

Mod 17-0037P PDeb Pierre DEBANO 19 rue des Champs de Linette F 51200 EPERNAY Gare SNCF + 1500 m Mobile : + 33 (0)6 60 93 72 66 Mél : pdebano@laposte.net		Note numéro : 18-1005-12V1 date : 28/03/2018		Classification
		Objet : Article de la revue Stadtverkehr « Une chance pour des BRT écologiques. Le Trolleybus rechargeant ses batteries grâce à des pantographes »		
Référence fichier	18-1005-12V1 PDeb Article Stadverkehr Trolleybus Panto pour BRT	Distribution		
Affaire				
Protection du fichier : Ce fichier est protégé par un mot de passe pour éviter toute modification ayant pour conséquence que des fichiers de même nom aient des contenus différents. Pour pouvoir modifier ce fichier : Faire "Enregistrer sous", aller dans Outils/Options de Sécurité en haut à droite de la fenêtre "Enregistrer sous" (en dessous pour Word 2010) et changer ou supprimer le mot de passe, et donner un autre nom au fichier pour l'enregistrer.				

La revue Stadtverkehr 4-2018 vient de publier un article en allemand sur la solution de trolleybus IMC (In Motion Charging qui recharge ses batteries lorsqu'il circule sous la ligne aérienne après avoir circulé grâce à ses batteries en dehors des lignes aériennes) avec pantographes pour permettre facilement les dépassements dans les stations de BRT.

Vous trouverez ci-dessous :

- le texte original en français. Quelques très légères adaptations ont été faites dans la version allemande,
- des explications complémentaires,
- copie de l'article paru dans Stadtverkehr.

Je ne peux que vous conseiller de vous abonner à cette excellente revue

([https://www.ekshop.de/abonnement/abonnement-](https://www.ekshop.de/abonnement/abonnement-zeitschriften/geschenkabonnement/geschenkabonnement-stadtverkehr.html)

[zeitschriften/geschenkabonnement/geschenkabonnement-stadtverkehr.html](https://www.ekshop.de/abonnement/abonnement-zeitschriften/geschenkabonnement/geschenkabonnement-stadtverkehr.html)). Ne pas oublier de choisir le cadeau avant de valider.

Et pour 52 euros, oui seulement cinquante deux euros (plus les frais de port très limités), on bénéficie d'une information mensuelle sur les transports urbains et régionaux de très grande qualité, et sans équivalent dans le monde. C'est écrit de façon tellement simple que l'on comprend l'essentiel sans parler allemand.

On peut aussi écrire au rédacteur en chef qui parle parfaitement français (stefan.goebel@eisenbahn-kurier.de)

1 – L'article envoyé à la rédaction de Stadtverkehr

Le trolleybus IMC à pantographes : une chance pour des BRT écologiques

Le trolleybus, une solution écologique éprouvée.

Le trolleybus est un bus électrique qui capte son énergie au moyen de 2 perches en contact avec 2 fils électriques suspendus au dessus de la rue.

C'est une technologie ancienne, donc éprouvée, qui a su s'adapter, comme le tramway, grâce à l'introduction de composants électriques et électroniques modernes. Mais contrairement au tramway qui a su intéresser de très nombreuses villes, le trolleybus ne séduit plus les villes, malgré les 40 000 trolleybus en circulation dans 370 villes dans le monde.

Ce sont ses fils aériens qui entraînent un phénomène de rejet.

Les Bus Rapid Transit (BRT) connaissent un développement important hors d'Europe, mais à de rares exceptions comme en Chine, ils sont exploités avec des autobus Diesel, plus rarement au Gaz, qui polluent donc beaucoup, d'autant plus que le carburant est rarement aux normes européennes.

Pour faire face à cette énorme pollution de bus qui se succèdent à très forte fréquence, Bogota avait envisagé d'exploiter son BRT avec des trolleybus. Mais c'est la conception de la ligne aérienne du trolleybus qui a entraîné l'abandon de cette idée.

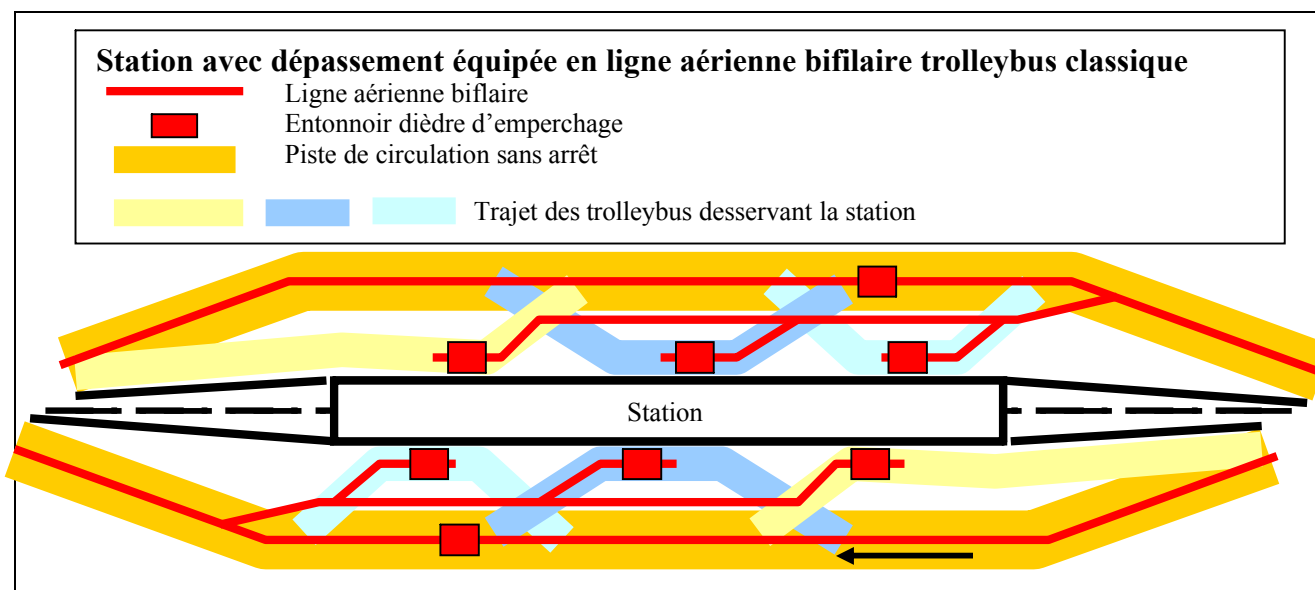
Le problème posé par la ligne aérienne trolleybus, ce sont les aiguillages qui constituent des points de fragilité,

En effet, 2 trolleybus qui utilisent une même ligne aérienne ne peuvent pas se dépasser, ou alors il faut qu'il y en ait un qui baisse ses perches et les remonte, d'où perte de temps. Dans les BRT, le principe est que des véhicules express puissent dépasser des véhicules arrêtés dans les stations. Une solution technique existe, mais la ligne aérienne se complique alors avec des aiguillages qui constituent un point faible. Cette difficulté pour les dépassements n'est pas gênante quand la cadence des trolleybus n'est pas très élevée, car les trolleybus n'ont pas besoin de se dépasser. Mais dans le cas de BRT, le risque est trop grand de dysfonctionnements des aiguillages perturbant gravement l'exploitation, et c'est la raison mise en avant à Bogota pour abandonner son projet d'électrification.

Les nouvelles occasions offertes par les derniers développements des trolleybus

Le trolleybus moderne est aujourd'hui un trolleybus IMC (In Motion Charging) qui bénéficie d'une autonomie importante grâce à des batteries. Le moteur de traction est toujours alimenté par les batteries, qui elles même sont rechargées quand le trolleybus circule sous la ligne aérienne. Tout passage du mode trolleybus classique au mode autonome, ou inversement, est donc totalement transparent pour le moteur électrique et le conducteur du trolleybus.

Mais reste le problème de la ligne aérienne avec ses aiguillages, même si le trolleybus peut baisser ses perches pour entrer en station et les relever lorsqu'il est en station, donc sans perte de temps, il faut plusieurs aiguillages pour assurer la continuité de la ligne aérienne au départ de la station. Ces aiguillages constituent d'importants points faibles.



Une solution qui vient du tramway

Les lignes aériennes de tramway n'ont pas besoin d'aiguillages. En plus, elles sont plus simples que les lignes aériennes de trolleybus, et permettent des distances entre poteaux beaucoup plus importantes, jusqu'à 60 mètres au lieu de 30 mètres pour le trolleybus classique. Le pantographe de tramway est une technologie simple. Tous ces éléments conduisent à des coûts beaucoup moins élevés pour la ligne aérienne du tramway que pour celle du trolleybus.

Equiper un système trolleybus d'une ligne aérienne de type tramway et du captage par pantographe présente donc un gros intérêt en terme de coûts et de fiabilité.

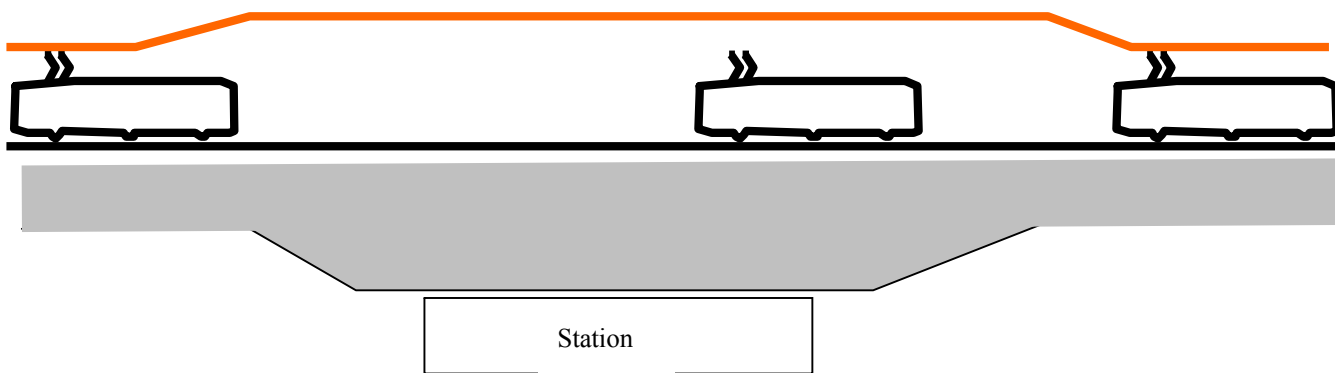
Mais la solution pantographe fonctionne pour le tramway parce que le tramway suit une trajectoire fixe, et donc pantographe et ligne aérienne sont toujours au contact. Avec un trolleybus, s'il s'écarte, le pantographe risque de perdre le contact avec la ligne aérienne et arracher cette dernière.

