

3301

Possibilités d'utilisation du trolleybus en tant que moyen de transport public urbain

József DACZÓ,

Vezérigazgató, Budapesti Közlekedési Vállalat (BKV), Budapest (Hongrie), et

Hans TEUFL,

Ing., Direktor, Salzburger Stadtwerke-Verkehrsbetriebe, Salzburg (Autriche).

1 Généralités

Lors de la 40^e réunion de la Commission internationale pour l'étude des autobus de l'UITP, les 3 et 4 septembre 1981 à Stockholm, il a été convenu qu'un article relatif au trolleybus paraîtrait dans la Revue de l'UITP. En raison de l'intérêt que suscitera sans doute ce sujet lors du prochain Congrès de l'UITP en 1983 à Rio de Janeiro (Brésil), les auteurs ont choisi de le rédiger avant ce congrès.

Une étude sur le trolleybus doit, avant tout, traiter des caractéristiques propres à ce mode de transport. Pour cette raison ne seront pas abordés les domaines où les problèmes sont les mêmes que pour l'autobus. On devrait même exiger des constructeurs non seulement le même aspect extérieur pour les trolleybus et autobus, mais aussi l'emploi du plus grand nombre possible de pièces identiques telles que la direction, les essieux avant et autres non motorisés, le tableau de bord, l'équipement intérieur etc... On pourrait ainsi atténuer l'image qui colle au trolleybus, d'un véhicule spécial au prix élevé.

Avant d'entrer davantage dans les détails, qu'il nous soit permis de rappeler en bref l'histoire du trolleybus et nos recherches sur le sujet.

On peut considérer que l'ancêtre des actuels trolleybus est l'« Elektromote » présenté à Berlin en 1882 par Siemens. Il fallut attendre 1930 pour que ce véhicule devienne un moyen de transport utilisable. A l'époque on connaissait déjà les avantages liés à l'emploi du courant électrique, que l'on produisait souvent soi-même. Après la destruction de nombreuses installations pendant la dernière guerre mondiale, on a assisté à une régression du nombre de villes exploitant des trolleybus. En outre, l'opinion se répandit de réserves pétrolières apparemment illimitées et à des prix relativement faibles.

Depuis, justement, des bouleversements se sont produits dans ce secteur qui font que tant dans les pays de l'Est que dans les pays occidentaux industrialisés ainsi qu'en Amérique du Sud ou en Afrique du Sud, le trolleybus trouve un regain d'intérêt.

En outre, l'absence d'agressivité pour l'environnement a joué un grand rôle en faveur du trolleybus dans

le monde entier. C'est pour cette raison que les auteurs ont entrepris la recherche exposée ci-après afin de donner à toutes les personnes intéressées la possibilité de s'informer.

2 Considérations de technique d'exploitation et de circulation

2.1 Domaine d'emploi

Les domaines d'emploi des différents moyens de transport appliqués aux transports publics à courte distance se répartissent essentiellement en fonction de leurs capacités de transport. De ce point de vue, il n'y a pratiquement pas de différence entre trolleybus et autobus. En l'absence de conditions économiques défavorables, le trolleybus peut remplacer l'autobus dans les cas suivants :

- dans les zones résidentielles et de loisirs à forte densité de population, où la protection de l'environnement a priorité;
- dans les zones où existait déjà un service d'autobus tel que le tracé des lignes peut être considéré comme étant stabilisé;
- sur les parcours où les véhicules se succèdent de façon très rapprochée;
- dans les contrées au relief accidenté;
- sur les parcours où la ligne aérienne de contact peut être réalisée simplement.

2.2 Précautions à prendre lors de l'établissement d'un projet

Le projet d'une ligne de trolleybus nécessite une préparation plus approfondie que celui d'une ligne d'autobus.

Les critères ci-après sont à prendre en considération :

- pas de modifications prévisibles de l'infrastructure pendant un temps relativement long;
- possibilités de correspondance avec d'autres modes de transport : tramway, métro, etc...;



Fig. 1 : Trolleybus en milieu urbain. (SVB, Salzbourg, Autriche).

Fig. 1 : Trolleybuses in urban site. (SVB, Salzburg, Austria).

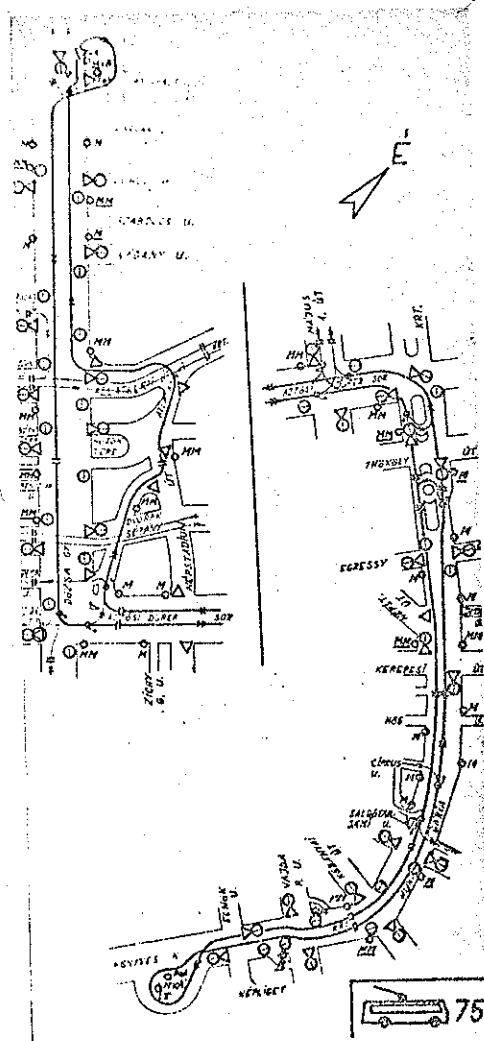
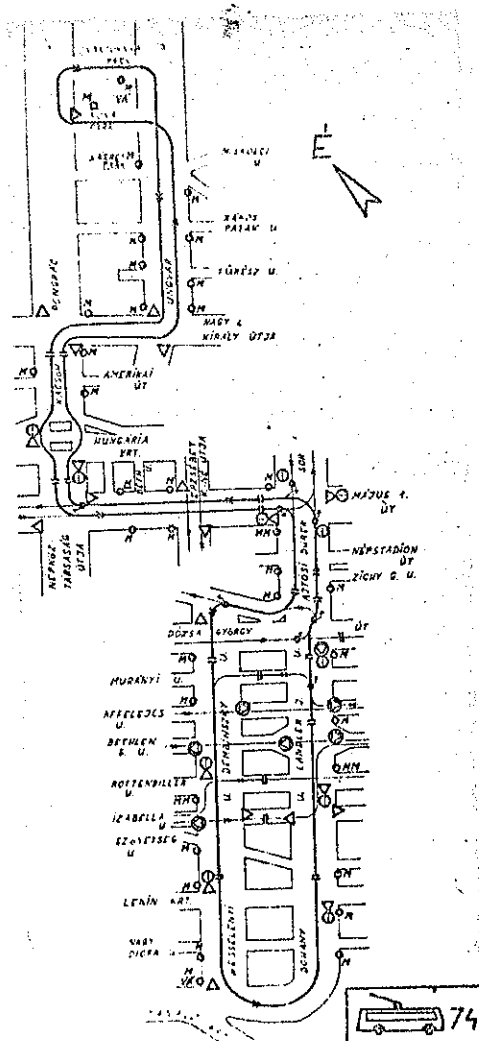
Bild 1 : Trolleybusse im Stadtverkehr. (SVB, Salzburg, Österreich).



