) le véhicule électrique à batterie. Les normes spécifiques applicables aux trolleybus bi-mode devraient se fonder sur ces spécifications.

Les aspects pris en considération dans cette étude sont d'abord ceux qui relèvent de la sécurité, puis les caractéristiques qui ont trait à l'homologation et enfin les données liées à l'exploitation et à l'environnement.

Le point de vue de la sécurité est traité au niveau international dans les documents suivants:

. Pour les véhicules à batteries:

- Projet de norme ISO/DIS 6469 Rév. 1 "Spécifications pour les véhicules routiers électriques" concernant les éléments suivants:

Protection contre les contacts directs et indirects, performances routières (vitesse aximale, aptitude maximale en rampe, caractéristiques de décélération, puissance définie, consommation énergétique).

- Documents normatifs C.E.I.

Publication 783 - Câblage et connecteurs des véhicules électriques routiers

Publication 784 - Instrumentation des véhicules électriques routiers

Publication 785 - Machines tournantes des véhicules électriques routiers

Publication 786 - Dispositifs de commande des véhicules électriques routiers

. Pour les trolleybus:

- Diverses normes C.E.I. concernant l'équipement électrique et électronique de traction, les degrés de protection procurés par l'enveloppe des composants électriques, les tests des systèmes de freinage électrodynamiques et électromagnétiques.

. Pour les véhicules dotés d'un moteur à combustion interne:

- Le document U.I.T.P. (Union internationale des transports publics) concernant les "recommandations en vue de la standardisation des autobus"
- E.C.E./Genève - le règlement 36 qui a pour but de procurer des directives uniformes pour les véhicules de transport public.

Les caractéristiques des véhicules indispensables à l'homologation et à la réception par type constituent un autre élément fondamental. Celles-ci sont contenues dans les directives et règlements internationaux applicables aux véhicules à moteur ci-après:

- C.E.E./Bruxelles - directives 70/156 et 78/547 concernant la procédure d'homologation par type
- E.C.E./Genève - règlement no 36 concernant les caractéristiques des autobus à prendre en considération pour la réception par type des autobus, en particulier les dimensions, le poids, la puissance et faisant référence aux Règlements Nationaux pour les valeurs admissibles
- C.E.E./Bruxelles - Directive 71/320 et directives complémentaires 75/524 et 79/489
- E.C.E./Genève - Règlement no 13 concernant la procédure d'homologation des systèmes de freinage.

Sur la base de ces documents et des caractéristiques des divers véhicules bi-modes européens relevant de l'action COST 303, une vérification de la conformité aux règlements en vigueur dans les différents pays a été entreprise pour chaque véhicule.

L'évaluation a mis en lumière les différences entre les normes de chacun des pays, spécialement en ce qui concerne les poids totaux et les charges par essieux autorisés.

Pour les véhicules bi-mode, en raison des vitesses modérées atteintes en tant que véhicules urbains ou suburbains, si l'on tient par ailleurs compte du fait que la double motorisation affecte le poids à vide et, par conséquent, la charge utile, il serait judicieux d'admettre des charges par essieu plus élevées, sans toutefois modifier le paramètre représentant la force exercée par le véhicule sur la route, en particulier le poids spécifique par pneu, fixé à 8 kg/cm^2 dans tous les pays.

Les autres aspects à prendre en compte en matière de standardisation sont:

- La surlongueur des perches rabattues sur le toit et dépassant l'arrière du véhicule, lesquelles devraient être autorisées à dépasser la longueur du véhicule, pour les bus sur n'importe quelle route.

- La définition du rapport poids/puissance, singulièrement dans le cas où la propulsion est assurée par un moteur électrique alimenté par une génératrice indépendante.

On souhaite enfin que précédant la diffusion des trolleybus bi-mode, les organismes de normalisation et de réglementation puissent considérer, en collaboration avec les techniciens, les éléments nouveaux que ce type de véhicule présente avec la souplesse voulue, d'ailleurs sans omettre les aspects de la sécurité et de l'opportunité d'une base de référence commune aux différents pays.

THEME 5 : ALIMENTATION EN ENERGIE ELECTRIQUE

L'alimentation en énergie électrique des véhicules de transport en commun de type trolleybus s'effectue en courant continu à une tension généralement comprise entre 600 et 740 V. Exceptionnellement cette tension peut atteindre 1000 V.