La solution pantographe pour le trolleybus est donc impossible dans le cas normal où le trolleybus circule au milieu de la circulation automobile, et est donc amené à faire de fréquents écarts.

Mais, dans un BRT, les véhicules circulent entre les stations dans un couloir de 3,5 mètres de large, et donc un pantographe avec un archet de grandes dimensions doit permettre de ne jamais perdre le fil de contact.

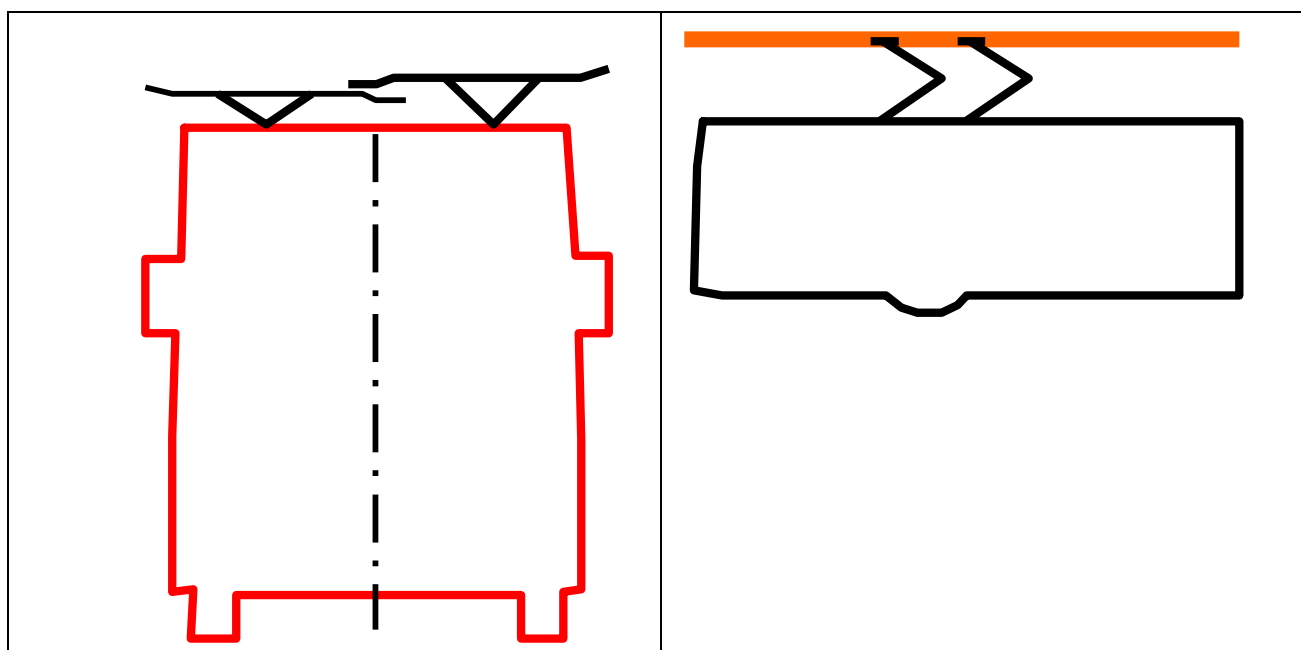
Pour le BRT exploité avec des Trolleybus à Pantographes, les solutions suivantes sont mises en oeuvre :

- la ligne aérienne est de type tramway (mêmes poteaux, mêmes suspensions, mêmes tendeurs) mais comporte 2 fils de contact espacés de 1400 mm, l'un pôle +, l'autre pôle -,
- dans les zones où le trolleybus ne peut pas sortir de son couloir de 3,50 mètres de large, c'est-à-dire entre les stations, la ligne aérienne est posée à hauteur de captage,
- dans les zones où le trolleybus peut s'écarter de la trajectoire sous la ligne aérienne (stations, carrefours), la ligne aérienne est posée à une hauteur telle que les pantographes ne puisse plus être au contact de la ligne aérienne.

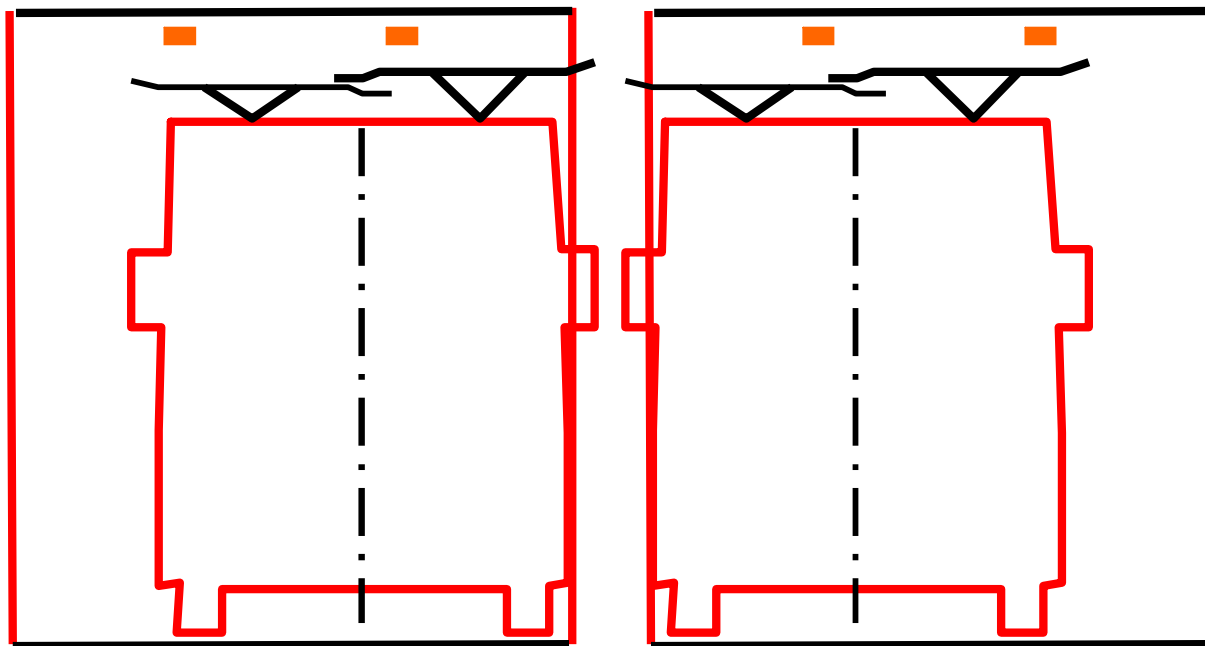


Dès que deux pantographes du trolleybus IMC, un pour chaque fil, perdent le contact avec la ligne aérienne, la recharge des batteries ne peut plus se faire mais le trolleybus IMC garde toutes ses performances. Dès que les pantographes retrouvent le contact, la batterie se recharge. Le conducteur conduit son trolleybus comme s'il s'agissait d'un bus, sans se soucier de la ligne aérienne.

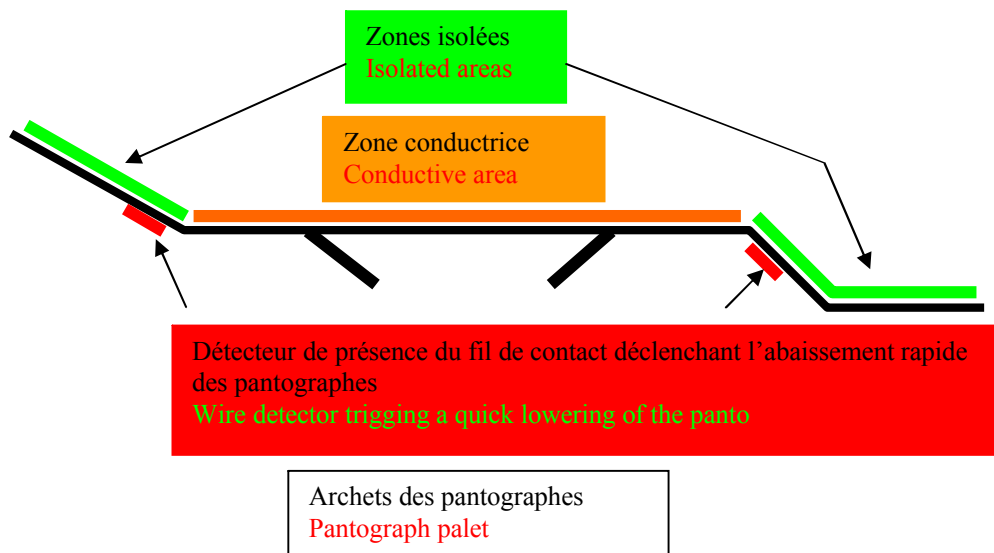
L'équipement sur le trolleybus IMC se compose de 2 pantographes classiques dont les archets sont de grandes dimensions avec une forme particulière. Les pantographes sont décalés dans le sens de la longueur.



On constate que, tant que le trolleybus circule sans sortir de sa voie de 3,50 mètres de large, là où la ligne aérienne est à hauteur de captage, il n'y a aucun risque de perte de contact qui pourrait entraîner un arrachage de la ligne aérienne.



Si l'on veut prendre une sécurité complémentaire, on peut concevoir l'archet du pantographe avec des détecteurs entraînant l'abaissement rapide du pantographe dès que le fil de contact arrive dans la zone extérieure de l'archet, signe que le trolleybus est en train de s'écarter de sa trajectoire normale.



Un trolleybus qui se conduit comme un autobus

Le trolleybus IMC circule entre les stations avec ses pantographes au contact de la ligne aérienne. A l'approche de la station, la ligne aérienne s'élève progressivement et il arrive un moment où les pantographes, touchant une butée, ne peuvent plus s'élever et rester au contact de la ligne aérienne. Dans la zone de la station, les trolleybus IMC évoluent alors comme des autobus et peuvent se dépasser sans problème. Au départ de la station, à partir de l'entrée sur la voie de circulation entre les stations, la ligne aérienne s'abaisse progressivement pour arriver à une hauteur de captage, et rencontre les pantographes qui peuvent alors alimenter les batteries.