Fig. 4 : Le renouveau du trolleybus se dessine en Italie également. Le véhicule représenté ici, de construction « sandwich », en service sur la ligne Rimini-Riccione, dessert des cités balnéaires sur le littoral adriatique. (ATAM, Rimini, Italie).

Fig. 4 : In Italy also, a trolleybus renaissance can be observed. The vehicle shown in the figure is of « sandwich » construction and operates on the Rimini-Riccione line, serving balnear localities on the Adriatic coast. (ATAM, Rimini, Italy).

Bild 4 : Auch in Italien zeichnet sich die Obus-Renaissance ab. Das abgebildete Fahrzeug in « Sandwich »-Bauweise bedient auf der Linie Rimini-Riccione Badeorte an der Adriaküste. (ATAM, Rimini, Italien).



Figs. 2 et 3 : Tracé schématique de deux lignes de trolleybus à Budapest.

Figs. 2 and 3 : Diagram of two trolleybus routes in Budapest.

Bilder 2 und 3 : Schematische Skizze von zwei Trolleybustlinien in Budapest.

E = N.

- orientation uniforme du trafic routier;
- possibilités de commander les feux de signalisation lumineux;
- possibilités d'extension ultérieure de la ligne aérienne.

2.3 Sécurité de la ligne aérienne de contact

On sait que les véhicules à traction électrique sont plus fiables que les véhicules à moteur à combustion. Par contre en traction électrique on ne doit pas considérer uniquement le véhicule, mais également la ligne de contact et l'alimentation en énergie qui jouent un rôle tout aussi important. Pour obtenir une exploitation non perturbée du réseau de trolleybus, une importance particulière doit être attachée à une réalisation soignée de la ligne aérienne de contact.

Dans le cas d'installations d'alimentation sélectives, la possibilité doit être laissée d'assurer la continuité de la ligne au droit des sectionnements. L'exploitation peut ainsi être maintenue, même en cas de défaillance d'un poste d'alimentation.

Pour l'entretien de la ligne aérienne de contact et des installations d'alimentation en énergie, des charges de personnel sont à prévoir qui, bien sûr, n'ont pas d'équivalent sur un réseau d'autobus.

2.4 Exploitation en combinaison avec d'autres modes de transport

Dans la plupart des grandes villes, les développements techniques font que plusieurs modes de transport sont exploités en combinaison.

Au dernier Congrès de l'UITP il a nettement été dit que les différents modes de transport ne doivent pas se concurrencer mais doivent se compléter dans l'intérêt des voyageurs.

Cette condition est remplie au mieux lorsqu'un partage des tâches s'effectue en fonction de la demande de transport et, partant, des débits nécessaires. Il faut en outre tenir compte des données techniques et économiques.

Pour le trolleybus celles-ci sont mentionnées au point 2.1. On peut encore avoir d'autres domaines d'exploitation combinée :

- lignes rapides ou express empruntant le même parcours que les lignes normales;
- les lignes rapides ou express sont particulièrement bien adaptées à la desserte aux heures de pointe.

Dans le cas du trolleybus, une ligne aérienne de contact parallèle doit être installée pour la ligne express.

En cas d'exploitation sur le même parcours qu'une ligne de tramway, celui-ci peut assurer un service express plus rapide car il est moins affecté par la circulation routière et les distances entre arrêts sont supérieures. Dans de tels cas on pourrait même, dans certaines circonstances, ne pas faire circuler les tramways avec remorques aux heures creuses. On obtiendrait ainsi une exploitation plus économique sans inconvénients pour les voyageurs.

3 Caractéristiques techniques

Ainsi qu'il a été dit au début, le trolleybus devrait, au moins dans son aspect extérieur, se distinguer le moins possible de l'autobus sinon par les nécessaires équipements de toiture. Dans ce qui suit on se limitera donc à traiter des différents équipements de traction et de commande installés dans les trolleybus.

3.1 Equipements de traction

3.1.1 Moteur à courant continu avec dispositif de commande électro-mécanique

A l'heure actuelle, ce type de moteur est le mode de propulsion le plus largement répandu. Le démarrage et le freinage se font à l'aide de résistances mises en circuit ou éliminées au moyen d'un équipement classique à contacteurs. On peut utiliser des moteurs compound de diverses puissances. L'augmentation de vitesse est obtenue par shuntage des inducteurs. En augmentant le nombre de crans on peut affiner le réglage de la vitesse et le courant absorbé (le couple).

Le groupe de contacteurs peut être constitué de contacteurs individuels électromagnétiques ou électropneumatiques. Dans ce dernier cas des précautions contre le gel doivent être prises (pompe non givrable ou assécheurs d'air sur tout le circuit pneumatique).

La commande des contacteurs a lieu par l'intermédiaire d'un commutateur principal actionné par le conducteur. Sur ce commutateur des cames actionnent des microcontacts à rouleaux qui à leur tour commutent la tension de commande (12 ou 24 V).

Les résistances de démarrage et de freinage peuvent être montées sous la caisse, en toiture ou à l'intérieur, servant alors au chauffage du véhicule. Les problèmes de chauffage méritent d'ailleurs une attention particulière.

Un double isolement par rapport à la masse devra être prévu pour tous les appareils. L'isolement de tous les câbles et équipements reliés à la ligne de contact doit supporter à l'essai une tension de 3 kV (pour une tension de service de 600 V).

Le type d'équipement décrit ci-dessus, s'est, au cours des années de pratique, avéré excellent.

Les frais de main-d'œuvre pour l'entretien courant, en particulier pour le groupe de contacteurs, ne doivent cependant pas être sous-estimés. A ce sujet il faut dire que ces travaux n'exigent pas un personnel de très haute qualification et que la recherche de pannes est relativement simple.

Récemment la réflexion dominante s'est orientée vers les économies d'énergie. En utilisant des résistances, on a toutefois des pertes pouvant atteindre 25 % de l'énergie absorbée.

