



TOSA – Transport par bus avec Optimisation du Système d'Alimentation

TOSA - Elektrischer Bus mit optimierter Stromversorgung

TOSA - Transport by bus with Optimized Supply Autonomy

Groupe de travail sur l'Energie
ROBERT-Nicoud, Thierry

Service Industriels de Genève
GARNERI, Charles
TSENG, Yi-Hui

Office de la promotion des Industries et des Technologies
CHEVREY, Gilles
BENJOUYA, Patrice

Transports Publics Genevois
WAGENKNECHT, Thierry
SCHENKER, Silvan
MICHEL, Nicolas

**Projet de recherche AGE 2013/001_ENG sur demande du groupe de
travail sur l'énergie (AGE)**

Der Inhalt dieses Berichtes verpflichtet nur den (die) vom Bundesamt für Strassen unterstützten Autor(en). Dies gilt nicht für das Formular 3 "Projektabschluss", welches die Meinung der Begleitkommission darstellt und deshalb nur diese verpflichtet.
Bezug : Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)

Le contenu de ce rapport n'engage que les auteurs ayant obtenu l'appui de l'Office fédéral des routes. Cela ne s'applique pas au formulaire 3 « Clôture du projet », qui représente l'avis de la commission de suivi et qui n'engage que cette dernière.
Diffusion : Association suisse des professionnels de la route et des transports (VSS)

La responsabilità per il contenuto di questo rapporto spetta unicamente agli autori sostenuti dall'Ufficio federale delle strade. Tale indicazione non si applica al modulo 3 "conclusione del progetto", che esprime l'opinione della commissione d'accompagnamento e di cui risponde solo quest'ultima.
Ordinazione : Associazione svizzera dei professionisti della strada e dei trasporti (VSS)

The content of this report engages only the author(s) supported by the Federal Roads Office. This does not apply to Form 3 'Project Conclusion' which presents the view of the monitoring committee.
Distribution: Swiss Association of Road and Transportation Experts (VSS)



TOSA – Transport par bus avec Optimisation du Système d'Alimentation

TOSA - Elektrischer Bus mit optimierter Stromversorgung

TOSA - Transport by bus with Optimized Supply Autonomy

Groupe de travail sur l'Energie
ROBERT-Nicoud, Thierry

Service Industriels de Genève
GARNERI, Charles
TSENG, Yi-Hui

Office de la promotion des Industries et des Technologies
CHEVREY, Gilles
BENJOUYA, Patrice

Transports Publics Genevois
WAGENKNECHT, Thierry
SCHENKER, Silvan
MICHEL, Nicolas

**Projet de recherche AGE 2013/001_ENG sur demande du groupe de
travail sur l'énergie (AGE)**

Impressum

Instance de recherche et équipe de projet

Direction du projet

Thierry Robert-Nicoud

Membres

Thierry Wagenknecht

Gilles Chevrey

Charles Garneri

Yi-Hui Tseng

Patrice Benjouya

Silvan Schenker

Nicolas Michel

Commission de suivi

Président

Christoph Stucki

Membres

Thomas Nideröst

Anna Stamp

Olivier Epelly

Martin Pulfer

Tristan Chevroulet

Alfred Rufer

Auteur de la demande

Le Groupe de travail sur l'Energie

Source

Le présent document est téléchargeable gratuitement sur <http://www.mobilityplatform.ch>.

Table des matières

Impressum	4
Table des matières	5
Résumé	7
Zusammenfassung.....	9
Summary	11
1 Genèse et objectifs du projet TOSA.....	13
1.1 Genèse.....	13
1.2 Le concept de biberonnage.....	13
1.3 Les atouts de TOSA.....	14
1.4 Le test de TOSA avec le démonstrateur	15
1.5 Les objectifs de l'étude.....	17
2 La recharge Flash pour une mobilité durable	19
2.1 Le choix de la batterie lithium Titanate.....	19
2.2 L'état de l'art.....	21
2.3 Les partenaires, quatre compétences clés pour atteindre une mobilité durable	22
2.4 Validation du concept et prochaine étape	23
3 Analyse des risques (WP1)	25
3.1 Analyse des standards de sécurité (T1.1).....	25
3.2 Elaboration de scénarii (T1.2)	25
3.3 Validations externe et finale (T1.3)	26
3.4 Points significatifs de l'analyse des risques (T1.4)	27
3.4.1 Electrocution par contact avec le bus - Action d'atténuation 1	27
3.4.2 Energie stockée sur le toit du bus (batterie) - Action d'atténuation 2	27
3.4.3 Energie stockée dans l'infrastructure (supercaps) - Action d'atténuation 3.....	28
3.4.4 Accès aux équipements en phase de maintenance - Action d'atténuation 4	28
3.4.5 Arc électrique lors de la connexion / déconnexion - Action d'atténuation 5.....	28
3.4.6 Collisions avec l'infrastructure de charge ou un obstacle - Actions d'atténuation 6.....	28
3.4.7 Exploitation en mode dégradé - Actions d'atténuation 7.....	29
4 Modélisation économique (WP2).....	31
4.1 Analyse SWOT (T2.1)	31
4.2 Analyse comparative des modes de transports (T2.2)	31
4.3 Simulations financières (T2.3).....	32
4.4 Modélisation économique (T2.4).....	34
5 Interface véhicule-infrastructure et aspects d'automatisation (WP3)	35
5.1 Description détaillée de l'interface et automatismes (T3.1)	35
5.1.1 Contraintes	35
5.1.2 Descriptif d'interaction véhicule – infrastructure	36
5.2 Analyse du cadre juridique (T3.2)	38
5.2.1 Motivation juridique de la requête en assujettissement	38
5.3 Enjeux des parties prenantes (T3.3)	40
5.3.1 Perspective selon le législateur.....	40
5.3.2 Perspectives selon le propriétaire des routes	41
5.3.3 Perspectives selon l'exploitant	41
6 La Technologie super-condensateurs (supercaps) et cycle de vie (WP4).....	43
6.1 Description détaillée et exploitation des super condensateurs aux stations Flash.....	43
6.2 Gestion du réseau électrique	44
6.2.1 Gestion des pics de puissance	44
6.2.2 Potentiel lié au Smartgrid	45

6.3	Fonctionnement d'une recharge Flash.....	46
7	Conclusion.....	49
7.1	La gestion des risques	49
7.2	L'évolution des infrastructures	49
7.3	L'évolution du véhicule TOSA.....	49
7.4	L'exploitation	50
7.5	Les perspectives futures	50
	Annexes	51
	Glossaire	67
	Bibliographie	69
	Clôture du projet	71
	Index des rapports de recherche en matière de route	75

Résumé

En 2013 plus de 50% de la population mondiale émigrerait dans les villes pour y habiter ce qui, par voie de conséquence, pose d'énormes défis en matière de mobilité urbaine et plus spécifiquement pour l'exploitation de transports publics. Les exigences des citoyens quant à la réduction du temps passé dans les déplacements poussent les exploitants à développer leur offre, notamment en ce qui concerne les bus à haut niveau de service. C'est sur cette application particulière, qu'un consortium de 4 partenaires a décidé de développer un démonstrateur appelé TOSA, acronyme pour Transport par bus avec Optimisation du Système d'Alimentation. En effet, l'innovation accélérée dans le domaine des batteries a permis d'imaginer la mise sur pied d'un système de bus équipé d'unités de stockage et se rechargeant le long de la ligne. Il s'agit donc d'un transfert d'un mode diesel vers un mode électrique avec stockage, ce qui permet de s'affranchir de deux impacts néfastes à savoir les émissions de particules polluantes d'une part, ainsi que le réseau de caténaires, impacts particulièrement négatifs en zone urbaine.

La recharge électrique du bus le long de la ligne est basée sur le concept de biberonnage, c.-à-d. par la connexion du véhicule ; via un système automatique installé sur son toit ; à une infrastructure installée à certains arrêts, laquelle délivre l'énergie requise. La présente étude est basée sur l'exploitation in situ d'un bus équipé de batteries et de deux infrastructures de recharge distinctes dont une recharge flash de 15 secondes pour un arrêt ainsi qu'une recharge terminal de 3 à 5 minutes. Elle analyse en détails quatre aspects importants relatifs à cette innovation de transports.

Le premier concerne les risques liés à l'exploitation et l'adéquation du bus et de son infrastructure en regard des standards de sécurité. Les principaux défis relèvent du stockage et du transfert d'énergie électrique, lesquels sont analysés en détails et font l'objet de mesures de réduction ad hoc. En outre, différents scénarii d'exploitation du bus en mode dégradé ont été élaborés permettant ainsi de prendre en compte de manière exhaustive toutes les options qui s'offrent à l'exploitant pour minimiser les impacts sur son service.

Le second aspect pris en compte dans ce rapport est l'étude économique et la comparaison des dépenses énergétiques par rapport à un trolleybus classique. Il apparaît que globalement, le système TOSA est moins cher que le trolleybus classique. De manière détaillée, la part des coûts d'exploitation est très importante, notamment en lien avec la cherté de la main d'œuvre. Alors que les coûts liés à l'achat des véhicules sont sensiblement identiques pour le trolley et TOSA, l'investissement et les coûts de maintenance de l'infrastructure des caténaires jouent nettement en défaveur du trolley. Les coûts d'énergie électriques plus importants pour TOSA ne sont pas dus à une consommation accrue de ce système par rapport au trolley mais au mode de calcul de prix du fournisseur SIG.

La description de l'interface entre le véhicule et l'infrastructure ainsi que de son mode opératoire est le troisième aspect de l'étude. Les impacts sur l'exploitation notamment du point de vue des différentes parties prenantes y sont décrits en détail. En outre, cette partie explique la procédure d'assujettissement du véhicule par l'OFT et son acceptation en tant que bus électrique.

Ensuite, le quatrième aspect couvre la technologie des super-condensateurs (supercaps) et leur mise en œuvre dans la partie de stockage de l'énergie dans l'infrastructure. Le développement d'unités de stockage d'énergie décentralisées pose des questions sur la gestion du réseau électrique dans son ensemble, questions qui sont abordées dans cette partie, notamment dans une perspective de développement du smartgrid.

Les perspectives que ce nouveau mode de transport apporte sont multiples. Aujourd'hui ce sont les bus à haut niveau de service mais demain d'autres applications sont à envisagées notamment celles pour lesquelles les caractéristiques de TOSA sont pertinentes. Le développement commercial du système de biberonnage sera soumis aux lois du marché mais un enjeu crucial sera la standardisation d'un tel système. Enfin, l'innovation portant sur le véhicule avec son équipement embarqué ainsi que sur l'infrastructure de recharge le long de la ligne il faut envisager le système TOSA comme une solution, laquelle va immanquablement remettre en cause certains modèles d'affaire de fournisseurs tout comme certains rôles de parties prenantes.

Zusammenfassung

2013 lebte bereits über 50% der Weltbevölkerung in Städten. Diese Entwicklung geht mit gewaltigen Herausforderungen im Bereich der urbanen Mobilität und insbesondere des Betriebs der öffentlichen Verkehrsmittel einher. Die Betreiber reagieren mit einer Erweiterung des Angebots, beispielsweise mit einem hochwertigen Bussystem (BRT) auf das Bedürfnis der Bürgerinnen und Bürger, weniger Zeit für die Fahrten aufwenden zu müssen. Zu diesem Zweck wurde ein Konsortium mit 4 Partnern gebildet, um einen neuen elektrischen Bus mit Zwischenaufladung (Transport par bus avec Optimisation du Système d'Alimentation - TOSA) zu entwickeln. Dank technischer Innovationen im Bereich der Batterien konnte ein neuartiges System geschaffen werden, bei dem die Busse mit Speichereinheiten an Bord an mehreren Haltestellen wieder aufgeladen werden. Dadurch ergibt sich die Möglichkeit von einem Dieselantrieb auf einen elektrischen Antrieb ohne Fahrleitung zu wechseln. Zwei negative Wirkungen werden eliminiert: einerseits die Feinstaubemissionen aus den Abgasen und andererseits die besonders in der Stadt das Auge störenden Fahrleitungen der Trolleybusse.