Le système d'alimentation est essentiellement composé de trois éléments:

- Les sous-stations qui reçoivent l'énergie électrique en moyenne tension alternative (10 ou 20 kV), la transforment en tension continue et la répartissent dans les différents secteurs du réseau en fonction des besoins.
- Les feeders qui acheminent cette énergie électrique des sous-stations vers les lignes aériennes.
- La ligne aérienne installée au dessus de la chaussée, de laquelle les véhicules pourront capter l'énergie par l'intermédiaire du couple-perche-frotteur.

On trouve dans les différents réseaux européens exploitant des trolleybus, une très grande variété de matériel d'âge très variable. La grande longévité de ces matériels, impérative pour que puisse être correctement amorti le lourd investissement qu'ils nécessitent, explique une extrême diversité du matériel exploité en Europe à ce jour.

C'est pourquoi, avant de présenter un catalogue très partiel des matériels disponibles en Europe, le rapport final du thème 5 s'attache à montrer les spécificités fonctionnelles des divers équipements utilisés dans le domaine du trolleybus.

1. Les sous-stations

Technologie

La modernisation des réseaux tend à voir diminuer le nombre des équipements anciens. Pour les nouvelles implantations, les redresseurs statiques sont à présent systématiquement utilisés.

Le bloc redresseur est le plus généralement constitué d'un montage en pont de Graetz, utilisant des diodes au silicium protégées par des fusibles à haut pouvoir de coupure. Certaines réalisations (Nancy) utilisent des ponts à thyristors permettant de moduler l'énergie délivrée en fonction de la charge appelée sur la section de ligne alimentée par la sous-station.

Implantation

L'implantation géographique des sous-stations se fait généralement au plus près de la ligne aérienne pour éviter de devoir dérouler de trop grandes longueurs de feeder.

Les sous-stations peuvent être installées:

- dans des bâtiments isolés
- sur le trottoir, sous forme de stations compactes
- enterrées ou immergées dans un caisson étanche
- dans des passages souterrains
- dans les dépôts, etc....

Dimensionnement

Les normes de dimensionnement sont essentiellement au nombre de deux:

- Tension de sortie redresseur

La plupart des sous-stations actuellement en service délivrent à la ligne aérienne une tension de 600 V. Néanmoins pour les installations nouvelles, la Commission Electrotechnique Internationale prescrit l'utilisation d'un sous-multiple de 3000 V.

Pour les métros c'est le 1500 V qui est utilisé. En voirie urbaine, les normes de sécurité imposent de retenir la valeur de 750 V.

- Surcharges momentanées

La Commission Electrotechnique Internationale impose que la sous-station puisse délivrer:

- + 1,5 X In pendant 2 heures
- + 3 X In pendant 1 minute.

L'implantation géographique par rapport à la ligne aérienne et le choix des puissances unitaires des sous-stations relèvent de calculs d'optimisation. La fiabilité du matériel moderne, l'automatisation et la surveillance centralisée permettent aujourd'hui de disposer de nombreuses sous-stations de faible puissance et de faible encombrement au pied des lignes aériennes, au contraire des solutions anciennes qui comportaient le plus souvent un nombre limité de sous-stations de forte puissance situées au centre du réseau, donc le plus fréquemment en centre ville.

2. La ligne aérienne

Sous le terme générique de ligne aérienne sont compris tous les matériels de suspension, les appareils de voie (aiguillage et croisement) et le fil de contact. Si les caractéristiques du fil de contact en cuivre évoluent peu, de nombreuses améliorations ont été apportées ces dernières années aux dispositifs de suspension. Les objectifs recherchés sont essentiellement l'allègement du matériel obtenu grâce à l'utilisation de fibres synthétiques. Cette nouvelle technologie présente par ailleurs le double avantage d'un coût moindre et d'une simplification des techniques de pose.

Le rapport final présente les principales réalisations effectuées dans ce domaine.

3. Les poteaux

Les poteaux constituent un élément essentiel dans le coût de la ligne aérienne. Leur définition résulte donc d'un compromis entre leur prix, leurs qualités mécaniques et leur esthétique.