La même organisation peut être mise en place aux carrefours pour permettre d'organiser la sortie et l'entrée de trolleybus IMC. Elle peut aussi être mise en place dans les courbes serrées pour éviter d'avoir à poser de nombreux poteaux pour que la ligne aérienne suive la voie du trolleybus.

Le trolleybus IMC à pantographes, une chance pour les BRT existants ou à venir

Le trolleybus IMC à pantographes ne fait appel qu'à des solutions existantes, simples et éprouvées.

Le trolleybus IMC à pantographes est donc une chance pour les BRT. Ils peuvent bénéficier de bus électriques non polluants, d'une technologie éprouvée, d'une puissance de traction importante permettant de gagner sur les temps de parcours par rapport aux bus Diesel, et pour un coût sur le cycle de vie voisin de celui du bus Diesel.

Et si l'équipement électrique de la ville est insuffisant pour alimenter en électricité la ligne de trolleybus, des solutions existent qui permettent de bénéficier, sans attendre, de tous les avantages du trolleybus IMC à pantographes.

Fin de l'article

XX

Des éléments explicatifs (In red : english)

2 – Rappel sur les BRT

Les BRT (Bus Rapid Transit) sont des systèmes de transport en site propre exploités avec des bus (véhicules roulant sur pneumatiques). Ils sont en site propre, c'est à dire que seuls les bus sont autorisés à circuler sur ses voies qui sont séparées de celles de la circulation générale. Les voies du site propre peuvent, dans certains cas, être coupées à niveau par des voies de la circulation générales. Dans certains pays, on parle de BHNS (Bus à Haut Niveau de Service) ou de BHLS (Bus with High Level of Service), le concept général étant voisin mais avec quelques différences de réalisation.

Tout ce qui est écrit ci-dessous s'applique aussi aux BHNS et BHLS.

On distingue plusieurs types d'organisation des BRT

2.1 - BRT L1S1 avec une seule voie de circulation par sens entre les stations et en station

BRT L1S1 avec une seule voie de circulation par sens entre les stations



BRT L1S1 avec une seule voie de circulation par sens en station

Les stations peuvent être à quai central ou à quais latéraux



Pour ce type de BRT, la conception du trolleybus avec perches est tout à fait adaptée et est opérationnelle sur plusieurs lignes de BRT, notamment en Chine et à Quito.

2.2 - BRT L1S2 avec une seule voie de circulation par sens entre les stations et 2 voies de circulation par sens en station pour permettre le dépassement de véhicules

BRT L1S2 avec une seule voie de circulation par sens entre les stations



BRT L1S2 avec 2 voies de circulation par sens en station pour permettre le dépassement de véhicules
BRT L1S2 with 2 lanes per direction in station to allow overtaking of vehicles

Les stations peuvent être à quai central ou à quais latéraux
Stations can be with center platform or lateral platforms



Pour ce type de BRT, la conception du trolleybus avec perches n'est pas bien adaptée car elle nécessite une ligne aérienne avec des aiguillages pour que les trolleybus puissent se dépasser sans avoir à manœuvrer les perches. Les aiguillages présentant un point de fragilité dans la ligne aérienne, c'est ce qui a conduit Bogota à abandonner l'idée d'une transformation de son BRT en trolleybus.

For this type of BRT, the design of the trolleybus with poles is not well suited because it requires an overhead line with switches to allow the trolleybuses to overtake without lowering the poles. Overhead switches are points of weakness on the overhead line, this was the reason for Bogota to abandon the idea of a upgrading of its BRT into trolleybus.

2.3 - BRT L2S2 avec 2 voies de circulation par sens entre les stations et en station pour permettre le dépassement de véhicules

BRT L2S2 avec 2 voies de circulation par sens entre les stations pour permettre le dépassement de véhicules



BRT L2S2 avec 2 voies de circulation par sens en station pour permettre le dépassement de véhicules

Les stations peuvent être à quai central ou à quais latéraux



Pour ce type de BRT, on se trouve dans une situation encore plus compliquée que la précédente avec une ligne aérienne encore plus compliquée avec plus d'aiguillages pour que les trolleybus puissent se dépasser sans avoir à manœuvrer les perches.

3 - Le trolleybus classique

Son énergie est fournie au moyen de 2 fils aériens suspendus au dessus de son itinéraire, de polarité différente (généralement + 0, + 600 ou 750 Volts).



L'alimentation en énergie se fait au moyen de 2 perches connectées à la ligne aérienne. La présence des perches interdit tout dépassement entre 2 trolleybus perches levées et captant leur courant à partir de la même ligne aérienne.

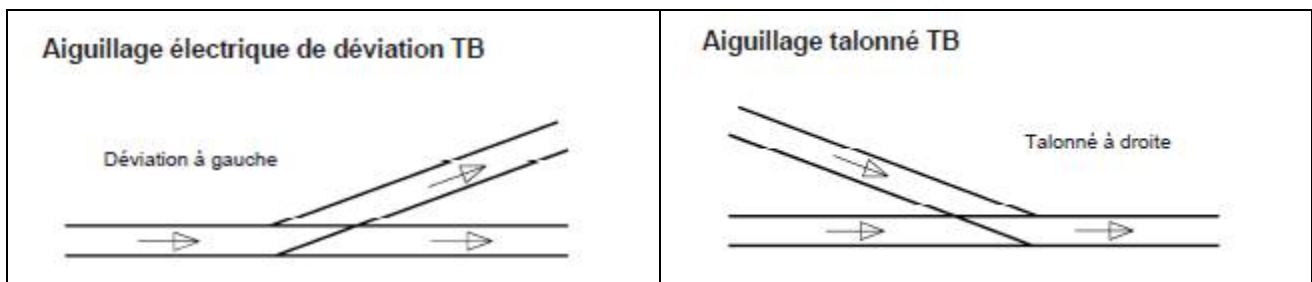
4 - Les freins à l'utilisation du trolleybus pour des BRT

Ils sont de plusieurs ordres, mais le principal est le fait que 2 trolleybus ne peuvent pas se dépasser, sauf à ce que l'un d'entre eux baisse ses perches et enclenche le mode autonome, puis remperche. Jusqu'à il y a peu de temps, cette contrainte explique pourquoi le trolleybus n'a pu être utilisé sur des lignes BRT que si elles étaient simples, c'est-à-dire une seule voie par sens et pas de dépassement en station.

Mais de nombreux BRT sont conçus avec des dépassements en station.

La solution pour régler le problème est d'équiper la ligne aérienne :

- d'aiguillages pris en pointe pour permettre au trolleybus de changer de file,
- et d'aiguillages pris en talon pour permettre au trolleybus de retrouver sa file.



Bien que ces appareils soient éprouvés, ils constituent un surcoût pour la ligne aérienne, et un point de fragilité pour les aiguillages pris en pointe, notamment s'ils sont franchis par un très grand nombre de circulations, ce qui est le cas des BRT.

Ce sont ces contraintes qui ont fait renoncer Bogota à la transformation en trolleybus de son BRT, alors que Bogota le souhaitait du fait des niveaux de pollution élevés des bus Diesel.

5 - Une nouvelle génération de trolleybus qui permet d'envisager de nouvelles solutions

Très récemment, grâce à l'avènement de nouveaux types d'accumulateurs, batteries ou super-capacités, une nouvelle génération de trolleybus a vu le jour : un trolleybus qui, grâce à ses accumulateurs, peut s'affranchir de la ligne aérienne sur des distances de plusieurs kilomètres tout en circulant en traction électrique, donc non polluante. Les accumulateurs se rechargent lorsque le véhicule circule à nouveau connecté à la ligne aérienne.

La dénomination de cette nouvelle génération de trolleybus est variable selon les constructeurs : Trolleybus IMC (In Motion Charging), Hybrid Trolleybus, Trolleybus Plus, etc., mais le principe est le même. Pour la suite, on retiendra par facilité la dénomination « **Trolleybus IMC** ».

La ligne aérienne alimente des accumulateurs (batteries ou super-capacités) embarqués sur le trolleybus, et ces accumulateurs alimentent la chaîne de traction électrique. Tant que les accumulateurs sont suffisamment chargés, la chaîne de traction peut être alimentée, que les accumulateurs soient eux-mêmes alimentés ou non par la ligne aérienne. Tout est transparent pour la chaîne de traction et le conducteur.

6 - Quel mode d'exploitation du trolleybus IMC à perches pour un BRT

6.1 – Pas de dépassement : les trolleybus à perches sont bien adaptés

Tant que des trolleybus n'ont pas à se dépasser, l'alimentation par la ligne aérienne classique peut être réalisée et les trolleybus restent en permanence connectés à la ligne aérienne. C'est le cas notamment du BRT Trolleybus de Quito.