Das Aufladungssystem beruht auf dem Konzept der Zwischenaufladung, genauer gesagt auf der Andockung des Fahrzeugs über ein automatisches System auf dem Dach an eine an gewissen Haltestellen errichtete Infrastruktur. Die vorliegende Studie beschreibt den Versuchsbetrieb eines Busses, der mit Batterien versehen wurde und zwei fixen Konstruktionen, eine für die Kurzaufladung während 15 Sekunden an einer Zwischenhaltestelle und eine zweite für die Aufladung an einer Endstation während 3 bis 5 Minuten. Diese restriktiven Zeitvorgaben sind vom Betreiber verlangt worden. In dem in vier Teile gegliederten Bericht werden vier wichtige Aspekte dieses innovativen Transportsystems beschrieben.

Der erste Aspekt bezieht sich auf die Betriebsrisiken sowie die Tauglichkeit des Busses und der Infrastruktur im Hinblick auf die Sicherheitsstandards. Anschliessend werden die wichtigsten Herausforderungen der Speicherung und Übertragung der elektrischen Energie, sowie die entsprechenden Massnahmen zur Risikominderung im Detail beleuchtet. Zusätzlich werden verschiedene Betriebsszenarien im Fall von Störungen dargelegt, um sämtliche Optionen des Betreibers aufzuzeigen, die ihm zur Verfügung stehen, um diese zu minimieren.

Beim zweiten im Rahmen des Projektes beleuchteten Aspekt geht es um den Vergleich der Wirtschaftlichkeit und des Energieverbrauchs des neuen Systems mit dem klassischen Trolleybus. Es zeigt sich, dass das neue TOSA System preislich günstiger ist als der klassische Trolleybus. Die Betriebskosten bleiben, unter anderem aufgrund der bedeutenden Personalkosten, sehr hoch. Während der Kaufpreis der beiden Busmodelle – Trolleybus und TOSA – mehr oder weniger gleich hoch ist, geht der klassische Trolleybus in Hinblick auf die zu tätigen Investitionen für den Bau und die Wartung der Fahrleitungen eindeutig als Verlierer hervor. Die höheren Energiekosten für TOSA werden nicht durch einen höheren Verbrauch im Vergleich zum Trolleybus verursacht, sondern durch das Tarifmodell des Stromversorgers SIG.

Im dritten Teil werden die Schnittstelle der Stromübertragung zwischen Fahrzeug und Infrastruktur sowie der Betrieb beschrieben. Die Auswirkungen auf die involvierten Partner werden im Detail evaluiert. Zudem wird das Zulassungsverfahren des BAV im Hinblick auf den neuen Fahrzeugtyp erläutert.

Der letzte Teil beleuchtet die Technologie der Superkondensatoren (Supercaps) und ihre Integration in die Energiespeicherung an den Ladehaltestellen. Die Entwicklung von dezentralen Speichereinheiten wirft Fragen zum Betrieb des gesamten Stromnetzes auf, die in diesem Teil, unter dem Blickwinkel der Entwicklung des Smartgrids behandelt werden.

Das innovative Transportsystem eröffnet eine Vielzahl von neuen Perspektiven. Heute steht vor allem das leistungsfähige Bussystem im Fokus, doch in naher Zukunft sind andere Anwendungen mit den Merkmalen von TOSA denkbar. Die kommerzielle Entwicklung eines Zwischenaufladungssystems ist von den Gesetzen des Marktes abhängig; die grösste Herausforderung ist die Standardisierung eines solchen Systems. Tatsache ist, dass die Systemlösung TOSA mit der Antriebsenergie an Bord der Fahrzeuge und raschen Zwischenaufladungen neue Geschäftsmodelle der Betreiber ermöglicht und die Rolle der involvierten Lieferanten neu definiert.

Summary

In 2013 over 50% of the world's population moved to live in the towns, giving rise to huge challenges with respect to urban mobility, and more specifically for the operation of public transport. Citizens' demands to reduce the time required for moving about town incited operators to develop their offering, especially concerning Bus Rapid Transit services. It is on this particular application that a consortium of 4 partners decided to develop a demonstrator called TOSA, standing for Transport by bus with Optimisation of the System of Alimentation (Power Supply System). In fact, accelerated innovation in the field of batteries made it possible to consider the installation of a system of buses equipped with storage units and recharging along the line. This therefore involves a transfer from a diesel mode to an electrical mode with storage, which means eliminating two harmful impacts, namely the emission of polluting particles on one hand and the network of catenaries on the other, both of which are particularly negative in urban areas.

The electrical recharging of the bus along the line is based on the concept of opportunity charging, i.e. through the connection of the vehicle, via an automatic system installed on its roof; to an infrastructure that is installed at certain stops and delivers the energy required. The present study is based on the operation in situ of a bus equipped with batteries and two distinct recharge infrastructures including a flash recharge of 15 seconds for a stop as well as a terminal recharge of 3 to 5 minutes. It analyses in detail four important aspects relating to this innovation in transport.

The first concerns the risks involved in operating and aligning the bus and its infrastructure with regard to security standards. The main challenges lie in the storage and transfer of electrical energy, which are analysed in detail and are the object of ad hoc measures for risk reduction. In addition, different scenarios of degraded mode of operating the buses were developed, thus making it possible to take into account in an exhaustive manner all the options available to the operator for minimising the impacts on his service.

The second aspect considered in this report is the economic study and the comparison of energy costs in relation to a classical trolleybus. It appears that globally TOSA system (is less expensive than the conventional trolleybus. In detail, the proportion of operating costs is very significant, in particular due to the high cost of labour. While the costs for purchasing the vehicles are more or less the same for the trolleybus and TOSA, the investment and maintenance costs of the catenary infrastructure are clearly to the disadvantage of the trolleybus. The higher electrical energy costs for TOSA are not due to increased consumption by this system compared to the trolleybus, but rather to the method of calculating prices by the supplier, SIG.

The description of the interface between the vehicle and the infrastructure as well as of its operating mode represents the third aspect of the study. The impacts on the operation, especially from the point of view of the different stakeholders, are described in detail here. In addition this part explains the procedure of approval of the vehicle by the FOT (Federal Office of Transport).

Finally, the fourth aspect covers the technology of the super-capacitors (supercaps) and their implementation in the energy storage part in the infrastructure. The development of decentralised energy storage units raises questions on the management of the electrical network as a whole that are addressed in this part, especially from the perspective of development of the smartgrid.

The prospects offered by this new mode of transport are multiple. Today it's about Bus Rapid Transit, but tomorrow other applications can be envisaged, in particular those for which the characteristics of TOSA are relevant. The commercial development of the opportunity -charging system will be subject to the laws of the market, but a crucial challenge will be the standardisation of such a system. Finally, as the innovation concerns the vehicle with its equipment on board as well as the recharge infrastructure along the line, the TOSA system should be considered as a solution which will inevitably call into question certain business models on the part of the suppliers as well as certain roles on the part of the stakeholders.

1 Genèse et objectifs du projet TOSA

1.1 Genèse

Plus de 50% de la population mondiale vit dans les villes. Cet exode des campagnes au profit des villes ne va qu'en s'accroissant, générant en conséquence de multiples défis auxquels les responsables politiques et les opérateurs de transports devront faire face.

- Aménager la zone urbaine en tenant compte de la mobilité ;
- Réduire les émissions locales de CO₂ et autres substances nocives ;
- Réduire le bruit ;
- Offrir des transports en commun de grande capacité ;
- Garantir une haute efficacité énergétique ;
- Offrir des solutions durables sur leur cycle de vie, de la création au recyclage ;
- Maîtriser les investissements et les coûts d'exploitation.

Dans ce contexte, les systèmes de bus électriques sont une option pertinente, ce d'autant plus que la pression exercée sur la qualité de l'air dans les centres urbains n'est pas favorable aux systèmes basés sur les énergies fossiles. En outre, les progrès obtenus dans les technologies de stockage de l'énergie électrique permettent aujourd'hui d'envisager d'autres solutions d'alimentation en énergie électrique, comme le biberonnage (recharge aux arrêts le long de la ligne), et de s'affranchir de l'infrastructure de réseau de caténaires propre aux trolleybus. Il est dès lors opportun de réfléchir à de nouvelles solutions de transports par bus électriques en zone urbaine.

Les transports publics genevois TPG, l'office de promotion de l'industrie et des technologies OPI, les services industriels genevois SIG et ABB ont ainsi lancé le système de bus TOSA. En effet, l'idée de développer un nouveau système de bus répondant aux défis précités est née d'une rencontre entre TPG et ABB. L'objectif étant de pousser cette idée vers une réalisation possible, il a fallu réunir les acteurs principaux d'un tel système et en évaluer le potentiel. Aussi, il a été décidé dans un premier temps de réaliser une étude de faisabilité technique et économique. Celle-ci ayant permis de répondre aux questionnements principaux, le consortium des quatre partenaires a décidé de passer à la réalisation d'un démonstrateur, phase pour laquelle le présent rapport a été réalisé.

1.2 Le concept de biberonnage

C'est un système complet composé, au niveau de la ligne, d'un parc d'autobus entièrement électrique équipé d'une petite batterie embarquée et d'un ensemble d'infrastructures déployées à certains arrêts le long du trajet. Un système automatisé installé sur le toit du bus permet le transfert d'énergie de l'infrastructure vers le bus en moins d'une seconde sans aucune intervention du chauffeur pendant toute la phase d'approche et de connexion.

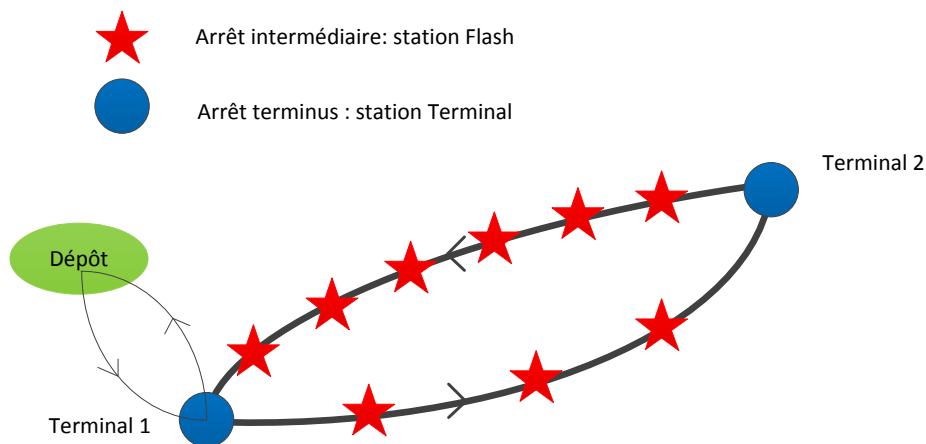


Fig. 1 Cycle typique d'une journée d'exploitation pour un bus électrique à recharge par biberonnage

Départ le matin du dépôt « haut le pied » (sans passager)

- La batterie embarquée est totalement chargée ;
- Trajet jusqu'au terminus sans recharge intermédiaire ;
- Au terminus, recharge complète de la batterie embarquée.