Les principales caractéristiques dimensionnelles exigées sont les suivantes:

- Effort applicable dans toutes les directions, ce qui exige un poteau cylindrique ou polygonal présentant un minimum de 8 côtés (généralement 12)!
- Hauteur hors sol comprise entre 7 et 11 mètres
- Effort en tête compris entre 300 da N et 2 500 da N avec un coefficient de sécurité de 1,8 à 2,25 de la limite élastique (suivant les pays).
- Diamètre d'embase minimum
- Conicité inférieure à 3%.

4. Le captage du courant

L'un des développements les plus intéressants de ces dernières années concerne l'emperchage automatique qui s'avère être un composant indispensable pour l'exploitation des trolleybus bi-mode. En effet, l'utilisation de la bi-modalité multiplie le nombre des opérations d'emperchage et de déperchage au point qu'il devient impossible de continuer à les assurer manuellement.

Il existe deux grandes familles d'emperchage automatique, de complexité différente:

- Les systèmes utilisant des "entonnoirs" liés aux fils de contact qui guident les têtes de perche en fin de course pour les positionner sur les fils.

Une fois le véhicule positionné sous les entonnoirs, ces perches qui utilisent des embases classiques à ressort sont ac-

tionnées verticalement jusqu'à amener les têtes de perche au contact des "entonnoirs". Les perches sont alors libérées et la forme des "entonnoirs" amène les têtes de perche en position sur le fil de contact. Ces dispositifs imposent que les emperchages se fassent en des points déterminés de la ligne, là où se trouvent les "entonnoirs". En revanche le déperchage peut s'effectuer en tout point de la ligne.

- Les systèmes autonomes qui fonctionnent sans les guides fixes que sont les "entonnoirs".

Après un prépositionnement des perches à proximité des fils, la phase finale de l'emperchage s'effectue grâce à des palpeurs solidaires de la tête de perche qui viennent prendre appui sur les fils.

Ces dispositifs plus sophistiqués permettent d'empercher en tout point de la ligne et permettent donc une plus grande souplesse d'exploitation.

Des études sont également menées pour permettre d'assurer l'emperchage alors que le véhicule est en vitesse. Cette catégorie d'emperchage automatique permettrait d'éviter les inévitables temps morts à l'emperchage dans le cas d'une ligne très fractionnée et permettrait également le dépassement d'un trolleybus par un autre trolleybus en particulier sur les troncs communs.

5. Spécificité du trolleybus bi-mode

Par sa double chaîne de propulsion, le trolleybus bi-mode permet de repenser complètement la définition des lignes aériennes. Il devient en effet possible, sous réserve de disposer d'un dispositif d'emperchage automatique performant, d'implanter la ligne aérienne uniquement sur les tronçons où elle s'a-mortit le mieux (troncs communs, rampes) et de la supprimer là où elle est la plus pénalisante (centres villes historiques, passages d'ouvrages d'arts, extrémité de ligne en antenne ...).

Dans ce cas d'une exploitation véritablement bi-modale, il s'agit de repenser complètement le savoir faire en matière d'implantation des lignes aériennes pour aboutir très certainement à des configurations notablement moins onéreuses.

6. Conclusion

En examinant l'ensemble de la chaîne d'alimentation en énergie électrique, on est amené à énoncer quelques constats.

Les sous-stations profitent de l'évolution technologique des semi-conducteurs ce qui leur permet d'être plus compactes et de ne nécessiter qu'un minimum de maintenance.

A l'inverse, la ligne aérienne, malgré quelques nouveautés intéressantes, constitue un marché spécifique et assez restreint ce qui explique l'absence d'innovation d'envergure. Pour étendre ce marché, il serait bon que certains composants puissent être standardisés et utilisés dans d'autres domaines que le trolleybus bi-mode. Le principal marché directement comparable est celui du métro ou des lignes secondaires de chemin de fer. Des installations de type trolleybus ont été récemment montées sur une ligne de chemin de fer et les résultats en sont très concluants.

On constate à l'examen des catalogues des constructeurs, la multiplicité des matériels disponibles, ce phénomène étant amplifié par la sous-traitance locale qu'utilisent de nombreux réseaux pour faire réaliser des pièces spécifiques ou à moindre coût.