3.1.2 Moteur à courant continu avec dispositif de commande électronique

Dans le principe il s'agit du même type de propulsion. Le conducteur ici n'a plus de prise directe sur la détermination du courant absorbé, indépendamment de la vitesse. Un régulateur électronique de traction-freinage assure ici le « dosage » exact. L'électronique règle le couple de démarrage, assure la progression adéquate des crans et le réglage de la décélération constante.

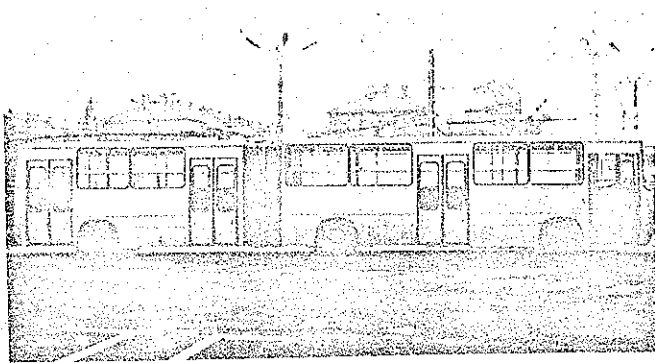


Fig. 5 : Prototype de trolleybus articulé de construction hongroise.
(Budapest, Hongrie).

Fig. 5 : Prototype of an articulated trolleybus of Hungarian make.
(Budapest, Hungary).

Bild 5 : Prototyp des Gelenktrolleybusses
eines ungarischen Herstellers.
(Budapest, Ungarn).

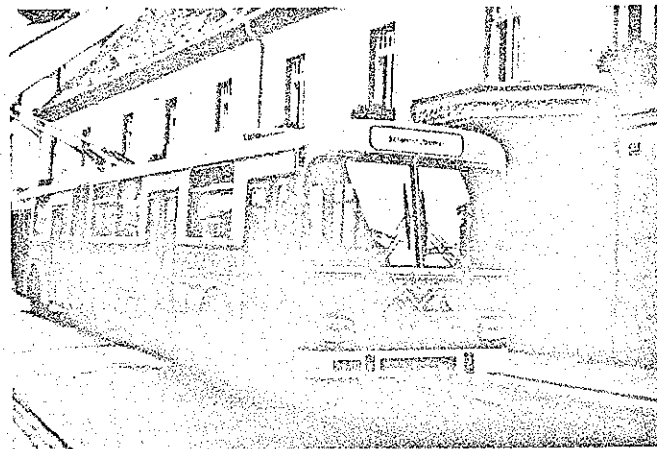
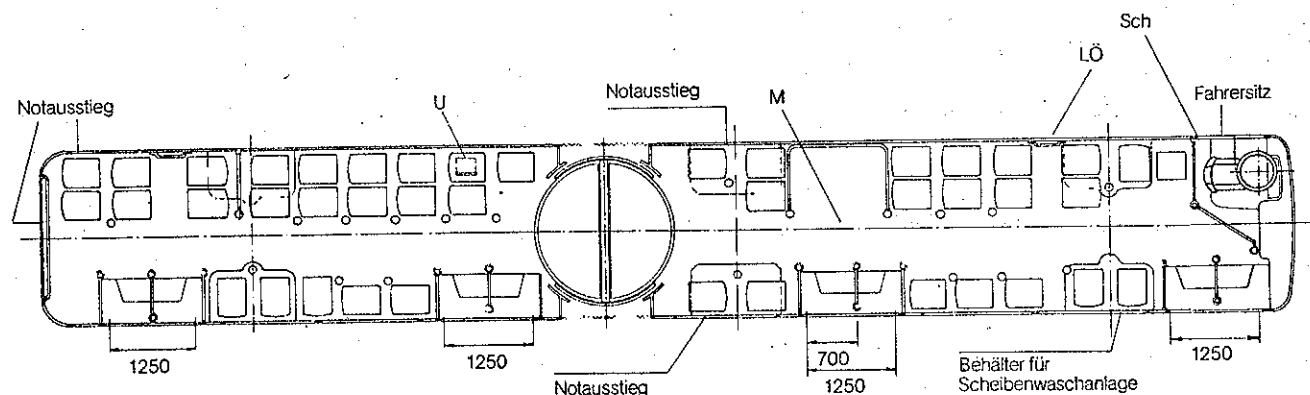
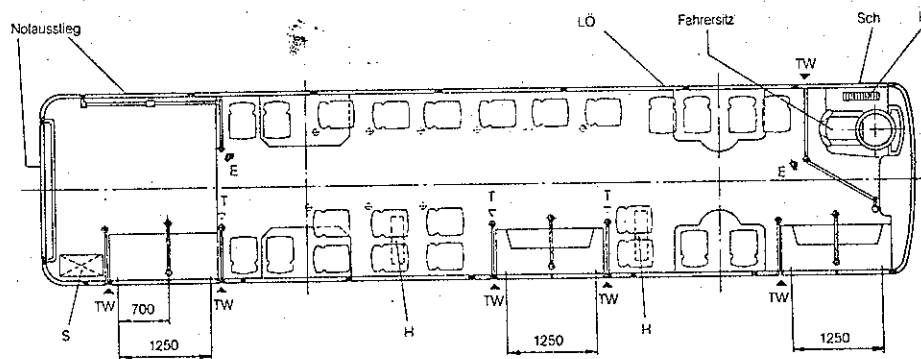


Fig. 6 : Trolleybus articulé de construction autrichienne,
en service sur les réseaux urbains et régionaux de ce pays.
(MVG, Kapfenberg, Autriche).

Fig. 6 : Articulated trolleybus of Austrian make
in service in urban and regional networks.
(MVG, Kapfenberg, Austria).

Bild 6 : Gelenkibus eines österreichischen Herstellers
für Stadt- und Regionalverkehrsbetriebe dieses Landes.
(MVG, Kapfenberg, Österreich).



Figs. 7 et 8 : Aménagement intérieur des trolleybus simples (longueur 11,5 m) et articulés (longueur 16,5 m) modernes
du réseau de Salzbourg. (SVB, Salzbourg, Autriche).

Figs. 7 and 8 : Interior arrangement of the most recent simple (length 11,5 m) and articulated (length 16,5 m) trolleybuses
operated in Salzbourg. (SVB, Salzbourg, Austria).

Bilder 7 und 8 : Inneneinrichtung der modernsten Solo- (Länge 11,5 m) und Gelenk- (Länge 16,5 m) Trolleybusse
der Verkehrsbetriebe Salzbourg. (SVB, Salzbourg, Österreich).