Plusieurs fois lors de l'exploitation (avec des passagers montants et descendants aux terminus et aux arrêts de bus)

- Trajet entre les 2 terminus avec des recharges partielles à certains arrêts dédiés ;
- Recharge complète, au terminus, de la batterie embarquée.

Retour le soir au dépôt « haut le pied » (sans passager)

- Trajet jusqu'au dépôt sans recharge intermédiaire ;
- Recharge complète, au dépôt, de la batterie embarquée.

1.3 Les atouts de TOSA

La grande capacité sans lignes aériennes

Grâce à la recharge en énergie le long du parcours, la taille de la batterie et le poids du bus ont été réduits, ces gains se traduisent par plus de places passagers et par une amélioration de l'efficacité énergétique. Le véhicule TOSA transporte des passagers, pas des batteries. Le temps de charge aux arrêts sélectionnés est tellement rapide qu'il n'altère pas l'horaire de la ligne.

Selon le profil de la ligne de bus, une station de recharge rapide est disposée tous les 4 à 5 arrêts. Cette technologie permet simultanément de réduire la pollution visuelle et sonore. De plus, l'autonomie du bus offre une grande flexibilité d'itinéraire.

Confort, sécurité et santé publique

Le transfert d'énergie par contact a été développé en ayant à l'esprit, le confort, la santé et la sécurité des passagers. Ici, l'énergie ne passe pas par des ondes mais dans des câbles comme pour les trolleybus et les trams. Comme tous les véhicules électriques, il n'y a pas d'émission locale de dioxyde de carbone ou autres polluants urbains.

Coûts d'exploitation et d'investissement

TOSA s'exploite comme un trolleybus ou un bus diesel, c'est-à-dire sans changement du temps de battement au terminus. Ceci est important aux heures de pointe et a un impact direct sur les coûts. TOSA n'implique pas d'augmentation des heures de conduite ni de la quantité de bus nécessaire pour maintenir l'horaire planifié.

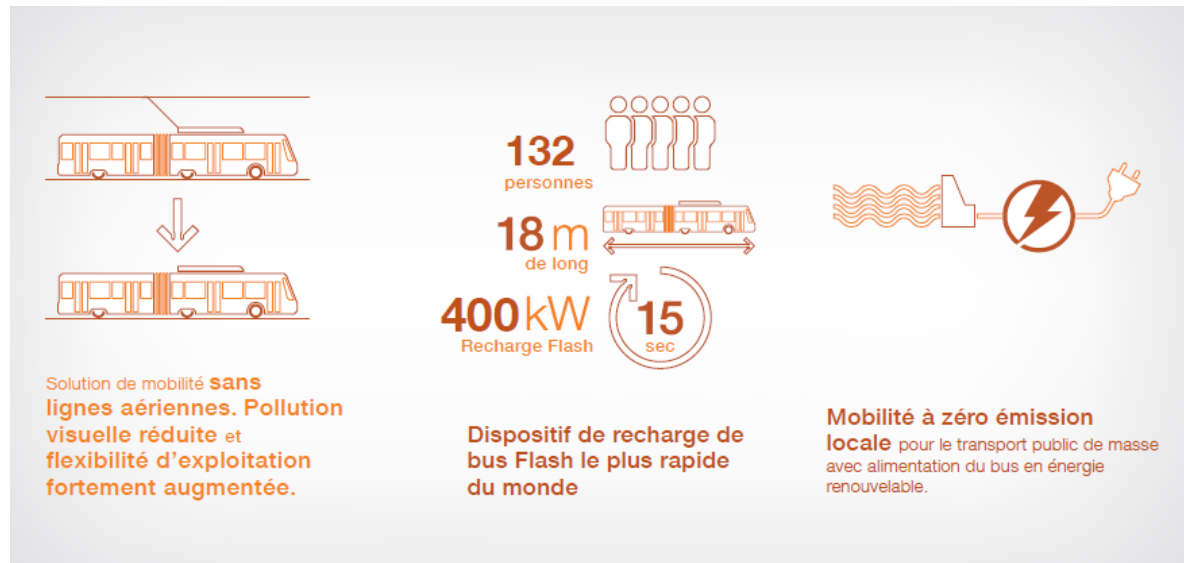


Fig. 2 Le concept TOSA en chiffre

1.4 Le test de TOSA avec le démonstrateur

Dans le cadre du démonstrateur, une partie de la ligne 5 ayant servi pour l'étude de faisabilité a été choisie pour la mise en œuvre du système devant service de validation du concept.

L'infrastructure est donc composée de 3 types de station :

- Station d'alimentation au dépôt (DFS : Depot Feeding station) : station d'alimentation à basse puissance pour une recharge complète après retour au dépôt (30-60 minutes) ;
- Station d'alimentation au terminal (TFS : Terminal Feeding station) : station d'alimentation à forte puissance pour une recharge complète en bout de ligne (3-5 minutes) ;
- Station d'alimentation Flash (FFS : Flash Feeding station) : station d'alimentation à très forte puissance pendant que les passagers descendent et montent du bus (15-20 secondes). C'est ce qu'on appelle le biberonnage : recharge partielle le long du trajet.

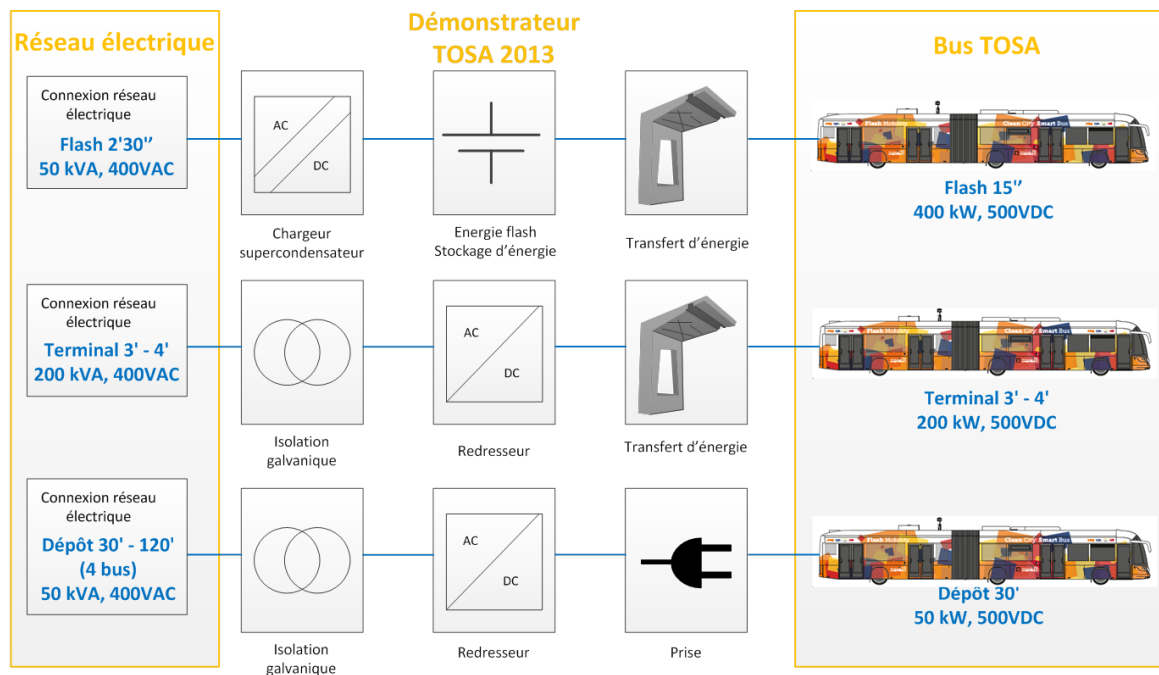


Fig. 3 Schéma des types d'alimentations

Pour permettre le concept de biberonnage, il fallait développer un composant permettant de faire le transfert d'énergie entre l'infrastructure et le bus et ceci automatiquement, de façon très rapide et à très forte puissance. C'est ce qui a été réalisé avec l'ETS (Energy Transfer System : système de transfert d'énergie), qui est le cœur du système TOSA et l'élément le plus différenciateur par rapport aux solutions concurrentes. Ce système réalise les actions suivantes :

- Elévation du bras de connexion à environ 8-10m du lieu de charge ;
- Alignement automatique (par guidage laser) du bras de connexion vis-à-vis du connecteur aérien par mouvement latéral ;
- Connexion au connecteur aérien par un mouvement vertical lorsque les freins du bus sont serrés ;
- Vérification de la qualité de la mise à la terre de la masse du bus avant libération de la charge

Les objectifs économiques du biberonnage à vérifier par le démonstrateur sont les suivants :

Réduire le coût d'investissement et d'exploitation :

- Réduire le coût du stockage d'énergie par l'utilisation d'une petite batterie embarquée avec une longue durée de vie ;
- Respect du programme d'exploitation : même temps de battement au terminus qu'un bus diesel. Ce qui implique de ne pas avoir besoin de bus ni de chauffeur supplémentaires.

Diminuer le coût de la consommation du bus :

- Réduction du poids à vide grâce à l'utilisation d'une petite batterie ;
- Efficacité de la chaîne de traction électrique versus les motorisations thermiques.
- Augmentation de l'efficacité énergétique avec un nombre élevé de passagers transportés ;
- Récupération d'énergie au freinage, à la décélération et en descente.

1.5 Les objectifs de l'étude

Le système de biberonnage mis en œuvre dans le cadre du démonstrateur étant innovant, il soulève de nombreuses questions sur différents points :

Comment les choix techniques envisagés répondent-ils aux contraintes de ce mode de transports ? Une description des différents éléments techniques telles que les batteries et le système de transfert d'énergie sont décrits dans le détail et des explications quant à leur mode de fonctionnement sont fournies.

Quels sont les éléments de coûts à prendre en considération pour un tel système de bus ? Ce rapport présente une analyse complète des coûts et permet d'appréhender les ordres de grandeur financiers ainsi que les comprendre en les comparant avec d'autres types de bus.

Comment ce nouveau bus et son exploitation s'inscrivent-ils dans le cadre légal existant ? Les normes existantes et la jurisprudence actuelle sont dûment analysées et prises en compte dans le cadre de cette étude afin de permettre une exploitation du démonstrateur en bonne et due forme.

L'exploitation sera-t-elle garantie notamment au regard d'éventuels risques qui pourraient survenir ? L'équipe de projet a conduit une analyse détaillée du mode d'exploitation et des risques y afférents. Le rapport des mesures de réduction de ces derniers est présenté plus en avant dans le document.

Le projet du démonstrateur vise plus particulièrement à tester 4 aspects importants qui caractérisent ce système :

- Les risques liés à l'exploitation et les standards de sécurité ;
- L'étude économique et la comparaison des dépenses énergétiques par rapport à un trolleybus classique ;
- L'interface entre le véhicule et l'infrastructure ;
- La technologie des super-condensateurs (supercaps).

2 La recharge Flash pour une mobilité durable

Premier système de transport de bus à traction électrique sans ligne de contact et grâce à la recharge en 15 secondes, de nouvelles opportunités s'offrent pour les bus du futur : sans émissions locales, silencieux, économiques et à grande capacité.