Le trolleybus bi-mode permet comme on l'a vu une simplification des spécifications fonctionnelles. Son développement devrait donc favoriser une mutation de la technologie dirigée vers une diminution des coûts d'acquisition (standardisation) et de maintenance (amélioration de la fiabilité).

Cet objectif ne peut passer qu'à travers la concertation des divers utilisateurs tant pour limiter les gammes de produit que pour planifier les commandes auprès des constructeurs.

Pour arriver à ce résultat, il faut repenser entièrement le problème et ne plus considérer le bi-mode comme un trolleybus doté d'une autonomie, plus ou moins largement utilisée, mais comme un système nouveau dont la ligne aérienne fait partie intégrante.

THEME 6 : ETUDE ECONOMIQUE

C. BODDEN, Ministère des Communications, Belgique
G. MAGGETTO, P. VAN DEN BOSSCHE, Vrije Universiteit Brussel

RESUME

La Belgique a effectué une comparaison économique, au niveau de la société exploitante, de plusieurs modes d'exploitation utilisant différents bi-mode.

Les véhicules simulés sont ceux qui ont été soumis à évaluation au cours de cette action européenne de recherche.

Pour chaque véhicule bi-mode évalué et pour les véhicules de référence, l'étude consiste en une répétition d'une simulation et de son bilan économique :

- pour trois types d'exploitation d'une ligne de référence correspondant chacun à un pourcentage différent d'autonomie en mode thermique;
- pour des durées de vie des véhicules fixées à 12 ans pour les autobus et à 15 et 20 ans pour les bi-mode;
- pour deux taux de croissance de trafic;
- pour les coûts énergétiques allemands, français et belges.

Ces choix conduisent à réaliser trente-six simulations (3x2x2x3) par véhicule bi-mode.

Dans chaque simulation, les comparaisons sont faites par rapport au bus standard pour les bimodes standards et au bus articulé pour les bi-mode articulés.

L'étude est complétée par une évaluation économique des exploitations en trolleybus standards et articulés.

La méthode de l'échéancier a été retenue pour chaque évaluation économique. Toutes les dépenses et recettes annuelles de la société exploitante sont comptabilisées à franc constant (franc de 1983), pour un terme égal à vingt-cinq ans. Le modèle comptabilise les principaux coûts d'exploitation tels que coût de conduite, coût de l'énergie, coût de la maintenance et coûts financiers, ces derniers comme fonction implicite de la méthode de l'échéancier.

Les résultats financiers annuels sont globalisés ou additionnés pour les 25 ans en tenant compte d'une actualisation. En outre, il est tenu compte des valeurs résiduelles des véhicules au terme des 25 ans. Chaque simulation est complétée par une étude de sensibilité au facteur d'actualisation compte tenu de la diversité des taux d'intérêt et d'inflation d'un pays à l'autre.

Pour l'ensemble des véhicules apparaissant dans cette étude économique, on a mesuré les consommations d'énergie en palier pour divers régimes d'accélération, pour diverses vitesses constantes comprises entre zéro et la vitesse maximum des véhicules et enfin pour l'arrêt. Ces mesures ont été introduites dans un modèle mathématique décrivant le mouvement des véhicules afin de déterminer les temps de parcours et les consommations d'énergie, pour les trois types d'exploitation de la ligne de référence retenus, dont la connaissance est nécessaire pour l'évaluation économique.

Pour cette connaissance les courbes vitesse-temps ont été relevées lors de 74 parcours de la ligne S.T.I.L.

LA METHODOLOGIE

La méthode appliquée consiste en une comptabilisation de toutes les dépenses et recettes annuelles de la société exploitante. Le terme est pris égal à 25 ans; il est suffisant pour tenir compte des durées de vie plus longues des véhicules électriques.

L'étude est effectuée à francs 1983, le bilan des recettes et dépenses est répété pour les 25 ans dont l'année n° 1 coïncide avec les nouvelles mises en service envisagées.