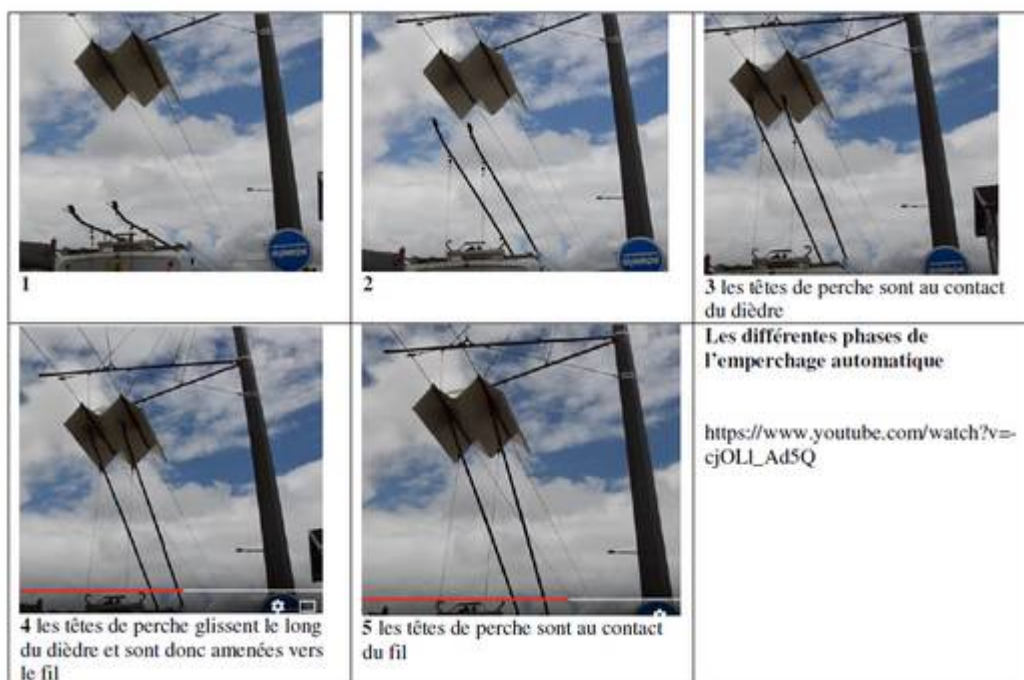
6.2 – Avec dépassement et des trolleybus à perches

Si des trolleybus doivent se dépasser en station, le fonctionnement suivant avec des trolleybus IMC à perches peut être mis en œuvre :

- les trolleybus IMC qui passent sans desservir la station continuent normalement à être connectés à la ligne aérienne,
- les trolleybus IMC qui desservent la station :

- baissent leurs perches et passent en mode autonome peu avant l'entrée dans la station, ce qui peut se commander par action sur le clignotant indiquant qu'ils vont desservir la station. Du fait des perches abaissées, ils peuvent dépasser ou être dépassés. Pour le cas où le déperchage ne se serait pas produit, le conducteur peut le provoquer par un appui sur un bouton spécial. Mais, selon la façon dont est posée la ligne aérienne, l'abaissement des perches s'effectuera automatiquement suite à la perte de contact des perches avec les fils du fait d'un éloignement trop important du trolleybus par rapport aux fils.

- à l'arrivée à leur point de stationnement et à l'arrêt pour échange des voyageurs, ils remperchent grâce au dièdre fixé sur la section de ligne aérienne qui a pour origine le point de stationnement,

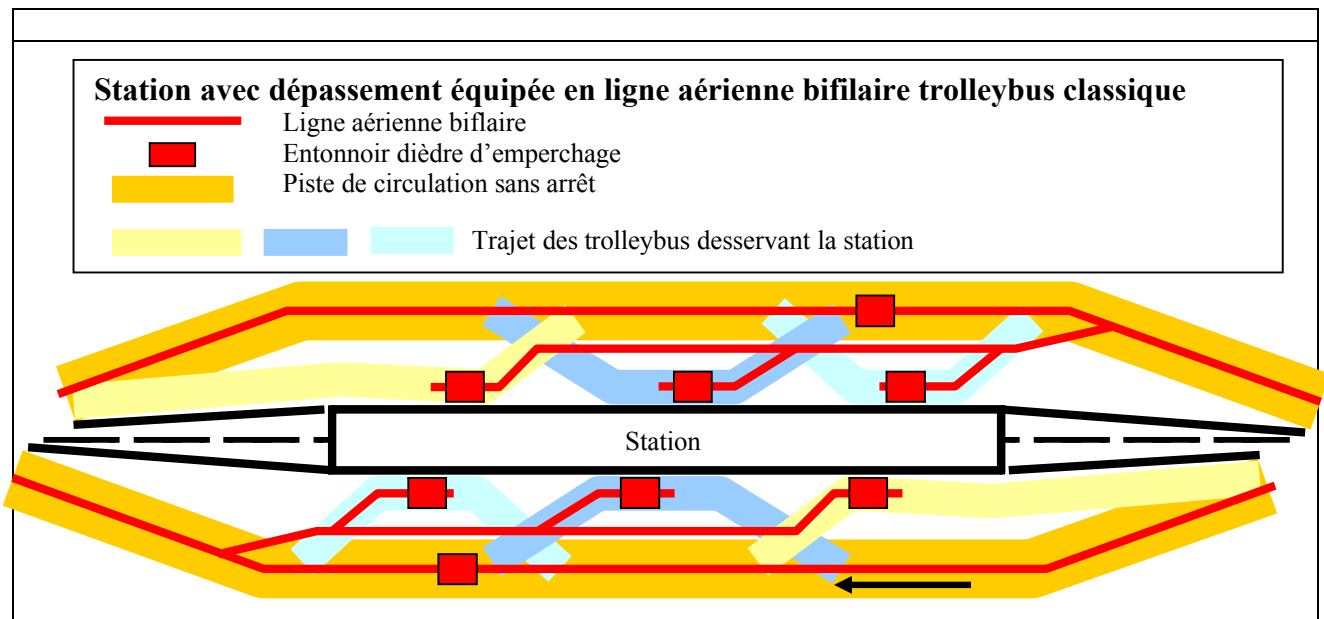


- dès que les trolleybus IMC sont remperchés, les accumulateurs se rechargent,
- lorsque les trolleybus IMC quittent la station, les perches suivent la section de ligne aérienne, qui a pour origine le point de stationnement, et qui vient se connecter aux moyens d'aiguillages pris en talon à la ligne aérienne passante.

Les mêmes opérations recommencent à la station suivante.

Les trolleybus ont donc, en fait, un comportement identique à celui des bus thermiques.

Les aiguillages pris en talon, ne comportant que des pièces mécaniques dont le mouvement est commandé par les têtes de perches, sont beaucoup plus simples et fiables que les aiguillages pris en pointe qui disposent d'un système de motorisation des lames d'aiguille. Pour le cas où un aiguillage en talon d'une station viendrait à être défectueux, il y aurait abaissement des perches pour tous les trolleybus franchissant la station, et les perches ne seraient relevées qu'à la station suivante.



L'aménagement ci-dessus s'applique au cas **BRT L1S2 avec une seule voie de circulation par sens entre les stations.**



Station BRT avec une seule voie de circulation par sens entre les stations et 2 voies en station

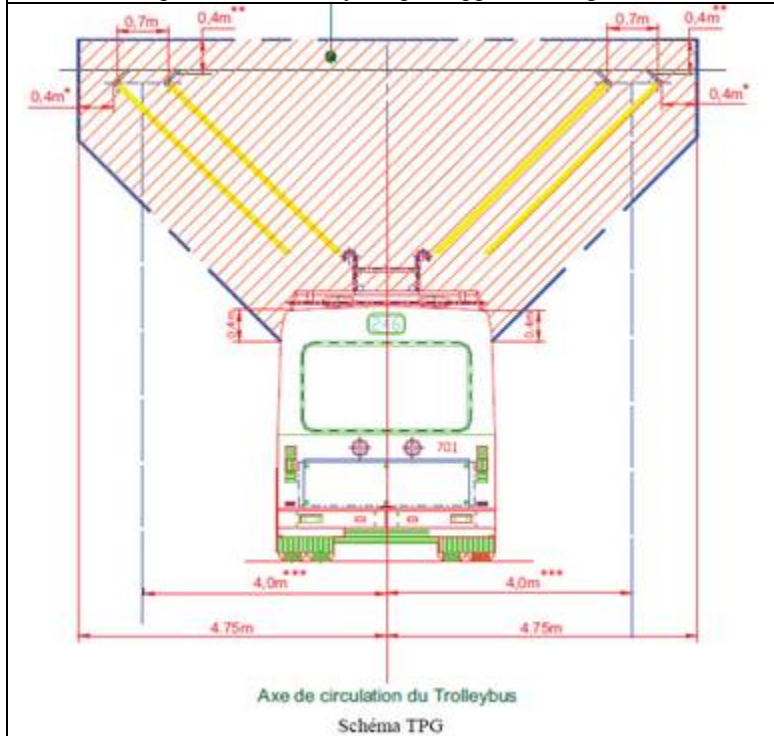
Pour une application au cas **L2S2 avec 2 voies de circulation par sens entre les stations**, il faudrait une ligne aérienne au dessus de chaque voie de circulation et ajouter des aiguillages pris en pointe, ce qui complexifierait la ligne aérienne. A noter que ce cas de lignes BRT du type **L2S2 avec 2 voies de circulation par sens entre les stations** est peu fréquent.

7 - Des trolleybus IMC à pantographes

7 - Trolleybus IMC with pantographs

Les trolleybus avec des perches sont bien adaptés à tous les cas, y compris la circulation dans des rues classiques car, grâce à leurs perches, ils peuvent s'écarter de 4 mètres de part et d'autre de la ligne aérienne

Désaxement possible du trolleybus par rapport à la ligne aérienne



On peut se poser la question de l'utilisation de pantographes de type ferroviaire sur les trolleybus en remplacement des perches.

L'utilisation de pantographes de type ferroviaire nécessite des précautions particulières et ne permet pas d'aussi grands débattements que les perches si on veut garder le contact avec la ligne aérienne. Siemens et Scania ont développé un système de camions électriques, alimentés par une ligne aérienne bifilaire, circulant sur autoroute. Le véhicule pouvant s'éloigner des fils installés au dessus d'une seule file de circulation grâce à une circulation possible sur batteries, les pantographes sont conçus avec un système sophistiqué de détection des fils, et de centrage latéral des pantographes, le pantographe bougeant latéralement pendant la marche pour rester au contact du fil. Cette solution est encore en phase d'essais. Le problème principal à régler est d'éviter que les pantographes ayant perdu le contact avec la ligne aérienne n'arrachent cette dernière.

The use of rail-type pantographs requires special precautions and does not allow a so big gap of the overhead line as the poles, if we want to keep in touch with the OHL. Siemens and Scania have developed a system for electric trucks powered by a two-wire overhead line. As the vehicle can move away from the wires installed above only one traffic lane thanks to batteries, the pantographs are designed with a sophisticated system for detecting the wires, and for lateral centering of the pantographs, the pantograph moves laterally to keep in touch with the wires. This solution is still in testing phase. The main problem to be solved is to prevent pantographs that have lost contact with the OHL to destroy the OHL.