Le bus électrique nommé TOSA s'inspire du trolleybus, excepté lorsque vous regardez sur le toit. A la place de perches de trolley connectées aux lignes aériennes, ce bus possède un bras automatique qui se connecte, en moins d'une seconde, aux réceptacles équipant certains arrêts. La technologie Flash de recharge à très haute puissance s'active et alimente la batterie du bus pendant les 15 secondes nécessaires à la descente et montée des passagers aux arrêts. Le bus n'a pas perdu de temps et est déjà prêt à repartir.



Fig. 4 Le bras automatique en phase d'alignement

2.1 Le choix de la batterie lithium Titanate

Il y a plusieurs types de batteries disponibles pour stocker l'énergie. Dans les dernières générations, on peut les classer en deux grandes familles :

- Les batteries à haute densité énergétique (Lithium-Ion, NMC) utilisées en général pour le stockage d'énergie avec peu de cycles et à puissances limitées à la charge ;
- Les batteries à haute densité de puissance (LTO, LICs) employées pour les applications intensives en nombre de cycles et nécessitant de hautes performances à la charge.

Le diagramme ci-après permet de classer les différents types de batteries en fonction de ces deux dimensions principales.

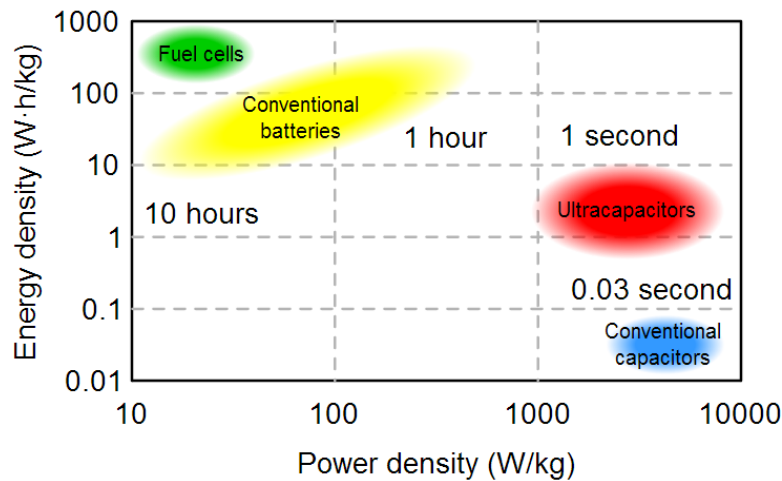


Fig. 5 Diagramme de Ragone, (Source Wikipedia)

Généralement les batteries sont sélectionnées pour les applications au travers des 6 critères suivants :

- Densité massique ou énergie spécifique (Wh / kg) ou densité volumique appelée parfois densité énergétique (Wh / Lt) ;
- Densité de puissance ou puissance spécifique (W / kg ou W / Lt). Les performances à la charge et la décharge doivent être différenciées ;
- Nombre de cycles normalisés ;
- Plage de températures de fonctionnement ;
- Sécurité (risque d'emballement thermique, inflammation, dégagement de gaz) ;
- Prix (CHF par KWh environné dans le pack batterie avec le refroidissement intégré).

Le choix de la batterie lithium titanate est lié au concept du biberonnage. En effet, ce type de batterie possède les 4 avantages suivants :

- Fonctionnement avec températures extérieures de -40°C à $+40^{\circ}\text{C}$. Généralement entre 0°C et $+40^{\circ}\text{C}$ pour les autres batteries lithium ion ;
- Nombre de cycles élevés : 2 à 4 fois supérieurs aux autres batteries lithium ion. Point important pour le concept afin d'optimiser la durée de vie ;
- Sécurité : pas d'emballement thermique. Cette technologie est réputée comme la plus sécuritaire du marché ;
- Taux de charge symétrique à la charge et à la décharge. Cette technologie est capable de supporter jusqu'à 10 fois son courant nominal sur quelques secondes (ce qui est favorable au biberonnage) et jusqu'à 5 fois pendant plusieurs minutes. Les autres batteries lithium ion peuvent supporter une décharge équivalente mais une charge limitée entre 0.5 fois et 3 fois leur courant nominal.

Les inconvénients sont :

- La densité énergétique : entre 2 et 3 fois plus faible que les autres batteries lithium ion. Cependant l'autonomie n'est pas recherchée car la batterie est toujours à un haut niveau d'état d'énergie (grâce au biberonnage) et est complètement rechargée en bout de ligne, ce qui pourrait permettre théoriquement une exploitation 24h/24. La seule autonomie recherchée est celle de pouvoir rentrer au dépôt de n'importe quel point du trajet. Ce qui est largement le cas avec une batterie TOSA, de surcroît avec un trajet « haut le pied » ;
- Le prix au kWh : entre 2 et 5 fois plus fort que les autres batteries lithium ion même si la tendance est un resserrement du prix. Cependant grâce à la technologie du biberonnage, comme le nombre de kWh nécessaire est entre 3 à 6 fois inférieures, le prix de la solution reste très compétitif.

La batterie TOSA a de plus été optimisée grâce au choix du refroidissement à eau, ce qui a permis un gain de 3/5 sur le poids et le volume et de plus de 30% sur le coût total.



Fig. 6 La batterie Lithium Titanate installée sur le prototype TOSA

2.2 L'état de l'art

Nos recherches en matière de système de transfert d'énergie, nous ont conduits à éliminer le mode de transfert en induction. En effet, les contraintes d'exploitation nous obligent à respecter un temps maximum de 15 secondes à l'arrêt, temps très court qui nécessite une quantité importante d'énergie à transférer (notamment pour un bus à large capacité). Ainsi, le système par induction ne permet pas aujourd'hui de relever ce défi sans prendre des risques importants, à savoir :

- Prise en compte des normes de rayonnements non-ionisant dans le domaine public (normes IRCNIP, cf. <http://www.champs-electro-magnetiques.com/ondes/normes-officielles-50hz-et-valeur-de-precautions-42.html> http://fr.wikipedia.org/wiki/Pollution_%C3%A9lectromagn%C3%A9tique) ;
- Effet du « syndrome de la pièce chaude » : un objet métallique (ex. pièce de monnaie) qui tombe sur la voie publique dans la surface de recharge sera chauffé à très haute température lors de la recharge ;
- Le temps nécessaire pour transférer la quantité d'énergie requise est beaucoup trop long compte tenu des contraintes d'exploitation et la déperdition d'énergie n'est pas négligeable.

En ce qui concerne la situation actuelle dans le domaine des transports électriques, nous distinguons 2 types de transport sans caténaires :

Les projets de bus électriques sans caténaires :

- Points de transfert automatique d'énergie (flash charging ≤ 30 sec, ultra fast charging ≤ 10 min or fast/normal charging > 10 min) le long de l'itinéraire de bus via le système dit de « Biberonnage » ;
- Ligne de transfert d'énergie le long de l'itinéraire de bus.

Les projets de tramway sans caténaires :

- Points de transfert automatique d'énergie (flash charging ≤ 30 sec, ultra fast charging ≤ 10 min or fast/normal charging > 10 min) le long de la ligne de tramway ;
- Ligne de transfert d'énergie le long de la ligne de tramway ;
- Approvisionnement continu d'énergie par contact au sol le long de ligne de tramway.

Pour des questions de pertinence, nous ne retenons que les projets en rapport avec le premier type de transport.

Afin de décrire l'état des lieux en matière de système de transport avec recharge, nous avons distingué deux dimensions principales, à savoir la dimension temporelle et le type de stockage utilisé, ainsi que la dimension relative aux types de recharges (modes et moyens utilisés (cf. tableau ci-dessous).

Charging mode and storage tech. Energy transfer mode and technology			Flash charging (≤ 30 sec)			Ultra fast charging (≤ 10 min)	Fast / normal charging (> 10 min) or cont. supply
			Ultracapacitor	Flywheel	Ultracapacitor + battery	Fast charging battery	Battery, No storage
At stops	Overhead energy transfer points	Inductive					
		Pantograph docking / undocking	•Shanghai Aowei Tech. Corp., 2006 CAF ACR, 2010		•PVI WATT, upcoming •Siemens e-BRT, upcoming Siemens Sitras HES, 2008	•Proterra Ecoliner, 2010 •Opbrid Busbaar, 2010 •Irisbus EILISup, upcoming	
	Ground floor energy transfer points	Inductive					•Conductix IPT, 2002 •Hino Motors, 2008
At motion	Overhead energy transfer lines	Pantograph docking / undocking		Alstom Flywheel, 2005			Lohr Industries Translohr, 2007 Kawasaki SWIMO, 2007 Alstom APB, 2007
		Trolley pole docking / undocking					•Vossloh Kiepe, 2009 •HESS, 2013 •Solaris Trollino, 2005
	Ground floor energy transfer lines	Inductive	Bombardier Primove, 2009				KAIST OLEV, upcoming
		Collector slipper					Alstom APS, 2003

Fig. 7 Le tableau synoptique des projets pilotes à l'état de 2011

2.3 Les partenaires, quatre compétences clés pour atteindre une mobilité durable

Les transports publics genevois TPG, l'office de promotion de l'industrie et des technologies OPI, les services industriels genevois SIG et ABB ont lancé le système de bus TOSA. En effet, l'idée de développer un nouveau système de bus répondant aux défis précités est née d'une rencontre entre TPG et ABB. L'objectif étant de pousser cette idée vers une réalisation possible, il a fallu réunir les acteurs principaux d'un tel système et évaluer le potentiel. Aussi, il a été décidé à l'origine de réaliser une étude de faisabilité technique et économique. Celle-ci ayant permis de répondre aux premières hypothèses, le consortium des quatre partenaires a décidé ensuite de passer à la réalisation d'un démonstrateur, phase pour laquelle le présent rapport a été réalisé.

Les TPG opèrent et maintiennent un parc de 92 trolleybus, 231 bus et 104 trams, ils ont défini les conditions d'exploitation : les 15 secondes, l'automatisme, la priorité à la grande capacité. Les SIG ont apporté leur expérience côté réseau électrique. L'OPI a mené une gestion de projet en phase avec l'innovation et les rôles des partenaires. Enfin, ABB a développé le concept et réalisé les équipements à bord du bus, la recharge Flash et le transfert d'énergie automatisée.

En outre, de nombreux autres partenaires se sont joints à ce projet de démonstrateur et ont apporté leur contribution qu'elle soit technique, d'ingénierie de recherche, de financement, ou autres.

2.4 Validation du concept et prochaine étape

Dans le cadre du démonstrateur, le premier bus articulé de 18m75 et d'une capacité de 132 passagers, a été exploité dans des conditions réelles entre le 26 mai 2013 et fin 2014 sur le parcours reliant l'aéroport de Genève (station terminus) au centre des expositions de Palexpo (station Flash). Cette première phase devait permettre de tester en grandeur réelle mais dans un périmètre restreint le système TOSA et de vérifier en réel les hypothèses qui avaient été déjà validées théoriquement lors de l'étude de faisabilité. Basé sur les résultats encourageant du démonstrateur, la décision a été prise de déployer le concept TOSA sur la ligne 23 des TPG (13kms, 12 bus) pour l'horaire 2017. En effet, dans le cycle d'innovation, il importe maintenant de procéder à la mise en place d'une ligne pilote complète aujourd'hui exploitée en mode diesel.



Fig. 8 Bus TOSA à l'arrêt Flash de PALEXPO

3 Analyse des risques (WP1)

La mise en place d'un nouveau mode de transport électrique présente un certain nombre de risques. Il s'agit donc d'effectuer une analyse visant à identifier ceux-ci notamment en lien avec les spécificités qui caractérisent ce nouveau système de bus électrique se rechargeant le long de la route.