Behälter für Scheibenwaschanlage = Réservoir du lave-glaces = Tank for windscreen washing system.
Fahrersitz = Siège du conducteur = Driver's seat.
Notsausstieg = Issue de secours = Emergency exit.
E = Oblitérateur = Ticket cancelling machine = Entwerter.
H = Chauffage = Heater = Heizkörper.
LO = Réservoir du liquide de direction = Steering gear oil tank = Lenkölbehälter.
M = Emplacement du moteur = Engine location = Motorlage.
S = Bac à sable = Sand box = Sandkasten.
Sch = Fenêtre coulissante = Sliding window = Schiebefenster.
T = Demande d'arrêt avec indication lumineuse = Stop request sign with lighted indicator = Innentransparent (Haltewunsch).
TW = Séparation = Partition = Trennwand.
U = Ventilateur chauffant = Heating blower = Umlaufheizer.

Il en résulte un démarrage et un freinage souples durant lequel le voyageur ne ressent plus les passages de crans. Il faut encore des résistances et des contacteurs, ce qui signifie des pertes et de l'entretien, même si ceux-ci sont réduits par rapport au type d'équipement précédent.

Pour l'électronique il est recommandé de tenir en réserve des cartes embrochables, une réparation chez l'exploitant n'étant que très rarement justifiée économiquement.

3.1.3 Moteur à courant continu avec dispositif de commande à hacheur

Depuis plusieurs années l'aspiration à une propulsion économique des trolleybus a conduit aux équipements à hacheur. Dans ce cas il n'est plus besoin de résistances de démarrage. En freinage on peut procéder de façon conventionnelle (c'est-à-dire par résistances) ou au moyen d'un ralentisseur supplémentaire (genre TELMA) et d'un renvoi du courant dans la ligne de contact. Dans ce dernier cas il est important de remarquer qu'il doit exister dans la même section un véhicule consommant du courant. Si l'on ne dispose pas de cette consommation, on doit mettre en circuit les résistances prévues à cet effet.

Le démarrage se fait sans crans, en économisant le courant, et est ressenti agréablement par les voyageurs.

Le développement actuel de l'électronique de puissance est tel que les pannes de thyristors doivent être considérées comme rarissimes. Ceci vaut également pour l'électronique de commande mais, ainsi qu'il a été dit en 3.1.2, un nombre suffisant de cartes doivent être conservées en réserves.

Jusqu'à plus ample développement de la propulsion à courant triphasé, ce type d'équipement sera le plus intéressant pour de nombreuses entreprises de transport.

3.1.4 Moteur à courant triphasé commandé à l'aide de hacheurs et d'onduleurs

Le dernier développement actuel prévoit l'emploi d'un moteur à courant triphasé, ce qui réduirait pratiquement l'entretien à un minimum.

A notre connaissance pour le moment circulent seulement quelques prototypes (Salzburg (Autriche), Winterthur (Suisse), en Finlande et aux Etats-Unis) qui n'ont toutefois pas encore abouti.

Il s'agit d'abord de réduire de manière significative le devis de poids et de résoudre le problème de refroidissement; alors se posera très sûrement aussi la question des prix.

3.1.5 Nouveaux développements dans le domaine des véhicules hybrides

3.1.5.1 Duo-Bus

Ce terme s'applique à une petite série de véhicules développés récemment pour le compte du Ministère fédéral allemand pour la recherche et la technologie (BMFT) et en cours d'expérimentation à Esslingen (RF Allemagne). On distingue deux versions de base :

- Duo-Bus réseau-batteries et;
- Duo-Bus réseau-diesel.

Si dans le premier cas, un seul type de transmission (moteur électrique) est utilisé, la seconde version implique l'installation de deux sources de traction, soit un moteur électrique et un moteur diesel.

En plus de la fonction trolleybus pure, ces véhicules peuvent circuler à pleine charge et puissance dans des zones dépourvues de lignes aériennes, mais, selon le cas, par le moteur électrique ou le moteur diesel.

3.1.5.2 Trolleybus bi-mode

On retrouve ici les deux versions citées plus haut à propos du Duo-Bus. Après quelques essais effectués sur un trolleybus articulé à alimentation hybride réseau-batteries, d'où l'appellation bi-mode, un constructeur français vient de livrer une première série de véhicules articulés bi-modes réseau-diesel.

Ces véhicules ont été mis en service en novembre 1982 sur le tout nouveau réseau de Nancy (France). Dans un premier temps, les véhicules seront exploités comme trolleybus classiques, bien que la prise de service et les rentrées au dépôt, éloigné des lignes, aient lieu en traction diesel. La seconde phase verra l'application du bi-mode avec voyageurs (trois services suburbains assurés en traction diesel sont groupés en un tronçon commun urbain exploité en trolleybus).

La possibilité d'utiliser des moteurs de roue mérite d'être étudiée également, comme c'est le cas en Australie où des prototypes sont à l'essai.

3.2 Propulsion de secours

Lorsqu'il est question de propulsion de secours, il convient de distinguer s'il s'agit d'un dispositif destiné à fonctionner, comme son nom l'indique, uniquement en situation dégradée ou s'il doit permettre d'assurer un service régulier de voyageurs. On se trouverait dans ce dernier cas plutôt dans le domaine des trolleybus bi-mode cités plus haut. Un certain nombre de véhicules ont cependant été équipés de telle manière qu'ils puissent, en service régulier, parcourir de courtes distances à l'aide d'un équipement auxiliaire (p. ex. : détournements par suite de travaux routiers, passages à niveaux électrifiés, ...).

Pour la propulsion de secours on peut utiliser un moteur diesel ou à essence entraînant le véhicule directement par une boîte de vitesse ou par l'intermédiaire d'une génératrice alimentant le moteur de traction. Pour une propulsion de secours proprement dite (vitesse inférieure à 10 km/h) l'emploi d'une batterie à 72 V paraît possible. Cette disposition permet également d'éviter l'installation d'une ligne aérienne dans certaines parties de dépôts.

3.3 Prises de courant

La prise de courant à la ligne aérienne ne se fait plus de nos jours que par deux perches. On peut utiliser une liaison par câble à l'intérieur du tube formant la perche ou bien le tube lui-même comme conducteur (perches métalliques enrobées de polyester). La perche peut être un tube sans soudure en acier, en aluminium ou en matière plastique. Les auteurs ne disposent d'aucun résultat d'expériences faites avec de l'aluminium ou du plastique.