Une simulation se termine par les bilans annuels, représentés en tableaux, et les études de sensibilité qui les suivent. Nous obtenons ainsi les tableaux suivants :

a) Un tableau des bilans annuels non actualisés :

- des dépenses d'investissements relatives aux bus et relatives aux bimodes (installations fixes et matériel roulant);
- des coûts d'exploitation relatifs aux bus et relatifs aux bimodes (installations fixes et matériel roulant);
- des coûts totaux pour les deux types d'exploitation ainsi que de leurs différences (suppléments de coûts du bi-mode par rapport au bus);
- des recettes tenant compte des hypothèses de trafic; celles-ci peuvent être différentes ou non de l'hypothèse de trafic choisie pour les bus de référence;
- du bilan total, c.a.d. des différences entre les différences de recette et les différences de coût.

b) Un tableau des bilans annuels actualisés.

c) Un bilan global où les résultats annuels sont additionnés et où les valeurs résiduelles sont comptées négativement au terme des 25 ans. Une simulation permet par exemple de voir le supplément bimode sur le terme de 25 ans. Tenant compte des hypothèses de trafic et de leur évolution, on obtient également le bilan global, c.à.d. la différence entre la différence de recette par rapport à l'autobus et la différence de coût par rapport à l'autobus. Deux hypothèses de trafic sont retenues, soit le statu quo pour l'autobus et le bi-mode, soit le statu quo pour l'autobus et une augmentation de 5 % pendant 5 ans pour le bimode. C'est cette dernière hypothèse qui est retenue pour les résultats.

d) Deux études de sensibilité sont effectuées :

- sensibilité au coût d'investissement des infrastructures aériennes et des sous-stations dans cinq hypothèses (-30 %, - 15 %, 0 %, + 15 %, + 30 %);
- sensibilité au taux d'actualisation en considérant une variation de respectivement + 2 %, + 1 %, 0 %, - 1 %, - 2 % par rapport au taux de référence proposé de 3,5 %.

STRUCTURE D'UNE SIMULATION

Le schéma de la figure 8 permet de comprendre le fonctionnement du modèle.

Les paramètres d'entrée sont injectés sous forme :

- de matrices ou vecteurs, c.à.d. de coefficients,
- de fonctions.

Pour chaque simulation, il est possible de faire varier :

- le taux d'actualisation de base,
- les fonctions d'entretien du bus et du bimode en fonction de leur âge respectif;
- les coûts et les fonctions de croissance des coûts énergétiques (diesel et électricité);
- les coûts et les fonctions d'évolution du coût de conduite (pris égal à + 0,5 % par an à franc constant);
- les données véhicules (coût d'acquisition, durée de vie, coût et durée de vie pour les éventuelles batteries de traction, temps d'emperchement et de déperchement, capacité en nombre de places offertes, etc ...).

Le modèle V.U.B., c.à.d. la simulation par modèle mathématique des véhicules en mouvement, fournit le reste des coefficients de la matrice de transfert : il permet de choisir le mode d'exploitation et il donne les temps de parcours et les consommations d'énergie pour les trajets de référence pour tous les véhicules.

LA LIGNE DE REFERENCE

Le choix s'est porté sur l'axe diamétral formé par les lignes 10 et 12 à Liège. Anciennement exploitée en trolleybus, cette ligne possède un tracé varié avec des caractéristiques intéressantes pour la simulation envisagée : tracé urbain chargé, éclatement en plusieurs antennes périphériques, déclivités importantes, etc ...

La ligne est divisée en 16 tronçons pouvant être électrifiés ou non. Cinq modes d'exploitation ont été retenus. Dans le mode d'exploitation n° 1 seules les antennes sont parcourues en autonomie. Dans le mode n° 2 les têtes de ligne sont parcourues perches baissées, tandis que dans le mode n° 3 ce sont les tronçons "centre ville" qui sont parcourues de cette manière. Enfin les modes n° 4 et n° 5 font appel à l'exploitation monomode, respectivement en trolleybus et en autobus.

Choix externes

- Coefficient d'actualisation : TAUX
- La fonction d'entretien du bus : G0, G00
- La fonction d'entretien du véhicule
- L'hyp. de crois. du coût de l'électricité F1
- L'hypot. de crois. du coût du gasoil (F2(hyp. faible) / F3(hyp. forte))
- La fonction d'évolution du coût de la main d'oeuvre "conduite"
- Les fonctions "croissances de trafic" (CROIST --véhicule / CROISB --bus)

Figure 8 : Structure d'une simulation