Cette analyse est axée sur les aspects techniques, les aspects de maintenance et l'exploitation en mode dégradé. En ce qui concerne les risques économiques et législatifs, ceux-ci seront traités dans les parties suivantes.

3.1 Analyse des standards de sécurité (T1.1)

Les standards de sécurité fournis par les organismes d'aide à la certification que sont TÜV et Electrosuisse ont été pris en compte pour élaborer la grille d'analyse. Le bus TOSA a obtenu la certification de l'OFT avec l'aide d'Electrosuisse pour rouler sur le territoire Suisse. Dans le cadre du démonstrateur, la certification du TÜV n'a pas été menée au bout car la certification européenne n'était pas une obligation.

Les standards de sécurité pris en compte concernent les sous-systèmes suivants (voir annexe I) :

- Les connexions ;
- La sécurité électrique ;
- Les batteries ;
- La construction du bus ;
- L'infrastructure de charge ;
- La sécurité fonctionnelle ;
- Le mode dégradé.

3.2 Elaboration de scénarii (T1.2)

Un ensemble de scénarii basés sur le mode opératoire du bus TOSA, a été établi. Ces scénarii prennent en compte le niveau d'occurrence et de gravité des divers événements envisagés. En fonction de ces critères, une matrice est élaborée afin de classer le niveau de risque afin de prendre les mesures d'atténuations adéquates.

Une première analyse dresse le tableau des risques catégorisés en fonction de leur probabilité de survenance ainsi que de la sévérité de leurs conséquences ceci AVANT la prise de mesures afin d'en réduire leurs impacts. Chacun d'entre eux fait ensuite l'objet d'actions qui sont décrites dans les paragraphes ci-dessous, actions qui conduisent ensuite à les classer dans un second tableau permettant de comprendre leur atténuation.

Tab. 1 Classification des risques en fonction de l'occurrence et de la gravité **AVANT MESURES DE REDUCTION**

Degré de probabilité	Degré de sévérité			
	Catastrophique (4)	Critique (3)	Significatif (2)	Mineur(1)
	Electrocution par contact avec le bus 3.4.1	Surcharge des batteries sur le toit du bus 3.4.2 Surcharge des supercaps dans l'infrastructure 3.4.3 Electrocution en phase de maintenance 3.4.4	Arc électrique en connexion et déconnexion 3.4.5 Exploitation en mode dégradé 3.4.7	
	Peu commun (B)	Collision avec infrastructure 3.4.6		
	Improbable (C)			
	Extrêmement improbable (D)			

Légende : **Inacceptable** **Acceptable****Tab. 2** Classification des risques en fonction de l'occurrence et de la gravité **APRES MESURES DE REDUCTION**

Degré de probabilité	Degré de sévérité			
	Catastrophique (4)	Critique (3)	Significatif (2)	Mineur(1)
				Exploitation en mode dégradé 3.4.7
		Electrocution par contact avec le bus 3.4.1	Surcharge des batteries sur le toit du bus 3.4.2 Surcharge des supercaps dans l'infrastructure 3.4.3 Electrocution en phase de maintenance 3.4.4	
		Collision avec infrastructure 3.4.6		Arc électrique en connexion et déconnexion 3.4.5

Légende : **Inacceptable** **Acceptable**

3.3 Validations externe et finale (T1.3)

Une première évaluation des risques a été prise en compte de manière informelle lors de la certification du bus par les autorités compétentes ceci en conformité avec les standards établis (voir annexe II). Toutefois, les spécificités du système TOSA soulevant beaucoup de questions (c'est le propre de tout projet d'innovation !), il est primordial de prendre en considération ces interrogations et d'y répondre de manière formelle.

3.4 Points significatifs de l'analyse des risques (T1.4)

L'analyse finale de ce nouveau système de bus électrique se rechargeant le long de la route a mis en évidence les principales sources de risques suivantes liées aux spécificités de TOSA :

- Mise à la terre du véhicule ;
- Energie stockée sur le toit du bus (batterie) ;
- Energie stockée dans l'infrastructure (supercap) ;
- Accès aux équipements en phase de maintenance ;
- Arc électrique lors de la connexion – déconnexion ;
- Collisions avec l'infrastructure de charge ou un obstacle lors de l'arrivée et du départ du bus ;
- Exploitation en mode dégradé.

3.4.1 Electrocutation par contact avec le bus - Action d'atténuation 1

La tête du système de connexion est équipée de 4 doigts de contact : +VDC, 0VDC, MASSE et CONTRÔLE-DE-MASSE. Le positionnement des doigts est réalisé de façon à ce que la MASSE soit toujours la première en contact, avec la TERRE du connecteur aérien, à la connexion et la dernière à la déconnexion.

A l'insertion dans le connecteur aérien la MASSE du bus et la TERRE de l'infrastructure sont reliées entre-elles. La qualité de cette connexion est contrôlée par un dispositif à l'intérieur du bus via le CONTRÔLE-DE-MASSE. Le résultat de ce contrôle initialise la séquence de transfert d'énergie. Durant cette vérification, le dispositif de surveillance envoie une information par voie filaire à l'infrastructure. Celle-ci permet la fermeture du contacteur de sortie de l'infrastructure de charge délivrant ainsi une tension sur le connecteur aérien. En d'autres termes, la tension n'est présente que si la tête est insérée dans le connecteur. A tout instant, si le dispositif de contrôle détecte une mauvaise mise à la terre de la masse du véhicule, le transfert d'énergie s'interrompt immédiatement. De la même manière, à la fin de la charge, le dispositif de surveillance arrête l'envoi d'information vers l'infrastructure. Cette dernière ouvre son contacteur de sortie ce qui engendre la fin de la présence de tension sur le connecteur aérien.

3.4.2 Energie stockée sur le toit du bus (batterie) - Action d'atténuation 2

La batterie sélectionnée est une batterie à technologie LTO (Lithium Titanate Oxyde), réputée comme la plus sûre du marché.

Les paramètres suivants sont contrôlés en permanence au niveau du module et de la cellule grâce au BMS (Battery Management System) :

- Surtension ;
- Sous-tension ;
- Température.

Si une des surveillances citées ci-dessus est activée alors la chaîne de traction réalise les actions suivantes :

- Arrêt du convertisseur ;
- Ouverture du contacteur de charge/décharge.

Les autres protections actives sont :

- Les fusibles sur le + batterie et le 0V de la batterie ;
- Le refroidissement à eau, contrôlé via une pompe, est surveillé au niveau de son débit et de sa température ;
- Un CPI (Contrôleur Permanent d'Isolement) pour détecter les fuites à la terre ;
- Un sectionneur manuel pour la déconnexion avant la maintenance sur le véhicule.

3.4.3 Energie stockée dans l'infrastructure (supercaps) - Action d'atténuation 3

Les paramètres suivants sont contrôlés en permanence au niveau du module et de la cellule grâce au SMS (Supercap Management System) :

- Surtension ;
- Température.

Si une des surveillances citées ci-dessus est activée alors le chargeur de l'infrastructure réalise les actions suivantes :

- Arrêt du convertisseur ;
- Ouverture du contacteur de charge et/ou contacteur de décharge ;
- Les autres protections actives sont :
- Les fusibles sur le +Supercap et le 0VSupercap ;
- Un CPI (Contrôleur Permanent d'Isolement) pour détecter les fuites à la terre ;
- Une résistance de décharge permettant une tension nulle en cas de défaut ou d'intervention pour la maintenance ;
- Un sectionneur manuel pour la déconnexion avant la maintenance ;
- Des voyants de présence tension.

3.4.4 Accès aux équipements en phase de maintenance - Action d'atténuation 4

Les équipements / procédures suivantes sont mis en place pour garantir la sécurité lors des opérations de maintenance :

- Un CPI (Contrôleur Permanent d'Isolement) pour détecter les fuites à la terre / masse ;
- Un sectionneur manuel pour la déconnexion de la batterie / Supercap avant maintenance ;
- Une procédure d'intervention incluant la mise à la masse des équipements de traction ;
- Côté infrastructure, présence d'un bouton poussoir permettant la mise hors tension des équipements et lançant la procédure de décharge des Supercap.

3.4.5 Arc électrique lors de la connexion / déconnexion - Action d'atténuation 5

Selon le point 3.4.1 ci-dessus, il n'y a pas de risque d'arc électrique à la connexion. A tout instant, si le dispositif de contrôle détecte une mauvaise mise à la terre, le transfert d'énergie s'interrompt immédiatement. De la même manière, à la fin de la charge, le dispositif de surveillance de la mise à la terre arrête l'envoi de l'information vers l'infrastructure. Celle-ci permet l'ouverture du contacteur de sortie ce qui engendre la fin de la présence de tension sur le connecteur. Il n'y a donc pas de risque d'arc électrique à la déconnexion.

3.4.6 Collisions avec l'infrastructure de charge ou un obstacle - Actions d'atténuation 6

Afin d'éviter toute collision, les mesures suivantes ont été prises :

- La structure aérienne est positionnée assez haute afin d'éviter tout risque de collision avec les véhicules. En effet, l'infrastructure respecte la hauteur de gabarit de 4,50 m tel que défini par la LCR, article 9, et donc le passage de véhicule dont la hauteur ne doit pas dépasser 4 m ;
- Le système de connexion ne se lève (pré-positionnement du bras de connexion) que si l'infrastructure de charge est reconnue, à proximité et si la vitesse du bus TOSA est assez basse. Ce pré-positionnement reste dans le gabarit maximal autorisé pour un véhicule ;
- Une vérification automatique est réalisée pour évaluer si la position du bus permet de réaliser une connexion en toute sécurité ;

- Le mouvement vertical de connexion ne se fait qu'à l'arrêt, freins serrés, et si le laser a bien détecté le réceptacle aérien de l'infrastructure.

3.4.7 Exploitation en mode dégradé - Actions d'atténuation 7

L'exploitation en mode dégradé n'est pas a priori un problème de sécurité mais plutôt un enjeu de disponibilité. C'est aussi un critère très important pour l'acceptation par l'ensemble des intervenants (les autorités compétentes, l'exploitant ainsi que les passagers) d'un nouveau système. Les trois critères regardés pour le mode dégradé sont les suivants :

- Panne d'un terminal ;
- Panne d'un Flash ;
- Embouteillage.

Ces cas ont été pris en compte dès la conception du démonstrateur mais n'ont pas été mise en place car ils ne peuvent être abordés que lors de l'exploitation d'une ligne entière.

1. Panne d'un terminal

La station Terminal permet de recharger complètement les batteries embarquées sur le toit du bus durant le temps de battement de l'exploitation. Le taux d'utilisation en heures de pointes de la station d'alimentation terminal ne permet pas l'utilisation de tampon d'énergie (telle que batterie, supercapacités ou autres ...). Le terminal a un rôle essentiel dans la conception du système TOSA, sans lui aucune exploitation n'est possible. Pour de plus amples explications, la phase d'approche normale à un terminal est décrite en détail dans le chapitre 5.1.2.

Afin de compenser une perte d'un terminal (panne d'électricité ou défaillance du terminal), un terminal de secours sera ajouté à chaque bout de ligne. Il sera placé soit au même endroit que le terminus, soit au niveau des premiers arrêts. Le terminal de secours est identique en tout point à la station terminal, seul le mode de recharge diffère. En effet, le terminal de secours supporte les 2 types de recharges suivantes :

- En mode nominal, il est utilisé comme un Flash (temps de recharge = 15s/20s) mais avec une puissance de sortie limitée à celle d'un terminal ;
- En mode dégradé, il est utilisé comme un terminal de remplacement ;

La question est : comment le terminal de secours passe d'un mode à l'autre ?