Essais Siemens Scania de camion électrique avec ligne aérienne

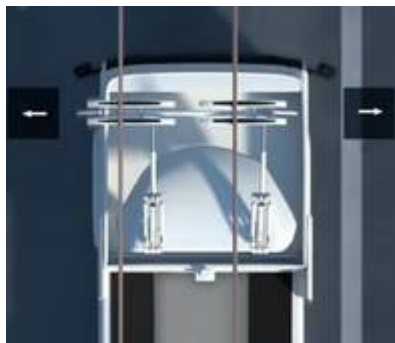


Visualisation du déplacement latéral commandé des pantographes pour rester au contact de la ligne aérienne
<https://www.youtube.com/watch?v=Z8l9ieoIazc>

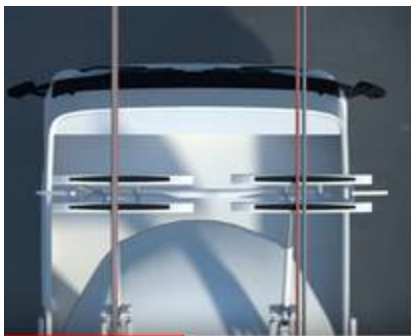
Min 1 :55



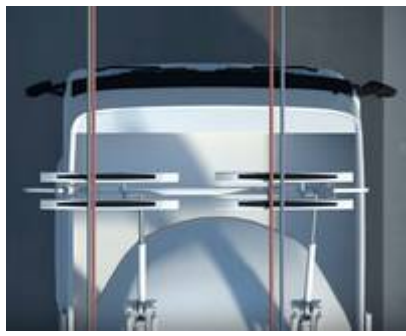
Min 1 :57



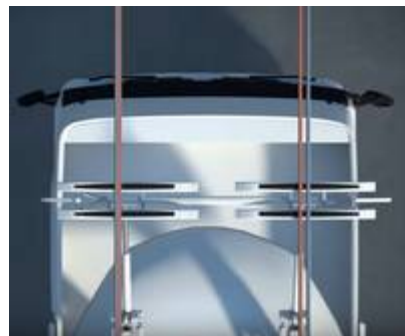
Min 1 :58



Min 1 :59



Min 2 :00



Visualisation à l'arrêt du déplacement latéral commandé du pantographe et du dispositif de détection des fils de la ligne aérienne. https://www.youtube.com/watch?v=XiOuBrFC8NM		
Mn 1 :51	Mn 1 :53	Mn 2 :01
		

Dans le cas des BRT, les véhicules suivent toujours pratiquement la même trajectoire entre les stations, sur une voie mesurant 3,50 mètres de large. Les déplacements latéraux du véhicule sont donc limités.

In the case of BRTs, the vehicles always follow almost the same trajectory between the stations, on a track measuring 3.50 meters wide. The lateral movements of the vehicle are therefore limited.

Il apparaît donc possible d'utiliser des pantographes dont les archets ne débordent pas plus de la caisse du véhicule que les rétroviseurs.

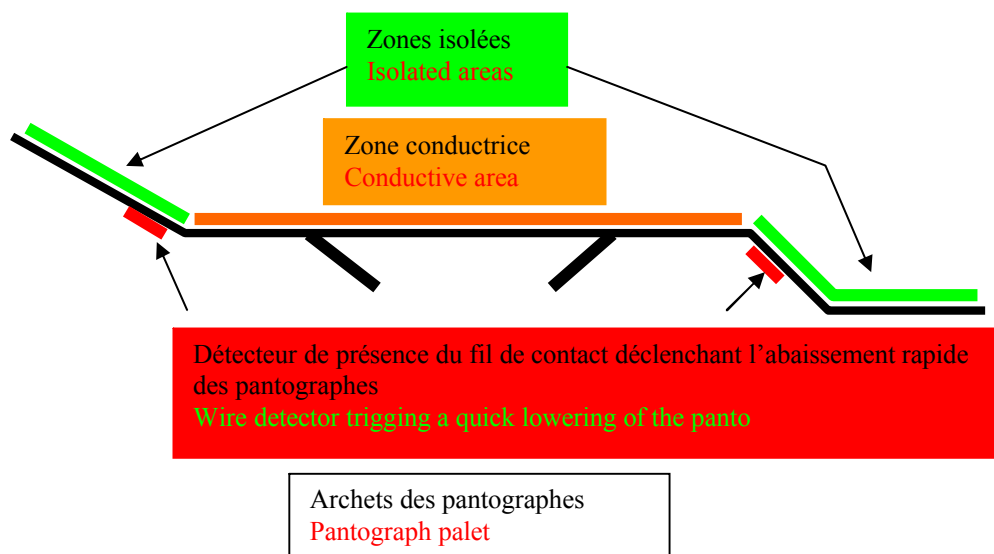
So it appears possible to use pantographs whose palet do not exceed the body of the vehicle more than mirrors.

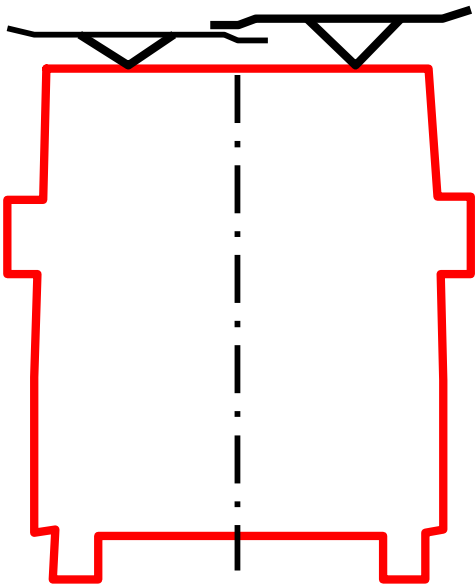
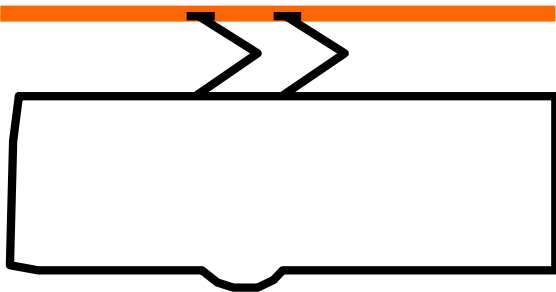
Pour éviter tout risque de court circuit entre les 2 fils de la ligne aérienne, à chaque fil de la ligne aérienne correspond un pantographe, et les archets comportent une zone centrale conductrice de captage du courant et 2 zones latérales isolées.

To avoid any risk of electrical short circuit between the 2 wires of the OHL, a pantograph is set for each wire of the OHL, and each palet have a central conductive area and 2 isolated side areas.

Pour éviter tout arrachage de la ligne aérienne, les parties isolées comportent des détecteurs de présence du fil de contact, provoquant l'abaissement immédiat et rapide des pantographes dès qu'ils sont touchés par un fil de contact

To avoid any destruction of the overhead line, the insulated parts are fitted with presence detectors of the wire, causing the immediate and rapid lowering of the pantographs as soon as the detectors are touched by a wire.



Positionnement des pantographes. Location of the pantographs	
Les archets des pantographes sont à la même altitude, la présentation à une altitude séparée est faite pour permettre la visualisation des 2 archets. The palets of the pantographs are at the same altitude, the presentation at a separate altitude is made to allow the visualization of the 2 palets.	Les pantographes sont décalés dans le sens longitudinal pour éviter qu'ils entrent en contact car une zone, centrale par rapport à la largeur du véhicule, est surplombée en même temps par les 2 archets. The pantographs are staggered in the longitudinal direction to prevent them to come into contact because a zone, central to the width of the vehicle, is overhung at the same time by the two palets.
	

Les pantographes peuvent avoir 2 états :

- abaissés, donc hors service
- en service, donc pouvant débattre dans une plage de hauteur, une butée les empêchant de dépasser une hauteur maxi pantographe (HMP) par rapport au sol.

Pantographs can have 2 states:

- lowered, therefore out of order
- In order, so they can debate in a range of height, a mechanical stop preventing them from exceeding a maximum pantograph height (MPH) relative to the ground.

Pour permettre la circulation du véhicule en voirie routière normale, et pour le cas où le code de la route refuserait tout dépassement de la caisse du véhicule, comme c'est accepté pour les rétroviseurs, deux solutions sont envisageables :

- l'extrémité de l'archet du pantographe dépassant de la caisse du véhicule est articulée et se redresse au contact d'un guide métallique placé sur la toiture lorsque le pantographe est abaissé,
- l'archet du pantographe effectue une rotation quand le pantographe est en position repos pour que l'archet ne dépasse plus de la caisse, cette rotation étant commandée par moteur ou par un guide mécanique sur la toiture

To allow the circulation of the vehicle on normal roadways, and in the case where the Highway Code refuses to exceed the vehicle body, as is accepted for mirrors, two solutions are possible:

- the end of the pantograph palet exceeding from the vehicle body is articulated and is it raised up by contact with a metal guide placed on the roof of the vehicle when the pantograph is lowered,
- the pantograph palet makes a rotation when the pantograph is in the rest position, so that the palet does not exceed the body of the vehicle, this rotation being controlled by motor or by a mechanical guide on the roof.

Les pantographes ne comprennent aucun système sophistiqué, au contraire des pantographes prévus pour les camions électriques.

The pantographs do not include any sophisticated system, unlike the pantographs provided for electric trucks.

La ligne aérienne sera constituée de 2 fils séparés de 1400 mm (au lieu de 700 mm pour les lignes classiques de trolleybus) et pouvant balayer chacun dans une zone de + ou - 100 mm.