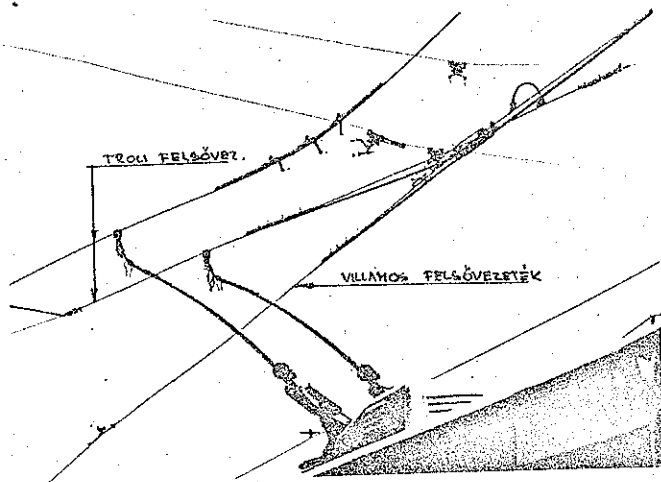


Fig. 9 : Essai de combinaison entre ligne aérienne pour tramway et pour trolleybus. (BKV, Budapest, Hongrie).

Fig. 9 : Tramway-Trolleybus experimental combined overhead. (BKV, Budapest, Hungary).

Bild 9 : Gemeinsame Strassenbahn-Trolleybus Fahrleitung, versuchsweise gebaut. (BKV, Budapest, Ungarn).

Trolleybusz felsővezeték = Ligne aérienne trolleybus = Trolleybus overhead = Trolleybus-Fahrleitung.
Villamos felsővezeték = Ligne aérienne tramway = Tramway overhead = Strassenbahn-Fahrleitung.



Fig. 10 : Emplacement des coffres à appareillages sur un trolleybus articulé à hacheur et freinage à récupération. (BKV, Budapest, Hongrie).

Fig. 10 : Location of the electrical equipment on an articulated trolleybus with chopper and regenerative braking. (BKV, Budapest, Hungary).

Bild 10 : Lage der elektrischen Ausrüstungen in einem Gleichstrom-Chopper-Trolleybus mit Stromrückgewinnungsbremse. (BKV, Budapest, Ungarn).

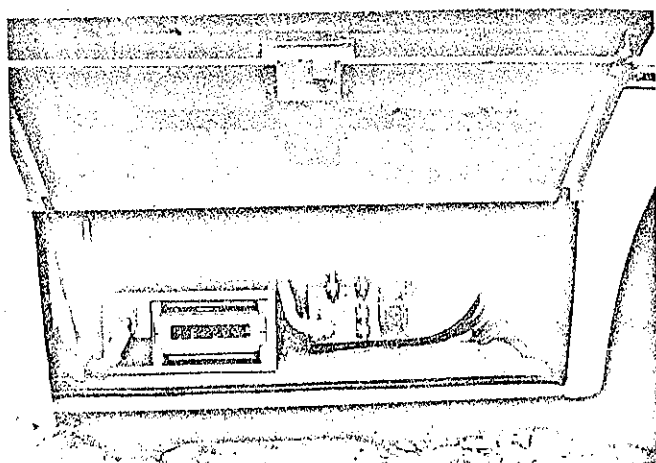


Fig. 11 : Electronique de commande d'un trolleybus de Budapest.

Fig. 11 : Control electronics on a Budapest trolleybus.

Bild 11 : Steuerungselektronik eines Trolleybuses in Budapest.

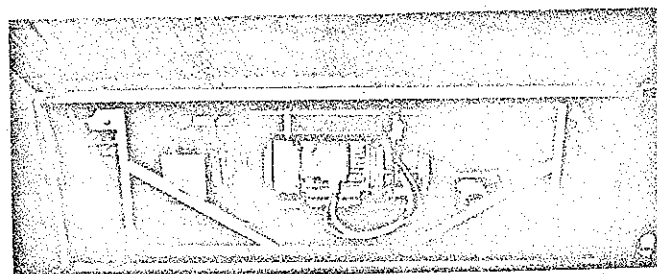


Fig. 12 : Compresseur, pompe hydraulique et alternateur sur un véhicule du réseau de Budapest.

Fig. 12 : Compressor, hydraulic pump and alternator on a Budapest vehicle.

Bild 12 : Luftpressor, hydraulische Pumpe und Drehstromgenerator in einem Fahrzeug in Budapest.

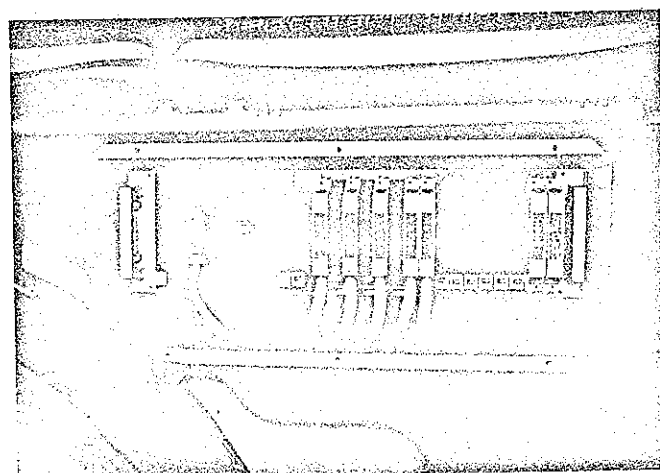


Fig. 13 : Régulateur électronique de traction-freinage équipant les nouveaux trolleybus du réseau de Salzbourg.

Fig. 13 : Electronic traction-braking regulator equipping the new trolleybuses in Salzburg.

Bild 13 : Elektronischer Fahr-Brems-Regler der neuen Trolleybusgeneration in Salzburg.

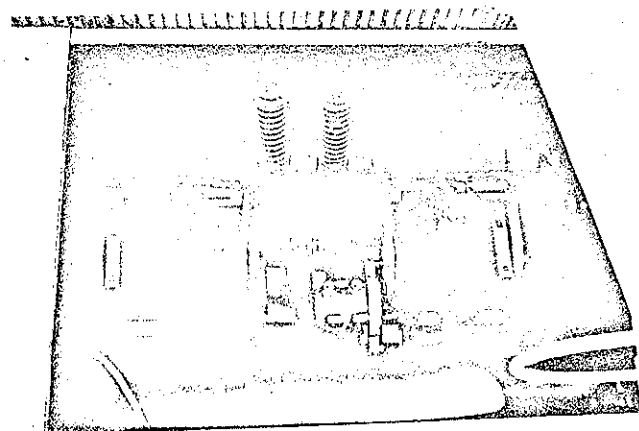


Fig. 14 : Contacteur à cames équipant certains trolleybus à Salzbourg.

Fig. 14 : Cam control switch equipping certain trolleybuses in Salzburg.

Bild 14 : Nockensteuerschalter bestimmter Trolleybusse in Salzburg.

On attachera de la valeur à un bon isolement, obtenu par exemple au moyen de polyester armé de fibres de verre, si l'on veut éviter les courts-circuits en cas de décabement. Une faible masse et une réduction du coefficient de frottement en position horizontale conduisent à une meilleure tenue à la ligne aérienne, ce qui est important, particulièrement sur les parcours accidentés.