A l'approche du terminal de secours, deux cas se présentent :

- Le bus a réussi la charge de la batterie embarquée au terminal précédent. Dans ce cas, le terminal de secours est utilisé comme un flash avec une puissance limitée. Le temps maximum et la puissance de recharge sont fournis grâce aux tags RFID ;
- Le bus n'a pas réussi la charge de la batterie embarquée au terminal précédent. Dans ce cas, le terminal de secours est utilisé comme un terminal. Et donc la charge dure jusqu'à ce que la batterie embarquée soit complètement chargée.

Remarque : le chargeur de la batterie du bus est embarqué sur le toit du véhicule. C'est donc lui qui décide, dans les limites de la sous-station, de la puissance et du temps de charge.

Le passage de la charge longue (3-5 min) au terminal de secours se fait de façon automatique et donc sans intervention du chauffeur. Néanmoins, 3 cas se présentent pour l'exploitant :

- Le terminal fonctionne correctement mais pas le bus. Le chauffeur et le centre d'opération décideront d'un retour éventuel du bus au dépôt ; le bus TOSA est dimensionné pour avoir suffisamment d'énergie pour rentrer au dépôt de n'importe quel point de la route ;
- Le terminal ne fonctionne pas. Le centre d'opération décidera soit d'un retour anticipé pour tous les bus (le trajet sera amputé d'une partie) soit de garder le parcours habituel mais avec un temps plus court au terminus et avec le temps de battement réalisé au terminal de secours ;
- Le bus n'a pas pu faire une charge pour cause de situation exceptionnelle (voiture garée à l'emplacement, accident, panne de courant ...). Selon la durée estimée de

l'incident, Le chauffeur et le centre d'opération décideront soit de continuer l'exploitation actuelle soit de réaliser les actions du point précédent.

Les critères d'évaluations pour différencier les pannes sont les suivants :

- Panne du bus lors de la recharge : le bus ne peut pas se recharger à plusieurs endroits alors que les autres bus peuvent le faire ;
- Panne du terminal : au moins 2 bus ne peuvent pas se recharger au terminal mais peuvent se recharger sur une autre station OU défaut remonté par la sous-station terminal.

2. Panne d'un Flash

Les stations Flash sont installées le long de la route et permettent de recharger partiellement la batterie embarquée à l'arrêt de bus pendant que les passages montent/descendent (15s-20s) du bus. La station Flash sera équipée d'un élément de stockage. Cet élément est utilisé comme tampon d'énergie afin de lisser la consommation d'énergie au niveau du réseau électrique (aussi connu comme «effacement de pointes»). Cela permet de réduire les frais de raccordement en limitant la puissance de connexion et de faciliter son déploiement en réalisant une connexion en BT au lieu d'une connexion MT sur le réseau électrique.

Le rôle premier de la station Flash est de de recharger partiellement la batterie embarquée permettant ainsi de réduire le temps de charge au terminal, ceci afin de respecter le temps de battement donné par l'exploitant. Une panne d'un Flash a donc pour conséquence d'augmenter le temps de charge au terminal. Pour palier a cet inconvénient, il est prévu d'équiper la ligne avec un Flash supplémentaire dans chaque sens.

3. Embouteillage

L'infrastructure de charge est dimensionnée en prenant en compte les critères suivants :

- La batterie embarquée est en fin de vie ;
- Le stockage à quai (Supercap pour le démonstrateur) est en fin de vie ;
- Le nombre de passagers est celui en heure de de pointe ;
- Le confort des passagers est pris en compte comme suit : climatisation en plein été ou chauffage en plein hiver ;
- Le bus doit être capable de retourner au dépôt « haut le pied » à tout moment.

Grâce au principe de biberonnage et au dimensionnement réalisé avec les critères ci-dessus, l'état de charge de la batterie est généralement comprise dans une plage de 40% à 70% avant l'arrivée au terminus, ce qui signifie qu'il reste toujours assez d'énergie en cas de très fort embouteillage (par exemple en cas d'accident). Une ultime protection permet de délester le confort (climatisation ou chauffage) en dessous d'un certain seuil d'état de charge.

4 Modélisation économique (WP2)

4.1 Analyse SWOT (T2.1)

L'analyse SWOT est établie selon les caractéristiques de TOSA. Elle a fait l'objet de plusieurs réactualisations au fur et à mesure de l'avancement du projet, notamment en fonction du retour d'expérience.

Tab. 3 *Analyse SWOT*

Forces	Faiblesses
• Respect des contraintes d'exploitation (identique aux trolleybus et bus diesel) : • Table horaire • Flexibilités de fonctionnement • Capacité passagers • Dimensionné pour des lignes à haute fréquence • Faible infrastructure au dépôt • Compatible avec une exploitation 24h/24 • Faible taux de recyclage de batterie • Aucune communication en l'infrastructure et le bus pendant la charge • Déploiement rapide sans travaux sur la chaussée • Coût total de possession compétitif	• Nombre d'infrastructures de charge • Forte puissance au terminus • Pas dimensionné pour le petits bus et les lignes à faible fréquence • Coût d'investissement élevé
Opportunités	Menaces
• Technologie facilement adaptable sur le tramway • Technologie adapté au BHNS • Technologie adapté aux bus à très grande capacité (double articulé)	• Normes et solutions futures non définies • Prix du gasoil • Acceptation par le marché de la technologie • Concurrence

4.2 Analyse comparative des modes de transports (T2.2)

L'analyse comparative de TOSA par rapport au trolleybus, au diesel et aux autres types d'énergie a permis l'élaboration de la grille présentée ci-dessous. Les aspects économiques ont été considérés en priorité.

Tab. 4 Comparaison des modes de transports

	100% Electrique		Moteur à combustion interne
Trolleybus	- Les trolleybus utilisent une technologie électrique mature et éprouvée avec peu d'opportunité de réduction des coûts. - Les lignes électriques requises pour les trolleybus entravent aussi bien l'extension des réseaux actuels que leur introduction dans de nouveaux réseaux. - Le remplacement des groupes auxiliaires diesel par des batteries est une réponse au contexte décrit ci-dessus.	Diesel	- Aujourd'hui, le Diesel est la solution standard compte tenu de son autonomie et de son coût. - Les opérateurs sont sous-pressions pour trouver des solutions alternatives du fait des émissions élevées de CO2.
	Bus électrique avec batterie	Échange de batterie : Au lieu de recharger les batteries in-situ, il a été réalisé en Chine, des remplacements de batterie au terminus. Les coûts de manutention et temps perdu au terminus rendent cette solution non compétitive en comparaison des autres solutions électriques. Inductif : a déjà été testé sur différentes lignes de bus pilote par exemple PRIMOVE – Bombardier. La solution intégrée à la chaussée	Hybride diesel
			Autres solutions

est appréciée. Les puissances de recharge sont limitées par les contraintes d'émissions électromagnétiques. L'installation et la maintenance nécessitent d'intervenir sur la voirie. Le système de transfert d'énergie à bord représente un poids significatif et de par son principe pénalise le rendement énergétique de la solution.	économique.
• Chargeur à quai : Bus électriques avec une recharge externe au dépôt. Solution utilisée généralement pour les bus électriques s'adressant au marché avec des bus à petites tailles et de faibles fréquences (batterie de grande taille)	

4.3 Simulations financières (T2.3)

L'objectif de l'analyse financière est de comparer les différents modes de transports publics routiers urbains connus et couramment déployés en Suisse avec le système TOSA. Ainsi, le trolleybus, le bus diesel et le bus TOSA sont chacun analysés séparément d'un point de vue de coûts et mis en perspective les uns par rapport aux autres.

Pour la construction du modèle, nous avons structuré les différents éléments constitutifs des coûts comme suit :

- La partie « Véhicules » avec leurs différents composants et équipements spécifiques (ex. stockage, électronique,...) ;
- L'infrastructure qui concerne uniquement le trolley et TOSA. Celle-ci recouvre les aspects tels que les lignes aériennes, les stations de recharges, les raccordements au réseau électrique, etc... ;
- Le calcul d'énergie consommée pour chacun des modes de transport ;
- La maintenance d'une ligne avec les coûts relatifs à la main d'œuvre nécessaire ainsi que les matériels de remplacement ;
- L'exploitation de la ligne avec les salaires des conducteurs ainsi que les coûts imputés tels que l'infrastructure client (billetterie) et les frais administratifs.

Par ailleurs, chacun des éléments représentant un actif fait l'objet d'une durée d'amortissement prévue selon le modèle comptable en vigueur chez TPG. Ainsi, pour les véhicules nous avons planifié 12 ans pour le véhicule diesel et 20 ans pour le trolley et TOSA (hors éléments de stockage). Les éléments de stockage d'énergie dans le véhicule et sur l'infrastructure ont un amortissement prévu de 10 ans. En ce qui concerne les éléments de l'infrastructure (ex. sous-stations de trolley, terminal et flash TOSA), la durée retenue est de 25 ans.

L'ensemble de la simulation a été élaboré sur un modèle de ligne en exploitation (ligne 23 selon le futur projet pilote envisagé) avec les données établies suivantes :

- 12 véhicules ;
- 10 arrêts flash avec stockage ;
- 4 arrêts terminaux avec recharge ;
- 3 cabinets de recharge au dépôt ;
- 13,6 kilomètres de ligne ;
- 607'00 kilomètres effectués annuellement par la flotte de bus ;
- Prix électricité : 23.3 cts/kWh ;
- Prix du diesel : 0.98 CHF/Litre (après rétrocession et CHF 1,50 avant rétrocession) ;
- Coût maintenance : 0.80 CHF/km pour un bus diesel ;

- Coût maintenance Trolleybus : 1.2 CHF/km + 64 kCHF/km.an de ligne de contact ;
- Coût maintenance TOSA : 1.00 CHF/km + 2%/an pour l'infrastructure + changement batteries bus et infrastructure après 10 ans.

Elements de coûts	Diesel	Trolleybus	TOSA
Flotte de véhicule	5'400'000	12'000'000	13'200'000
Infrastructure d'alimentation		17'592'928	11'170'221
Coûts annuels en énergie	355'095	362'716	445'508
Activités de maintenance	485'600	1'598'800	985'269
Exploitation de la ligne	5'463'000	5'463'000	5'463'000

Tab. 5 Tableau des principaux coûts (en CHF)

Comparaison des coûts de fonctionnement annuels en CHF (CAPEX & OPEX)						
	Groupe de coûts	Sous-groupe	Diesel	Trolleybus	TOSA	TOSA hors Infra
COUTS PROPRES		Bus sauf stockage d'énergie	450'000	600'000	534'000	534'000
		Stockage d'énergie dans le bus			126'000	126'000
	Bus		450'000	600'000	660'000	660'000
		Stockage d'énergie aux arrêts "Flash"			411'499	
		Infrastructure aux arrêts "Flash" avec stockage			102'493	
		Infrastructure aux arrêts "Terminal"			54'245	
		Infrastructure au dépôt			18'600	
		Infrastructure de charge			586'838	0
		Voies et lignes aériennes et sous-stations		664'000		
		Taxes et frais de raccordements + fouilles (100m) par station d'alimentation		34'800	99'250	
		Project management		4'917	7'621	
		Amortissements (hors intérêts)	450'000	1'303'717	1'353'708	660'000
		Energie ★	355'095	362'716	445'508	445'508
		Maintenance	485'600	1'598'800	985'269	733'000
		Energie, exploitation et maintenance	840'695	1'961'516	1'430'777	1'178'508
COUTS PROPRES TOTAUX			1'290'695	3'265'233	2'784'485	1'838'508
COMPARAISON Coût total de cycle de vie des Véhicules et Infrastructure			Ref.	253%	216%	142%
COUTS IDENTIQUES		Conduite (salaires des conducteurs)	3'642'000	3'642'000	3'642'000	3'642'000
		Logistique roulement (centre de conduite)	728'400	728'400	728'400	728'400
		Admin + Infrastructure client (distributeurs billets)	1'092'600	1'092'600	1'092'600	1'092'600
		COUTS IDENTIQUES TOTAUX	5'463'000	5'463'000	5'463'000	5'463'000
TOTAL COUTS TOTAUX			6'753'695	8'728'233	8'247'485	7'301'508
COMPARAISON Coût total de cycle de vie			Ref.	129%	122%	108%

Tab. 6 Tableau comparatif des coûts annuels (en CHF)

A partir du tableau comparatif, nous pouvons faire plusieurs constatations. La première concerne la part importante des coûts d'exploitation, identique quel que soit le mode de transport par rapport au coût total de cycle de vie (LCC), qui représente au moins 60%. La cherté de la main d'œuvre explique en grande partie cette proportion dans la comparaison des coûts.