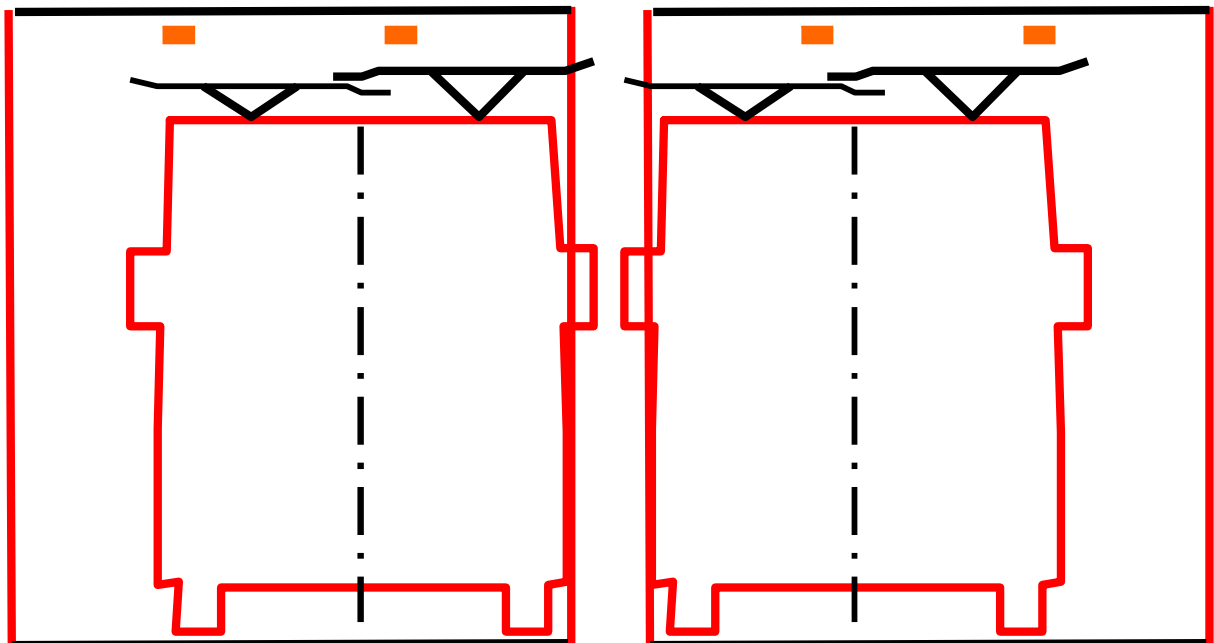
The overhead line will consist of 2 wires separated by 1400 mm (instead of 700 mm for conventional trolleybus lines) and each line can be set in an area of + or - 100 mm.

Les cas extrêmes de positionnement du trolleybus dans une voirie de 3,50 mètres de large sont présentés ci-dessous avec la caisse du trolleybus touchant la limite des 3,50 mètres de la voie de circulation.

The extreme cases of positioning the trolleybus in a way of 3.50 meters wide are presented below with the trolleybus body touching the limit of 3.50 meters of the way.

Le rectangle de couleur cuivre représente le balayage de 100 mm de part et d'autre de l'axe de pose du fil de contact.

The copper colored rectangle represents the 100 mm moving on both sides of the overhead wire laying axis.



Chaque fil de contact est posé à la manière des fils de contact tramway, c'est-à-dire qu'il peut être mis sous tension mécanique et permettre des espacements de poteaux de 60 mètres (contre 25 à 30 mètres pour les lignes aériennes traditionnelles de trolleybus), ce qui procure des économies non négligeables pour l'installation de la ligne aérienne.

Each contact wire is laid in the manner of the tramway overhead line, that is to say it can be set under mechanical tension and allows pole spacings of 60 meters (25 to 30 meters for the traditional trolleybuses overhead lines), which provides significant savings for the installation of the overhead line.

8 - Organisation d'une ligne BRT à Trolleybus IMC avec pantographes

8 - Organization of a BRT line to Trolleybus IMC with pantographs

Une ligne aérienne de contact (LAC) bifilaire est placée tout au long de la ligne, au dessus de l'itinéraire suivi par les trolleybus qui ne desservent pas les stations.

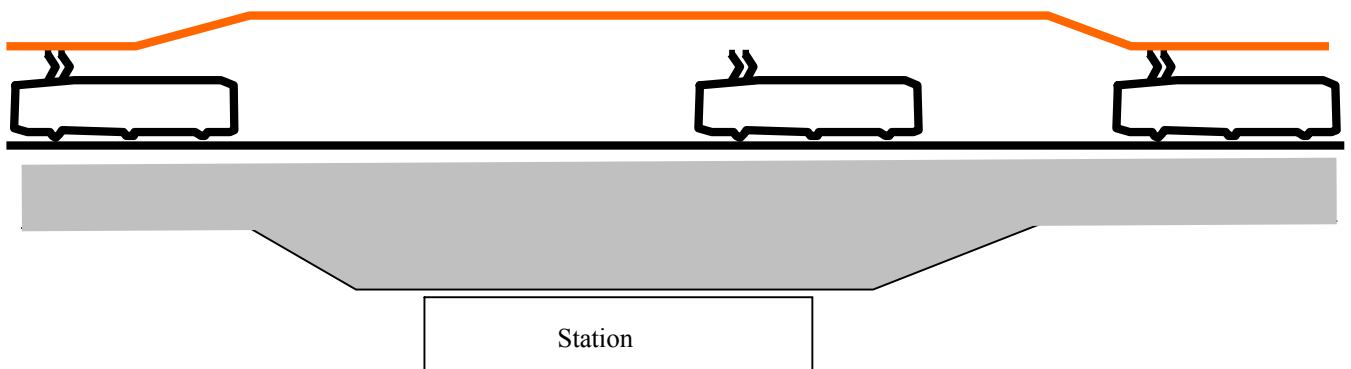
A two-wires overhead contact line (OHL) is built all along the BRT line, above the route followed by trolleybuses that do not serve the stations.

La ligne aérienne est placée à hauteur normale, sauf à la traversée des stations et à certains carrefours avec la voirie.

The overhead line is located at normal height, except in the area of the stations and at certain road crossings.

De l'entrée à la sortie des stations, et aux carrefours où les trolleybus IMC pourraient entrer ou sortir physiquement du site BRT, la ligne aérienne sera posée à une altitude supérieure à la hauteur maxi pantographe (HMP) de façon telle que les trolleybus IMC circulant pantographes levés ne puissent atteindre la ligne de contact.

From the entrance to the exit of the stations, and at the road crossings where IMC trolleybuses could enter or exit physically from the BRT site, the overhead line will be located higher than the maximum pantograph height (MPH) in such a way that the raised circulating IMC trolleybuses pantographs can not reach the overhead line.



Le trolleybus IMC, quelle que soit sa mission, avec ou sans desserte de la station :

- perd le contact avec la ligne aérienne à l'approche de la station
- circule dans la station, soit sans arrêt, soit en s'arrêtant, sur ses accumulateurs (batteries ou super-capacités), pantographes levés en butées, en position hauteur maxi pantographe HMP,
- lors de l'entrée sur la section inter-stations suivante, les pantographes retrouvent le contact avec la ligne aérienne et les accumulateurs sont alimentés.

The IMC trolleybus, whatever its mission, with or without stop in the station:

- loses contact with the overhead line when approaching the station,
- circulates in the station, either without stopping or with stopping, on its accumulators (batteries or super-capacitors), pantographs raised to mechanical stop, in maximum pantograph height MPH position,
- when entering the next inter-station section, the pantographs regain contact with the overhead line and the accumulators are charged.

Le système est donc totalement transparent pour le conducteur et, dans la station, les trolleybus IMC circulent sans aucune contrainte de chemin à suivre et avec toutes les possibilités de dépassement nécessaires, conditions totalement comparables à celles d'une exploitation avec des bus Diesel.

Le nombre de voies de circulation dans les stations peut être quelconque puisque les trolleybus IMC circulent sur batteries et ne sont pas en contact avec la ligne aérienne.

Les entrées et sorties du site BRT aux carrefours où cela est possible sont gérées comme les sorties ou entrées en stations puisque la ligne aérienne a été posée, comme en stations, à une hauteur supérieure à la hauteur maxi pantographe (HMP).

Lorsqu'il s'agit d'une entrée sur le site BRT, le pantographe ne sera levé que lors de l'arrêt ou du passage dans la prochaine station.

Lorsqu'il s'agit d'une sortie du site BRT, pour éviter tout risque de détérioration des pantographes par un obstacle sur la voirie, le conducteur sera amené à abaisser les pantographes à la station précédente, cet abaissement pouvant être contrôlé par le SAE en fonction du code de mission.

En dehors du site BRT, le trolleybus IMC circule obligatoirement en autonomie s'il n'est pas en site propre, une ligne aérienne du type BRT ne pouvant pas être installée. S'il est en site propre, une ligne aérienne du même type que celle du BRT peut être posée.

Si on veut avoir plus d'une voie de circulation entre les stations, toutes les voies seront équipées de ligne aérienne, et les dispositions seront prises (peinture, bordures) pour que les conducteurs aient interdiction de changer de voie entre les stations. Le conducteur devra donc choisir sa voie de circulation au départ des stations. A noter que, normalement, le changement de voie devrait entraîner l'abaissement automatique des pantographes, du fait de la détection du risque de perte de contact avec le fil.

**Le trolleybus IMC avec pantographes permet donc d'équiper
à moindre coût toute ligne BRT existante ou à construire,
et ainsi lui faire profiter de tous les avantages de la traction électrique
avec une solution totalement maîtrisée depuis des décennies,
le trolleybus et la LAC type tramway.**