L'abaissement automatique des perches est également très utile. Une nouveauté, créée pour le trolleybus bi-mode, est le système de retrait et de mise en place des perches à commande électronique.

3.4 Equipement pneumatique

La production de l'air comprimé nécessaire au véhicule représente un problème qui ne doit pas être sous-estimé. On utilise presque exclusivement des compresseurs à pistons à deux cylindres entraînés par un moteur à courant continu de 3 à 5 kW de puissance alimenté par la ligne de contact.

Bien que le temps de fonctionnement, limité par un régulateur de pression à pression d'enclenchement et pression de déclenchement préétablies, soit bref, les bruits et vibrations peuvent être désagréables pour les voyageurs. Les constructeurs devront s'efforcer d'éliminer cet inconvénient. Des mesures simples telles que l'encapsulation du compresseur, sa pose sur blocs de caoutchouc ou la pose de plaques insonorisantes dans le logement du compresseur, sont d'ores et déjà recommandées.

3.5 Equipement basse tension embarqué

L'emploi classique de dynamos entraînées par le moteur de traction conduit dans certains cas à des difficultés sur les trolleybus. En raison du tracé de la ligne et des conditions de circulation, le temps de charge peut souvent ne pas être atteint. Il faut donc considérer l'emploi de convertisseurs rotatifs ou statiques dont la masse vient s'ajouter au reste.

Les convertisseurs statiques ne demandant pas d'entretien sont malheureusement encore trop chers et trop lourds pour le moment.

3.6 Chauffage

Pour obtenir un chauffage suffisant et sans problème, on installera dans le compartiment des voyageurs des radiateurs soufflants d'une puissance propre de 3 kW, un radiateur statique de 500 W près du conducteur et une installation de dégivrage du pare-brise de 2,5 à 3 kW. Pour le chauffeur une bouche, en dérivation sur l'installation de chauffage du pare-brise, s'avère efficace.

3.7 Essieu moteur

Les vitesses de rotation différentes des moteurs diesel, utilisables pour la propulsion des autobus, et électriques, ainsi que l'application directe, sans boîte de vitesse, de l'effort moteur dans le cas du trolleybus, impliquent pour ces derniers un rapport de réduction du pont arrière plus important que celui généralement utilisé avec les moteurs diesel. En outre, il faut se

rappeler que sur presque toute la gamme des vitesses, le couple disponible sur un moteur électrique est supérieur à celui d'un moteur diesel.

Il résulte de ce qui précède que des pointes de couple et donc d'effort se produisent tant en accélération qu'en freinage, et à chaque passage de cran d'un équipement à résistances.

Ces deux conditions impliquent pour le trolleybus — en particulier avec un équipement à résistances — une transmission et un essieu arrière notablement plus robustes que sur un autobus à moteur diesel. Ces problèmes sont d'une acuité moindre dans le cas de trolleybus à commande par hacheur.

3.8 Comparaison des carrosseries des trolleybus et autobus

Les constructeurs d'autobus devraient, afin de maintenir le prix des trolleybus le plus bas possible, se soucier dès la conception de ce que la caisse soit utilisable aussi bien pour un type de véhicule que pour l'autre. On pourrait alors considérer la production en séries, quoique moins importantes, de trolleybus.

Nous proposons ci-après quelques points qui doivent être pensés dans l'esprit d'une standardisation.

- Pour le placement des perches, le toit doit avoir une structure appropriée. Il faut en outre veiller au juste positionnement de la prise d'air en toiture.
- Des gaines doivent être prévues pour la pose du câblage à courant fort.
- On devra veiller à rendre possible l'implantation d'équipements auxiliaires tels que compresseur, équipement de propulsion de secours, convertisseur, etc...
- Prévoir l'espace nécessaire ainsi que les fixations, pour l'équipement de commande, le bloc de contacteurs ou le hacheur.
- Les équipements de conduite qui sont identiques pour le trolleybus et l'autobus doivent toujours être disposés à la même place.
- Les différents systèmes de ventilation et de dégivrage du pare-brise sont à traiter avec attention.
- Bien que le rapport de transmission soit différent en autobus et en trolleybus, on utilisera un essieu unifié.
- L'aménagement du poste de conduite doit être le même. Il faut cependant tenir compte des différentes courses des pédales, plus longues pour les trolleybus.

4 Alimentation électrique

Quoique le trolleybus doive être traité comme un véhicule, nous aimerions évoquer brièvement le thème de l'alimentation en énergie électrique.

La disposition des sous-stations décentralisées apparaît avantageuse du point de vue de la réduction des chutes de tension.

Comme mesure de protection des fils de contact contre les déformations en cas de courts-circuits, des protections différentielles (di/dt) doivent être prévues.

L'emploi de diodes au silicium va de soi aujourd'hui et n'a pas besoin d'être développé.

L'alimentation de la ligne de contact peut se faire par sections, c'est-à-dire que la ligne est divisée, ou bien en parallèle, toutes les sous-stations contribuant ensemble à l'alimentation. Ce dernier schéma est avantageux pour la récupération : toutefois des dispositifs modernes de protection sont nécessaires.

4.1 Ligne aérienne de contact

Les différents systèmes doivent être simplement cités ici sans approfondir leurs avantages ou inconvénients. Actuellement, de plus en plus d'exploitants s'efforcent de corriger les défauts de ce domaine de la technique.

On rencontre différentes techniques de par le monde, depuis la ligne classique à suspension rigide jusqu'à la suspension totalement élastique, en passant par la ligne de type caténaire tendue par des contrepoids. Les essais effectués avec des câbles en matière synthétique au lieu de câbles en acier zingué nous paraissent intéressants. Des développements dans ce domaine seraient appréciés par de nombreux exploitants.

Afin de ne pas perturber le courant normal de la circulation, il y a lieu également d'utiliser, là où la possibilité se présente, des aiguilles à grande vitesse.

5 Comparaison des dépenses d'exploitation

5.1 Dépenses d'énergie

Dans la plupart des pays la part de prix liée aux combustibles liquides a considérablement augmenté. Les prix de l'électricité ont subi également une augmentation, mais dans une mesure bien moindre. Cette

situation rend nécessaire une comparaison entre la propulsion électrique et la propulsion diesel. A cela s'ajoute le fait que le moteur électrique a un rendement nettement meilleur.

La diffusion des propulsions à moteur à gaz est encore trop faible, aussi a-t-on renoncé à les soumettre à comparaison.

En Autriche, des mesures ont été effectuées par l'entreprise de transport de Salzbourg (ici, il nous faut citer une ville, d'une part parce que la consommation dépend des conditions topographiques et du trafic urbain et d'autre part parce que la politique des prix doit être prise en compte) qui ont donné d'intéressants résultats.