Le financement du système diesel est relativement faible (~1,3 MCHF par an) avec toutefois une forte dépendance du coût de l'énergie puisque celle-ci représente environ 27% du coût. Ainsi, en cas de fluctuation du prix de cette énergie, l'écart avec les autres systèmes de transport devient moins significatif.

Les systèmes de trolley et TOSA nécessitent une infrastructure importante en regard du bus diesel, aussi les différences en matière de coûts (amortissement) sont très significatives puisque le trolley représente un surcoût de 153 % par rapport au diesel et TOSA un surcoût de 116 %.

La différence relativement importante entre TOSA et le trolley s'explique par le poste de maintenance. En effet, les frais relatifs à la maintenance des lignes de contact sont très élevés notamment sur deux aspects : l'intervention humaine sur le réseau ainsi que le matériel de remplacement. En ce qui concerne la maintenance sur l'infrastructure TOSA, nous n'avons que

peu de recul (expérience courte) et avons émis l'hypothèse que celle-ci est constituée d'une part d'environ 2% de l'investissement dans les matériels. Ce calcul est communément utilisé dans l'industrie électrique. D'une autre part, la maintenance TOSA tient compte du remplacement des unités de stockage selon la durée de vie escomptée (10 ans).

Enfin, alors même que le trolley et TOSA sont opérés avec de l'énergie électrique, il apparaît une différence de coût non-négligeable entre ces deux systèmes. Cela s'explique par le modèle de tarification opéré par les Service industriels sur Genève. En effet, dans le cas du trolley, le tarif est de 18.97 cts le KWh alors qu'il est de 23.3 cts pour TOSA. Cela s'explique pour deux raisons :

- Il y a de multiples points de raccordement de TOSA sur le réseau électrique (il y en a nettement moins pour une ligne de trolleys) ;
- Dans le cadre de TOSA, il n'y a pas de mutualisation des infrastructures de recharge pour plusieurs lignes pour l'instant et donc ces coûts accrus doivent être imputés sur une seule ligne dans le cas présent.

4.4 Modélisation économique (T2.4)

La définition d'un modèle économique quant à la commercialisation du système TOSA n'est pas envisageable sans devoir entrer dans une complexité difficilement maîtrisable. De toute évidence et comme déjà mentionné ci-avant, ce système n'est pertinent que dans des cas de lignes exploitées en bus articulé ou double articulé (BHNS). En outre, il faut comprendre le bus TOSA comme un système composé du véhicule lui-même ainsi que de son infrastructure. Ce système est destiné à être implémenté et exploiter dans un contexte lequel est déterminé par une topographie des lieux d'une part (distances, élévations, climat) ainsi que par le mode d'exploitation (dispersion des arrêts, vitesses commerciales, etc...). L'adéquation du système TOSA au contexte pour lequel il est envisagé doit être définie comme une solution spécifique pour chaque cas. Aussi, le système TOSA est-il configuré en fonction de tous ces paramètres. En effet, le nombre de véhicules, la capacité de stockage d'énergie dans le bus, l'éloignement des stations flash, la capacité de transfert d'énergie aux stations sont toutes des variables à prendre en compte, variables qui auront un impact sur le modèle économique de TOSA. A ce sujet, dans le cadre du démonstrateur, le projet « My TOSA », soutenu par la CTI, a permis l'élaboration d'un logiciel de configuration de solutions. Ainsi, en fonction des contraintes données par le contexte, nous pouvons faire varier les paramètres et ainsi simuler différentes solutions.

5 Interface véhicule-infrastructure et aspects d'automatisation (WP3)

5.1 Description détaillée de l'interface et automatismes (T3.1)

L'aspect innovant et donc sensible du système TOSA réside dans le système de biberonnage et ce sur 3 aspects, à savoir :

- a) La simplicité du processus, c.-à-d. le fait qu'il y a le moins possible d'intervention humaine et donc une automatisation aussi poussée que possible ;
- b) L'efficacité dans la connexion entre le véhicule et l'infrastructure avec un transfert d'énergie requise ;
- c) La rapidité du déroulement permettant de respecter les cadences commerciales.

5.1.1 Contraintes

Le système développé pour réaliser la connexion entre l'infrastructure et le bus électrique TOSA a été réalisé avec les contraintes exposées ci-dessous :

1. Taille et contraintes sur les infrastructures de charge :

- La connexion devra être réalisée par voie aérienne plutôt que par le sol afin d'éviter des travaux sur la voirie, tenir compte des conditions climatiques (neige, pluie, ...) et des conséquences sur l'exploitation d'une panne du mécanisme de connexion ;
- La structure aérienne doit être assez haute afin d'éviter tout risque de collision ;
- La structure aérienne doit empiéter le moins possible au-dessus de la chaussée afin de pouvoir décaler, le cas échéant, une ligne aérienne de trolleybus ;
- Les arrêts de bus TOSA ne sont pas dédiés. Eviter tout guidage au sol ;
- L'infrastructure de charge doit respecter les contraintes réglementaires de circulation des piétons et des personnes à mobilité réduite aux arrêts.

2. Répondre aux contraintes de sécurité :

- La structure aérienne doit être assez haute afin d'éviter toute collision ;
- Pas de présence de tension tant que le bus n'est pas connecté. Cela évite tout danger électrique pour les personnes et ne provoque aucun arc à la connexion ou à la déconnexion ;
- Eviter la contrainte de double isolation des trolleybus en assurant la connexion entre la terre des sous-stations et la masse du bus.
- Vérifier que la connexion est réalisable avant l'insertion, la rendre impossible en cas de mauvais alignement ;
- Eviter tout risque de court-circuit lors de la connexion ;
- Le mouvement pour la connexion devra se faire depuis le véhicule (mouvement ascendant) plutôt que depuis l'infrastructure (mouvement descendant). Ceci afin de ne pas obstruer la chaussée si la connexion reste bloquée en position basse ;
- En cas d'urgence, le chauffeur doit avoir la possibilité d'arrêter à tout moment la charge.

3. Automatisation complète de la connexion :

- La connexion doit se réaliser sans aucune intervention du chauffeur. L'accostage à l'arrêt de bus doit être réalisé de façon naturelle et identique à celle d'un bus diesel ;
- La séquence de connexion doit être réalisée automatiquement en prenant en compte les paramètres de positionnement du véhicule vis-à-vis de l'arrêt de bus ;
- Une vérification automatique garantit que la connexion se fait en toute sécurité ; la connexion doit être rendue impossible en cas de mauvais alignement avec l'infrastructure de charge.

4. Ne pas affecter la vitesse commerciale :

- La connexion / déconnexion doit être rapide : < 1 s. En effet, l'arrêt à une station Flash est comprise entre 15 s et 20 s (le temps pour les passagers de monter / descendre du bus), il est donc nécessaire que le temps de connexion / déconnexion n'empiète pas sur le temps de charge possible ;
- Le système de connexion doit être capable de compenser le barraquage (dispositif permettant de modifier l'assiette d'un véhicule afin d'en faciliter l'accès) et de pouvoir se connecter avant, pendant ou après celui-ci ;
- Le temps au terminal doit être compatible avec l'exploitation et le chauffeur doit avoir la possibilité d'interrompre la charge à tout moment.

5. Faciliter la maintenance du système de connexion :

- Afin d'éviter le déplacement des agents de maintenance et les risques liés aux travaux in situ, les activités de maintenance hors dépôt doivent être réduites au minimum ;
- Il faut autant que possible faciliter l'entretien des pièces d'usure et limiter les interventions préventives.

6. Reconnaissance des caractéristiques techniques de l'alimentation :

- Le temps et la puissance de charge ne sont pas identiques entre les arrêts le long du parcours et ceux du terminus. Le système doit être capable de s'adapter à ces différents modes d'alimentation.

5.1.2 Descriptif d'interaction véhicule – infrastructure

1. Phase d'approche

Chaque sous-station est identifiée par deux tags RFID (pour des questions de redondance de l'information) installés sur la potence de recharge. A l'approche de l'arrêt (moins de 10 m du lieu de recharge), le bus est capable, grâce à son antenne et lecteur RFID embarqués, d'accéder aux informations suivantes :

- Le tag 1 ou 2 ;
- Le nom de la sous-station ;
- Le type de la sous-station (Flash, dépôt, Terminal, Terminal de secours,) ;
- La puissance max admissible au niveau du réseau ;
- La puissance maximale délivrée par le stockage. En absence de stockage, la puissance est celle du réseau ;
- Le temps de recharge prévu. Remarque : pour un terminal, la charge dure le temps nécessaire pour remplir la batterie.

Ces informations permettront au bus de savoir quelle est la puissance maximal admissible à la charge et quel est le temps maximal de connexion. Elles permettent aussi d'anticiper la phase de connexion en pré-positionnant le bras de connexion à environ 80 % de sa course verticale. La présence d'un lien RFID permet d'avoir une indépendance totale du système vis-à-vis du SAEIV. Le pré-positionnement reste dans le gabarit maximal autorisé pour un véhicule.

2. Phase d'accostage

Le bus doit s'arrêter à plus ou moins 1 mètre d'une pastille orange (repère présent sur tous les arrêts de bus à Genève) afin de se positionner vis-à-vis de l'arrêt de bus que ce soit un bus diesel ou un bus TOSA. Il doit pouvoir aussi s'accoster entre 0 et 50 cm du trottoir pour des raisons de congères de neige ou d'approche difficile liée aux conditions de trafic. Afin de remplir ces critères, les contraintes suivantes ont été apportées au concept :

- La longueur du rail est de 3 mètres de long (± 1 m avec une tolérance de 50 cm dans chaque sens afin d'optimiser la vitesse d'approche) ;
- Un guidage laser avec un mouvement latéral électrique du bras permet de compenser la distance avec le trottoir.