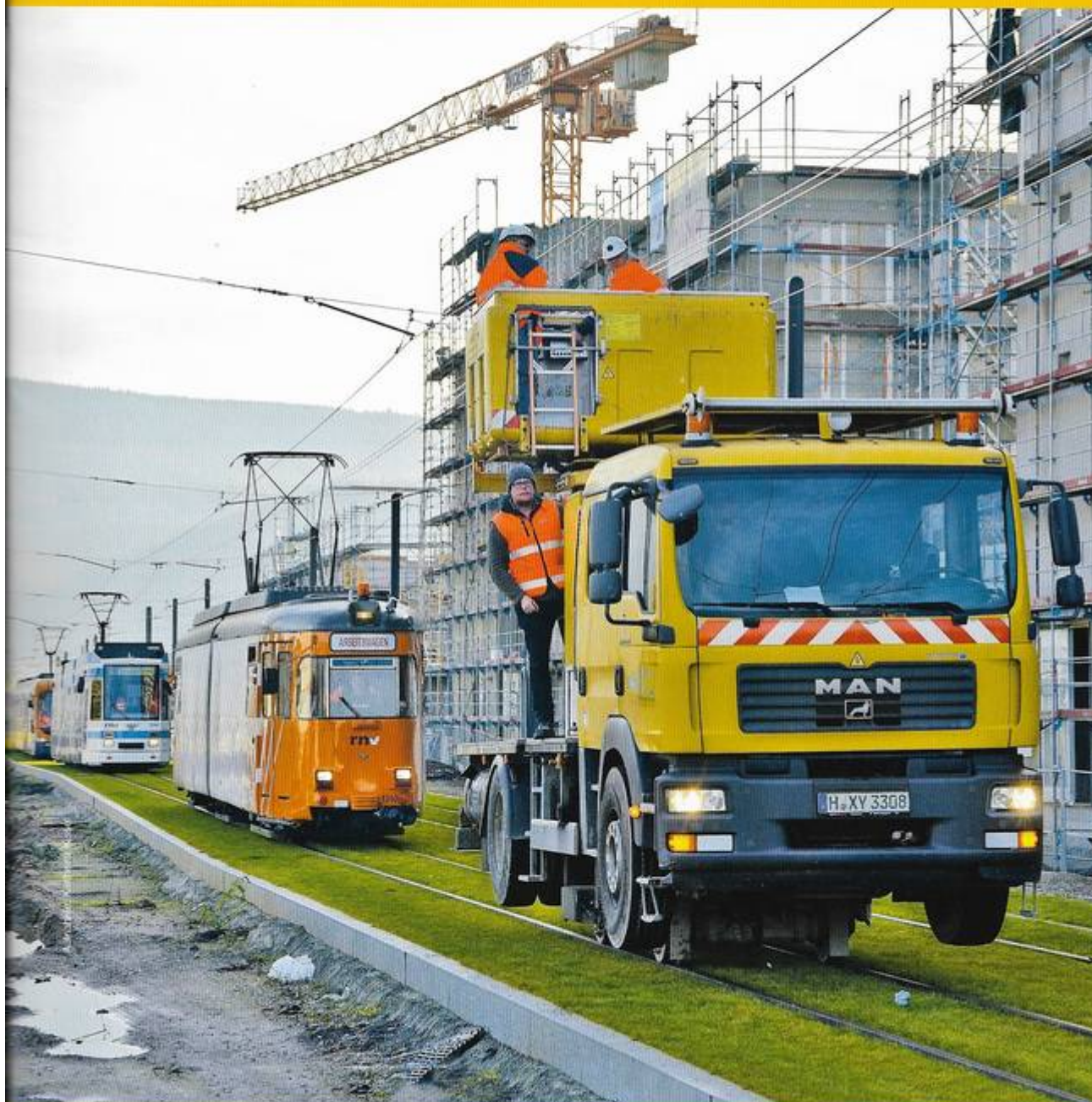
**The IMC trolleybus with pantographs allows to equip,
at a lower cost, any existing or to be built BRT line,
and so gives all the benefits of electric traction
with completely mastered, since decades, solutions,
the trolleybus, and the tramway type overhead line.**

XX

9 – L'article paru dans Stadtverkehr

stadtverkehr

Fachzeitschrift für den öffentlichen Personen-Nahverkehr auf Schiene und Straße



Themen dieser Ausgabe: Bahnstadt: Heidelberg erschließt neuen Stadtteil mit der Straßenbahn – Countdown zur Eröffnung der Amsterdamer Nord-Süd-Metro – BRT-Trolleybusse mit Pantographen? – Kostenlos benutzbarer ÖPNV?...



4 194846 605805 04

Batterie-Trolleybus mit Unterwegs-Ladung über Pantographen

von Pierre Debano, Epernay, Frankreich



Bei vielen BRT-Systemen gehört die Überholung von haltenden Bussen durch Expressbusse zum Fahrplanprogramm (im Bild aus dem Jahr 2010: Scania-Busse des Typs K 270 mit Marcopolo-Aufbauten in Johannesburg, Südafrika). Bei Trolleybussen mit Stromabnahme über Trolleytangen lässt sich dies nur unter hohem Aufwand umsetzen. Dies führte im kolumbianischen Bogotá zur Aufgabe von Elektrifizierungsplänen. Aufnahme: Carl-Erik Andersson; Scania CV AB

Der Trolleybus – Eine bewährte saubere Lösung

Ein Trolleybus ist ein elektrisch angetriebener Bus, der seine Energie über zwei Kontaktstangen (Trolleys) aus einer zweipoligen Fahrleitung bezieht, die in geeigneter Höhe über dem Fahrweg aufgehängt ist. Es handelt sich um eine alte aber bewährte Technologie, die es ebenso wie die der Straßenbahn verstanden hat, sich an die moderne Entwicklung der elektrischen und elektronischen Komponenten anzupassen. Während aber die moderne Straßenbahn das Interesse zahlreicher Städte fand und sehr viele neue Systeme gebaut wurden, blieb dieser Erfolg dem Trolleybus verwehrt – und das ungeachtet der 40.000 Trolleybusse, die immer noch in 370 Städten der Welt im Einsatz stehen. Es sind die Trolleybus-Fahrleitungen, die dabei auf besondere Ablehnung stoßen.

BRT-Systeme (Bus Rapid Transit) haben außerhalb Europas eine beträchtliche Verbreitung gefunden, aber mit wenigen Ausnahmen, die sich meist in China finden, werden die Fahrzeuge von Dieselmotoren, seltener Gasmotoren, angetrieben. Diese bringen enorme Emissionen mit sich, insbesondere weil Antriebe und Treibstoffe selten den europäischen oder nordamerikanischen Normen entsprechen.

Um diese Schadstoff- und Lärmemissionen, die wegen der BRT-typisch sehr dichten Wagenfolge besonders ausgeprägt sind, zu reduzieren, erwog die kolumbianische Hauptstadt Bogotá eine Umstellung auf Trolleybusse. Gescheitert ist das Projekt letztlich an der Fahrleitungsproblematik.

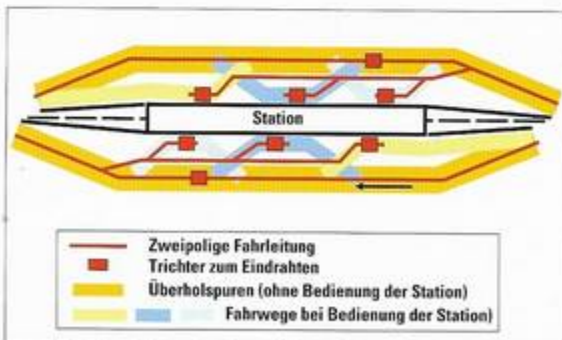


In Quito (Ecuador) wurde 1996 ein Trolleybusssystem eröffnet, das teilweise BRT-Charakter aufweist. Nach über 100 elektrischen Fahrzeugen kamen zuletzt aber 80 Doppelgelenk-Dieselsbusse von Volvo/Marcopolo in Betrieb. Die Überholung von haltenden Bussen durch Expresskurse ist in Quito nicht verbreitet. Aufnahme: Karsten Göbel

Schwachpunkte einer Trolleybusfahrleitung sind die Fahrleitungsweichen. Trolleybusse können einander nicht überholen, ohne dass ein Fahrzeug seine Trolleystangen abzieht und nach dem Überholvorgang wieder anlegt, was häufig mit einem Zeitverlust einhergeht. Bei BRT-Systemen ist es aber üblich, dass Expresskurse solche Busse überholen, die gerade eine Haltestelle bedienen. Hierfür besteht zwar auch im Trolleybuswesen eine technische Lösung, die sich aber auf Fahrleitungsweichen mit all ihren Nachteilen stützt. Wo keine so hohe Wagenfolge besteht und Überholungen nicht vorgesehen sind, besteht kein Problem, aber bei BRT-Anwendungen mit regelmäßigen Überholungen würde eine funktionsunfähige Fahrleitungsweiche ein erhebliches Störungsrisiko bedeuten. Dieser Punkt wurde letztlich als Begründung für die Aufgabe des Elektrifizierungsprojekts in Bogotá genannt.

Neue Möglichkeiten durch aktuelle Trolleybusentwicklungen

Moderne Trolleybusse verfügen über Bord-Energiespeicher, die ihnen einen Betrieb abseits der Fahrleitungen über mehrere Kilometer erlauben und die Wiederaufladung unter Fahrleitung vorsehen. Diese Lösungen werden je nach Hersteller unterschiedlich bezeichnet, beispielsweise als IMC (In Motion Charging). Dabei wird der Traktionsmotor stets durch die Batterie mit Energie versorgt. Diese wird nachgeladen sobald das Fahrzeug unter Fahrleitung verkehrt. Der Übergang zwischen Abschnitten mit und ohne Fahrleitung ist für die Speisung des Antriebsmotors ohne Kon-



Beispiel für eine Station mit mehreren Haltepositionen an einem Mittelbussteig (Linksverkehr) und mit Überholmöglichkeit in einem BRT-System mit klassischer zweipoliger Trolleybusfahrleitung. Durchfahrende Busse bleiben eingedrahtet, haltende Busse drahten während der Fahrt aus und im Stehen wieder ein. Abbildung: P. Debono

sequenz und stellt somit auch an den Fahrer keine besonderen Anforderungen.

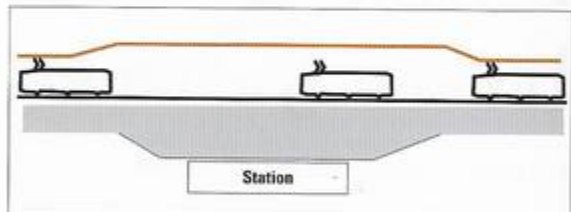
Bestehen bleibt die Problematik der Fahrleitung mit ihren Weichen. Zwar kann ein (BRT-)Trolleybus seine Stangen während der Fahrt abziehen, um in eine Haltestelle einzufahren und sie dort parallel zum Fahrgastwechsel und somit ohne Zeitverlust über einen Trichter wieder anlegen, aber eine solche Überholungsmöglichkeit im System benötigt viele Fahrleitungsweichen für die Wiedereinfädung in den durchgehenden Strang und diese stellen nun einmal einen Schwachpunkt dar.