On a comparé des véhicules articulés, les caractéristiques des lignes de trolleybus et d'autobus diesel étant très semblables. Pour 100 km-voiture, les dépenses de courant et de carburant diesel étaient dans un rapport de 1 à 2, ce qui était encore inconcevable il y a 8 à 10 ans.

Qu'il nous soit permis de dire, à cet endroit de l'exposé, que le courant électrique peut être obtenu à partir de matières premières d'origines différentes, ce qui représente une certaine indépendance pour chaque état.

5.2 Charges d'exploitation

La prudence doit également être de mise lorsque l'on compare les charges d'exploitation, parce que les conditions diffèrent d'un pays à l'autre.

Doivent surtout entrer en ligne de compte les postes ci-après : énergie — entretien — assurance — taxes — ligne de contact — sous-stations — garage et frais annexes — amortissement — intérêts mathématiques.

Les études ont été faites sur ces bases à Budapest et Salzbourg; elles ont donné dans les deux cas l'avan-

TABLEAU I
Echantillon de parcs

Pays/Ville	Autobus simples	Autobus articulés	Trolleybus simples	Trolleybus articulés	Total par réseau
Autriche - Linz	25	50	10	27	112
Autriche - Salzbourg	34	15	23	31	103
Canada - Toronto	1 231	—	151	—	1 382
Egypte - Le Caire	1 700	150	140	—	1 990
Finlande — Helsinki	514	—	1	—	515
France - Marseille	566	—	51	—	617
France - Grenoble	161	19	61	—	241
Hongrie - Budapest	1 031	694	122	78	1 925
Italie - Turin	685	33	14	38	770
Italie - Milan	1 353	197	95	100	1 745
Portugal - Porto	318	10	101	10	439
Suisse - Neuchâtel	11	—	31	10	52
Suisse - Lausanne	72	—	112 + 43 remorques	—	184
Suisse - Fribourg	159	6	12	—	177
Suisse - Berne	68	33	—	41	142
Suisse - Genève	136	29	33	39	237
Yougoslavie - Belgrade	731	177	35	—	943
Total par type	8 795	1 413	992	374	11 576

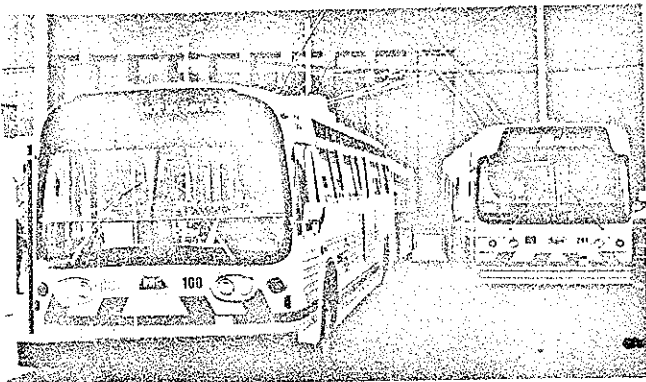


Fig. 20 : Modèles de trolleybus récemment mis en service aux Etats-Unis et au Canada. (ET, Edmonton, Canada).

Fig. 20 : Trolleybuses recently introduced in North American networks. (ET, Edmonton, Canada).

Bild 20 : Neuere Trolleybusse in Betrieb auf Netzen in USA und Kanada. (ET, Edmonton, Kanada).

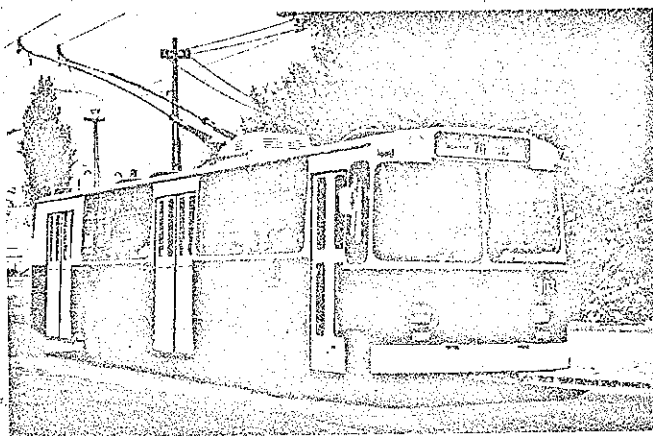


Fig. 21 : Trolleybus type ZYU 9, de construction soviétique, en service à Budapest. (BKV, Budapest, Hongrie).

Fig. 21 : ZYU 9 trolleybus, built in USSR, here in the Budapest livery. (BKV, Budapest, Hungary).

Bild 21 : Trolleybus ZYU 9 sowjetischer Bauart in Budapest. (BKV, Budapest, Ungarn).

Fig. 22 : Trolleybus standard français type ER 100 dérivé de l'autobus PR 100. Le modèle représenté ici circule à Lyon. Il est équipé de trois doubles portes au lieu de deux ainsi que d'un moteur auxiliaire lui assurant une certaine autonomie même en service voyageurs. (TCRL, Lyon, France).

Fig. 22 : French ER 100 type standard trolleybus derived from the PR 100 motorbus. The vehicle represented in this figure is currently in service in Lyons. It is equipped with three instead of two double doors and with an auxiliary engine conferring it a certain autonomy even in passenger service. (TCRL, Lyons, France).

Bild 22 : Französischer Einheitsobus Typ ER 100, abgeleitet vom Autobus Bauart PR 100. Das hier vorgestellte Fahrzeug verkehrt in Lyon. Es ist mit drei statt zwei Doppeltüren und einem Hilfsantrieb ausgerüstet, der ihm selbst im Fahrgasbetrieb eine gewisse Freizügigkeit gestattet. (TCRL, Lyon, Frankreich).

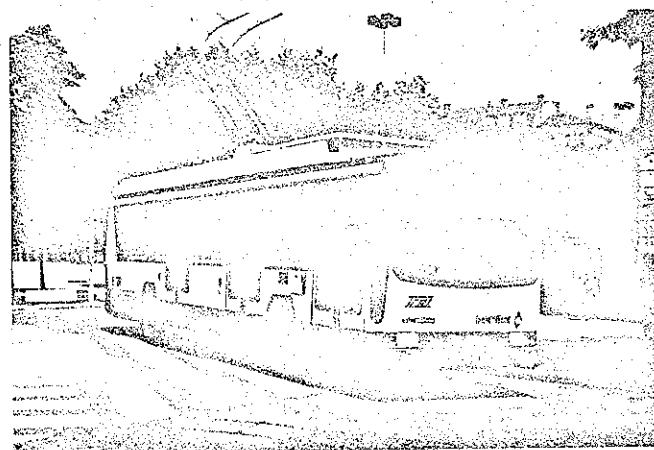
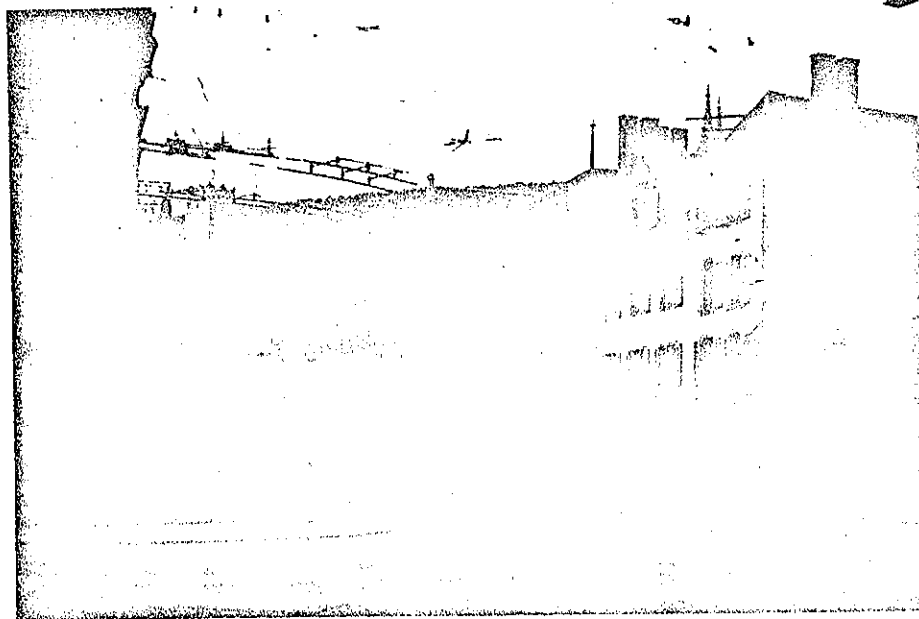


Fig. 23 : Trolleybus standard articulé suisse, modèle UST, mis en service durant les années 70. Il existe également des versions trolleybus simple, remorques et autobus articulé basées sur le même type. (TN, Neuchâtel, Suisse).

Fig. 23 : Swiss articulated standard trolleybus of VST model, put in service in the seventies. There do also exist a two-axle trolleybus, a trailer and an articulated motorbus version in the same series of vehicles. (TN, Neuchâtel, Switzerland).

Bild 23 : Schweizerischer Standard-Gelenktrolleybus, Bauart VST, Inbetriebnahme in den 70er Jahren. In der gleichen Baureihe sind auch Normaltrolleybusse, Beiwagen und Gelenkbusse erhältlich. (TN, Neuenburg, Schweiz).



TABEAU II
Comparaison des coûts

	Autobus simples			Autobus articulés			Trolleybus simples			Trolleybus articulés		
	T.	M.	E.	T.	M.	E.	T.	M.	E.	T.	M.	E.
Prix d'achat actuel	—	100	0	10	141	13,54	8	137,88	42,38	6	196,67	46,12
Durée d'amortissement (années)	11	9,12	3,85	7	8,61	4,47	8	12,38	4,44	5	12,80	5,45
Durée de vie prévisible (années)	13	13,69	6,17	9	13,00	5,29	9	18,33	6,06	6	19,33	6,02
Frais de carburant ou d'énergie	—	100	0	10	122,00	19,25	9	69,22	23,62	6	95,50	40,40
Consommation de pneumatiques	—	100	0	10	148,80	37,23	10	118,70	71,20	8	167,38	37,62
Assurance	—	100	0	9	115,89	17,85	10	108,75	23,15	6	122,50	17,75
Frais de personnel d'exploitation	—	100	0	8	118,06	33,67	9	103,71	9,88	4	129,75	42,43
Frais de personnel d'entretien	—	100	0	8	121,63	27,88	7	129,86	69,71	6	123,67	51,38
Frais de personnel d'administration	—	100	0	6	110,33	16,99	7	98,71	6,45	4	115,25	19,24
Dépenses de matières entretien et réparations	—	100	0	9	116,11	29,70	8	94,91	9,39	5	106,00	17,36
Tare moyenne	—	100	0	11	140,33	17,94	12	107,33	13,61	9	149,02	13,92
Poids en charge moyen	—	100	0	9	146,14	15,25	10	101,38	9,77	8	151,78	13,67
Puissance installée moyenne	—	100	0	11	111,77	21,69	11	89,35	21,30	9	109,96	21,00
Vitesse commerciale (km/h)	15	18,83	3,15	8	18,77	3,67	9	16,33	2,69	7	17,00	2,12

T. = taille de l'échantillon (nombre de réponses). M. = Moyenne (en %). E. = Ecart type (en %).

tage au trolleybus. Une source d'économie supplémentaire peut être, lorsqu'elle est utilisée, la récupération d'énergie de freinage. Dans une comparaison des coûts il ne faut pas manquer de faire entrer en ligne de compte la capacité des véhicules.

Dans le questionnaire préparé par M. McLeod à propos des autobus à grande capacité, on trouve également des questions relatives aux trolleybus. Des questionnaires que nous avons pu consulter, il ressort que 17 entreprises au moins utilisent également des trolleybus. Le tableau I propose une sélection de pays ou de villes avec le parc correspondant de trolleybus et d'autobus.

Nous ne disposons pas actuellement d'une étude précise de la situation actuelle des trolleybus dans les principaux pays. Un tel document serait cependant en cours d'élaboration auprès d'un institut ouest-allemand.

Au tableau II, on a tenté de comparer divers paramètres de coûts des autobus et trolleybus.

6 Résumé

- Le trolleybus doit aujourd'hui être considéré comme un partenaire égal aux autres dans la vaste gamme des moyens de transport public; il a sa place et son rôle dans la répartition des tâches.
- En raison de ses nombreux avantages pour l'environnement, son intérêt politique va également croître.

- Les frais de premier établissement sont plus élevés que pour un autobus mais l'équipement électrique de traction étant réutilisable après réforme de la caisse, la différence se trouve considérablement réduite.
- Dans un proche avenir, les problèmes énergétiques joueront un moindre rôle pour les trolleybus que pour les véhicules à moteur diesel.
- Les charges d'énergie et d'exploitation plaideront de plus en plus en faveur des trolleybus.
- Il faut amplifier et accélérer le développement technologique. Grâce à lui on vise simultanément les économies d'énergie et la réduction des frais d'entretien.
- Avant de créer un service de trolleybus, de larges études préliminaires doivent être effectuées sur le trafic prévisible, l'intervalle, la possibilité de pose de la ligne de contact, l'alimentation en énergie, le tracé, les travaux de voirie et de bâtiment etc... Il est en outre souhaitable de rechercher une proportion optimale entre trolleybus et autobus.
- Compte tenu de la situation sans cesse plus difficile dans le secteur pétrolier, les gouvernements devraient subventionner le remplacement de services d'autobus par des trolleybus.