Lösung nach dem Vorbild einer Straßenbahn

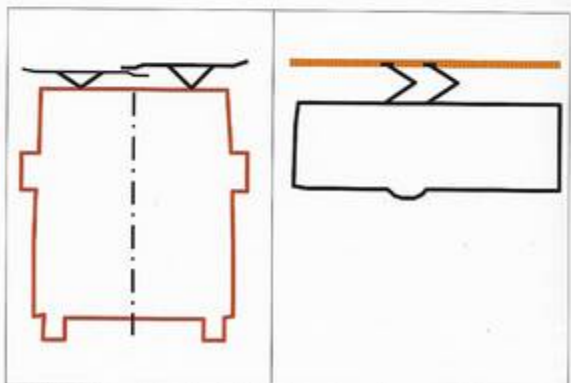
Straßenbahn-Fahrleitungen benötigen keine Weichen. Sie sind daher weniger komplex und erlauben vergrößerte Mastabstände von bis zu 60 m verglichen mit klassischen Trolleybus-Fahrleitungen, bei denen der Abstand bei etwa 30 m liegt. Die Pantographen der Straßenbahnen stellen eine relativ einfache Technologie dar. All dies führt dazu, dass die Kosten für eine Straßenbahn-Fahrleitung erheblich niedriger sind als die einer Trolleybus-Fahrleitung. Könnte man also eine Trolleybus-Anlage mit einer Straßenbahn-Fahrleitung samt Stromabnahme durch Pantographen realisieren, verspräche dies erhebliche Kosteneinsparungen bei gleichzeitig verbesserter Zuverlässigkeit.

Allerdings funktioniert die Pantographenlösung bei der Straßenbahn nur wegen der Spurführung, die sicherstellt, dass sich das Schleifstück des Stromabnehmers stets unter der Fahrleitung befindet. Ein Trolleybus kann nötigenfalls auf die Nachbarspur ausweichen, ohne den Kontakt der Schleifstücke an den Enden der Trolleystangen mit den Fahrleitungsdrähten zu verlieren. Würde ein Trolleybus mit Pantograph dagegen die vorgesehene Spur verlassen, riskierte er, mit den Schleifstücken in die Aufhängung der Fahrleitung einzufädeln und diese herabzureißen.

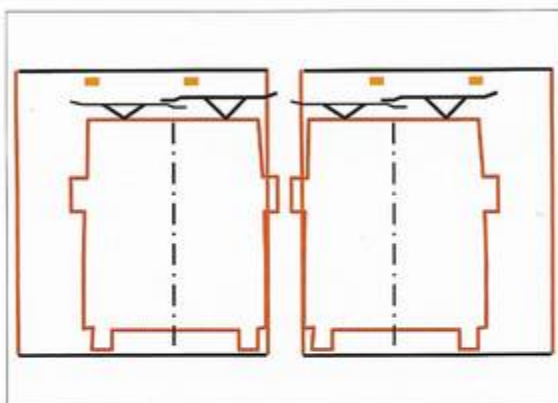
Ein Trolleybus mit Pantograph ist daher im üblichen Mischverkehr auf gemeinsam mit dem Individualverkehr genutzten Fahrspuren, der regelmäßig Ausweichmanöver notwendig macht, nicht einsetzbar. Anders könnte sich das auf einer BRT-Anlage darstellen, wo die Busse auf ihren eigenen Fahrspuren unterwegs sind. Sind diese etwa 3,5 m breit, wäre es denkbar, Pantographen mit ausreichend breiten Schleifstücken einzusetzen. Dabei wäre an folgende Elemente zu denken:



Höhenprofil der Fahrleitung beim Betrieb mit ein- und ausfädelnden Batterie-Trolleybussen mit Pantographen. Abbildung: P. Debono



Die Ausrüstung auf dem Dach des Fahrzeugs besteht aus zwei Pantographen mit großen Schleifstücken in speziell Form (linkes Bild). Die Stromabnehmer sind in Längsrichtung versetzt (rechtes Bild). Abbildung: P. Debono



Bleibt der Bus auf seiner 3,5 m breiten Fahrspur, wie es bei vielen BRT-Anlagen üblich ist, besteht keine Gefahr, dass der Kontakt zur Fahrleitung verlorengeht und sich eine gefährliche relative Position von Schleifstücken und Fahrdrähten ergibt.

Abbildung: P. Deban

- Fahrleitung in Straßenbahntechnik (unveränderte Masten, Ausleger und Befestigungsklemmen) aber mit zwei Fahrdrähten im Abstand von 1400 mm für Plus- und Minuspol.
- In Streckenabschnitten, in denen der Trolleybus seine 3,5 m breite Fahrspur nicht verlässt, d.h. zwischen den Haltestellen, ist die Fahrleitung in normaler Höhe, geeignet für den Kontakt zwischen Pantograph und Leitung, aufgehängt.
- In Abschnitten, wo das Fahrzeug von der elektrifizierten Fahrspur abweichen können soll (Haltestellen, Straßenkreuzungen), ist die Fahrleitung höher verlegt, so dass kein Kontakt zwischen Pantograph (Schleifstück) und Leitung möglich ist.

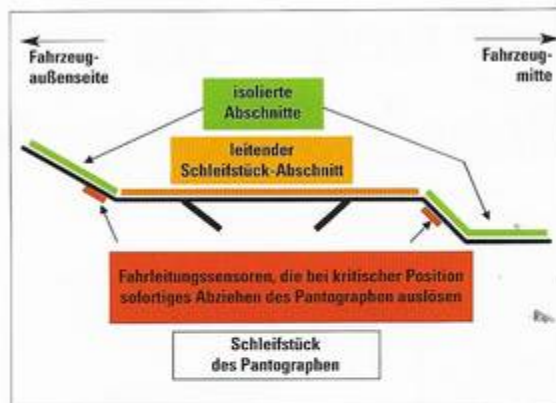
Wenn nun ein solcher Trolleybus mit zwei Pantographen (einer für jeden Pol) und mit Unterwegsladetechnologie den Kontakt zur Fahrleitung verliert, kann zwar keine Nachladung mehr stattfinden, das Fahrzeug bleibt aber voll mobil. Treten wieder Fahrleitungen hinzu, läuft auch die Ladung wieder. Aus der Perspektive des Chauffeurs steuert sich ein solches Fahrzeug somit genau wie ein Autobus; der Fahrer braucht sich um die Fahrleitung keine Gedanken zu machen.

Die Ausrüstung auf dem Dach des Fahrzeugs besteht aus zwei Pantographen klassischer Konzeption jedoch mit geeignet dimensionierten Schleifstücken in angepasster Form. Die Stromabnehmer sind in Längsrichtung versetzt. Bleibt der Bus auf seiner 3,5 m breiten Fahrspur, besteht keine Gefahr, dass der Kontakt zur Fahrleitung verlorengeht und sich eine gefährliche relative Position von Schleifstücken und Fahrdrähten ergibt. Will man eine zusätzliche Sicherheit einbauen, kann dies durch Sensoren geschehen, welche eine gefährliche Randlege des Drahts am Schleifstück erkennen und ein schnelles Abziehen des Stromabnehmers auslösen.

Ein Trolleybus der sich fährt wie ein Autobus

Nähert sich der hier vorgeschlagene Trolleybus mit Pantographen und Unterwegslade-Technik einer Haltestelle, ist die Fahrleitung zunehmend hoch aufgehängt. Die Pantographen folgen dem Fahrdrabt bis zum Anschlag, dann löst sich der Kontakt. Das Fahrzeug steuert die Haltestelle im Batteriebetrieb an und kann auf der benachbarten Durchfahrtspur überholt werden, ganz so, wie es bei Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren der Fall ist. Nach dem Verlassen der Haltestelle gelangt der Bus wieder auf die Hauptfahrspur wo sich die Fahrleitung absenkt, bis der Kontakt zwischen Pantographen und Leitungen wieder hergestellt wird und sich die Batterieladefunktion während der Fahrt erneut einstellt.

Dieselbe Lösung mit den abschnittsweise erhöht angebrachten Fahrdrähten lässt sich auch an Kreuzungen umsetzen, wo Fahrzeuge in den elektrifizierten Bereich einfahren oder ihn verlassen sollen. Ebenfalls vorteilhaft könnte die Lösung in engen Kurven sein, wo eine präzise über der Fahrspur liegende und im Kontakt befahrene Oberleitung sehr viele Masten erfordern würde.



Sensoren, welche eine gefährliche relative Position des Schleifstücks zum Fahrdrabt erkennen und bei Bedarf ein schnelles Abziehen des Stromabnehmers auslösen, können sicherstellen, dass es zu keinem ungewollten Kontaktverlust mit der Gefahr von mechanischen Beschädigungen der Fahrleitung durch ein falsch platziertes Schleifstück kommt. Die zur Fahrzeugmitte hin orientierte isolierte Partie des Schleifstücks ist hier nach unten abgewinkelt, um einen ungewollten Kontakt zum zweiten Fahrdrabt jederzeit auszuschließen. Die äußere isolierte Partie kann durch ein nicht abgebildetes Gelenk nach oben geklappt werden, damit bei abgezogenem Stromabnehmer die Fahrzeugumgrenzung ohne Überstand eingehalten wird.

Abbildung: P. Deban

Trolleybus mit Unterwegs-Ladung und Pantographen – Chance für bestehende und zukünftige BRT-Systeme

Der Trolleybus mit Unterwegs-Ladung und Pantographen stützt sich vollständig auf bestehende, einfache und bewährte Technik. Er ist deshalb eine Chance für BRT-Systeme, ermöglicht er doch elektrische Antriebe ohne lokale Abgasemission, eine starke Leistung mit hoher Beschleunigung und vorteilhaften Fahrzeiten, und das bei Lebenszykluskosten, die versprechen, besser konkurrenzfähig zu denen von Dieselflotten zu sein als es solche mit klassischen Trolleybusfahrleitungen wären.

Übersetzung aus dem Französischen: SG



Seit Jahren gibt es Initiativen, im Lkw-Güterverkehr durch Elektrifizierung zu verringerten lokalen Emissionen zu kommen. Siemens und Scania realisierten 2016 ein erstes „eHighway-System“ auf einer öffentlichen Straße – auf einem 2 km langen Autobahnabschnitt der E16 nördlich von Stockholm. Ende 2018 soll durch Siemens ein 10 km langer Abschnitt der A5 zwischen den Anschlussstellen Zeppelinheim/Cargo City Süd des Frankfurter Flughafens und Darmstadt/Weiterstadt mit zweipoliger Fahrleitung überspannt sein. Ein Sensorsystem ermöglicht dem auf dem Fahrzeugdach montierten Stromabnehmer bei einer Geschwindigkeit bis 90 km/h den Kontakt zur Oberleitung herzustellen und zu unterbrechen. Durch eine seitliche Verschiebbarkeit oder eine Drehbewegung auf einer Lafette können die Stromabnehmer-Schleifstücke der Hybrid-Lkw dem Fahrleitungsverlauf in einem gewissen Rahmen folgen. Aufn.: Siemens