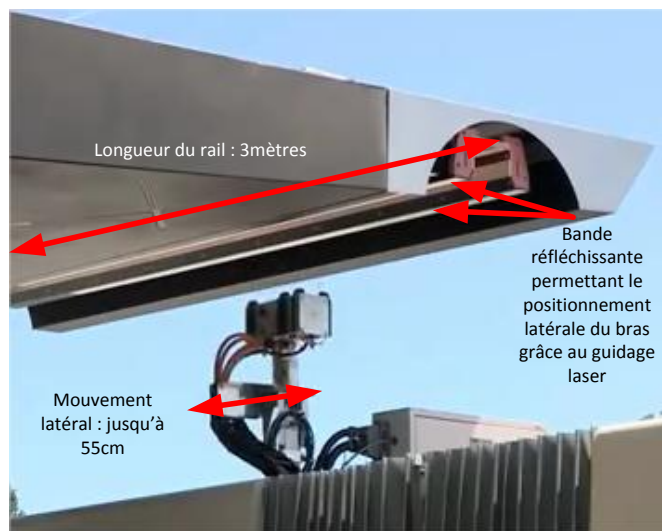


Fig. 9 Positionnement latéral

Le positionnement latéral se fait pendant que le bus est en mouvement et jusqu'à l'arrêt du bus donc en temps masqué.

3. Phase de connexion

Lorsque le bus est arrêté et que les freins sont serrés (permettant l'ouverture des portes du bus), le bras fait le dernier mouvement (vertical en moins de 1 s) pour réaliser la connexion.



Fig. 10 Mouvement final

La connexion se fait en temps masqué : pendant l'ouverture des portes.

Un système de cylindre bloc sur le connecteur aérien, plus un système de jeu sur le système automatisé permettent de répondre au système de barraqage ainsi qu'aux tolérances de positionnement (pente, dévers et accostage non parallèle du bus vis-à-vis du trottoir).

4. Améliorations sur l'équipement de série

- La potence sera relevée en hauteur pour répondre aux législations européennes ;
- Le laser sera encapsulé dans une boîte. Cette boîte ne s'ouvrira que lors du mouvement rotatif et se fermera pendant le dernier mouvement vertical. Ceci permettra de réduire les opérations d'entretien (nettoyage du laser) ;
- Les doigts de contacts pourront être démontés sans démonter la tête de connexion afin de minimiser le temps de remplacement des doigts suite à leur usure.

5.2 Analyse du cadre juridique (T3.2)

Le mode de fonctionnement du TOSA et ses spécificités techniques soulèvent la question de sa qualification juridique. Celle-ci est d'actualité, dès lors qu'elle est déterminante pour le droit applicable à l'approbation des plans d'aménagement et d'équipement technique des arrêts de bus et notamment des stations de recharge.

Nous considérons qu'en raison des caractéristiques tant de l'infrastructure des stations de recharge TOSA que des véhicules, le TOSA peut être qualifié de trolleybus au sens de la loi fédérale sur les entreprises de trolleybus du 29 mars 1950 (LTro)¹. Cette qualification nécessite cependant de s'écarter d'une interprétation purement littérale de la définition légale du trolleybus figurant à l'art. 1 al. 2 LTro.

5.2.1 Motivation juridique de la requête en assujettissement

Selon la définition légale de l'art. 1 al. 2 LTro, est considéré comme un trolleybus au sens de cette loi « *le véhicule, mû par un moteur, qui circule sur la voie publique sans être lié à des rails et qui tire d'une ligne de contact l'énergie nécessaire à la traction* ».

Les cinq éléments constitutifs suivants peuvent être distingués :

- il doit s'agir d'un véhicule ;
- le véhicule doit être mû par un moteur ;
- le véhicule doit circuler sur la voie publique ;
- le véhicule ne doit pas être lié à des rails ;
- l'énergie nécessaire à la traction doit être tirée d'une ligne de contact.

Le TOSA remplit sans conteste les quatre premiers éléments constitutifs de la définition :

- l'autobus articulé TOSA est un véhicule ;
- le véhicule est mû par un moteur, en l'occurrence électrique ;
- le TOSA circule sur la voie publique ;
- le TOSA n'est pas lié à des rails.

S'agissant du cinquième élément constitutif d'un trolleybus, force est de constater que le TOSA tire l'énergie nécessaire à la traction non pas d'une *ligne de contact*, mais de *connecteurs électriques aériens d'une longueur de 2 à 3 mètres* situés aux stations de recharge FLASH ainsi qu'aux terminus de la ligne. Le stockage de l'énergie électrique dans les batteries du véhicule permet au TOSA de pouvoir circuler sans connexion permanente aux lignes de contact. Entre les connecteurs électriques aériens installés aux stations FLASH, la ligne de contact devient ainsi virtuelle.

¹ Loi fédérale RSA 744.21

Ainsi, sous réserve de l'absence de lignes de contact sur l'intégralité du parcours, le TOSA présente toutes les caractéristiques typiques d'un trolleybus telles qu'elles ressortent d'une interprétation littérale de la loi.

La prise en compte du progrès de la technique

Lors de l'adoption de la LTro le 29 mars 1950, le législateur fédéral était tout à fait conscient que l'application de la définition légale du trolleybus, fondée sur l'état de la technique au moment de l'adoption de la loi, pourrait se révéler problématique dans le temps. Pour ce motif, il a conféré au Conseil fédéral la compétence de décider, en cas de doute, de l'application de la loi (art. 1 al. 2 LTro).

Le message du Conseil fédéral à l'Assemblée fédérale concernant un projet de loi sur les entreprises de trolleybus, du 26 juillet 1949, expose à cet égard que « *Le 2^e alinéa de [l'article 1] donne une définition du trolleybus conforme à l'état actuel de la technique. Il n'est cependant pas exclu que l'avenir fasse apparaître des véhicules dont la qualification juridique, en raison de leurs caractéristiques, soit malaisée. En vue de cette éventualité, on a prévu que le Conseil fédéral pourra trancher les cas douteux* »².

Le TOSA représente sans doute une telle éventualité. Il n'y a dès lors pas lieu de nier l'application de la LTro au TOSA en se fondant uniquement sur une interprétation littérale de l'art. 1, al. 2, première phrase, de la loi. Il sied au contraire de rechercher le sens véritable de la norme en recourant à d'autres méthodes d'interprétation.

L'interprétation historique permet de constater que le législateur voulait éviter que l'évolution technologique des trolleybus ne conduise à une non-application de la législation spécifique.

A cet égard, nous observons que le TOSA remplit l'ensemble des éléments constitutifs légaux d'un trolleybus, à l'exception de la connexion permanente à une ligne de contact électrique.

Or, à bien des égards, les connecteurs aériens électriques du système TOSA peuvent être comparés à une ligne de contact, dont ils remplissent la fonction.

Ces connecteurs constituent une infrastructure électrique extérieure au véhicule. Ils nécessitent à notre avis l'application des normes de la LTro et de son ordonnance d'exécution³ relatives aux installations fixes, électriques et à courant fort (cf. par exemple articles 9, 10 et 15 al. 2 LTro ; articles 4, 9 et 21 Ordonnance sur les trolleybus).

A ce propos, nous observons que le constat du message du Conseil fédéral du 26 juillet 1949 selon lequel « *la particularité des exploitations de trolleybus – usage de véhicules routiers qui ne peuvent être mis en service que s'il existe des installations électriques fixes semblables à celles des tramways – exige nécessairement l'application simultanée des prescriptions sur la circulation routière et de celles qui concernent les tramways* »⁴, vaut également pour l'exploitation du TOSA.

Si le service de trolleybus est « *intimement lié à un itinéraire déterminé par les installations de la ligne de contact* »⁵, ce qui justifie le renvoi à certaines dispositions de la législation ferroviaire, nous observons que le service des TOSA sera intimement lié à un itinéraire déterminé par les installations de recharge FLASH.

Il serait dès lors cohérent et approprié que les plans des installations fixes du système TOSA soient soumis à la procédure d'approbation des plans de l'art. 11 LTro, qui renvoie à la législation ferroviaire.

Nous observons encore que les véhicules TOSA, équipés d'un moteur électrique, sont – sous réserve de certaines caractéristiques de construction, de maintenance et de contrôle d'isolation – comparables aux trolleybus traditionnels. Or, la LTro (art. 9) et l'ordonnance d'exécution (articles 10 et 11) contiennent des règles spécifiques sur ces véhicules.

Enfin, il y a encore lieu de mentionner que le Conseil fédéral est compétent, en application du droit transitoire (art. 19 al. 2 LTro), pour prendre – à titre provisoire – les mesures reconnues nécessaires du fait de nouveautés techniques en matière de trolleybus. A cet égard, le message du 26 juillet

² Feuille Fédérale 1949 II 103, 105

³ Ordonnance d'exécution de la loi sur les entreprises de trolleybus du 6 juillet 1951 (Ordonnance sur les trolleybus), RS 744.211

⁴ Feuille Fédérale 1949 II 103, 106

⁵ Feuille Fédérale 1949 II 103, 107

1949 expose que « pour le cas où des nouveautés techniques modifieraient les règles de construction ou le mode d'exploitation des entreprises de trolleybus à un point tel que l'application de la loi deviendrait impossible ou contraire au bon sens, un correctif s'imposerait jusqu'au moment où les mesures législatives nécessaires auraient pu être prises »⁶.

Ainsi, si des directives administratives devaient s'avérer insuffisantes, rien ne s'opposerait à ce que le Conseil fédéral adopte, par voie d'ordonnance, des règles spécifiques pour une prise en compte adéquate des caractéristiques propres au TOSA, ceci en application de la LTro et jusqu'au moment où des mesures législatives auront été prises.

A cet égard, nous signalons quelques dispositions dont l'application littérale au TOSA pourrait s'avérer difficile ou disproportionnée (liste non exhaustive). Il conviendra d'examiner si elles peuvent être appliquées par voie d'interprétation ou s'il y a lieu de les adapter formellement. Il s'agit notamment des dispositions suivantes :

- Art. 10 al. 3 let. c Ordonnance sur les trolleybus ;
- Art. 17 al. 3 Ordonnance sur les trolleybus ;
- Art. 21 in fine Ordonnance sur les trolleybus ;
- Art. 44, Flle 40, 3, Dispositions d'exécution de l'ordonnance du 23 novembre 1983 sur la construction et l'exploitation des chemins de fer (OCF) ;
- Art. 44, Flle 5, 3, Dispositions d'exécution de l'Ordonnance du 5 décembre 1994 sur les installations électriques des chemins de fer (OIEC) ;
- Article 3262 et suivants des Dispositions d'exécution de l'Ordonnance du 5 décembre 1994 sur les installations électriques des chemins de fer (OIEC).

5.3 Enjeux des parties prenantes (T3.3)

Le système de transport TOSA, de par sa conception innovante, soulève certaines questions en matière de législation liée au transport public. En effet, les principaux points de nouveauté résident dans le design du véhicule, avec notamment le stockage de l'énergie électrique embarquée ; dans l'infrastructure de recharge le long de la voie publique, ainsi que dans le système de connexion entre le véhicule et l'infrastructure. En outre, il s'agit de voir si le système TOSA nécessite de nouvelles pratiques en matière de conduite du véhicule et donc nécessite une modification de la loi quant à l'autorisation de conduire (permis de conduire).

Dans le cadre de cette réflexion, nous avons identifié trois parties prenantes qui jouent chacune d'elle un rôle dans l'autorisation, la mise en œuvre et l'exploitation d'un tel système de transport. Il s'agit premièrement de l'Autorité Fédérale en tant que législateur (définition du cadre juridique dans lequel s'exerce le transport public), ensuite du propriétaire de la voie publique représenté par la Confédération, le Canton, la Commune voire un propriétaire privé dans certains cas. Enfin, le troisième acteur est l'exploitant du transport public (régie cantonale par concession ou service étatique). L'implémentation du système TOSA va donc avoir un impact sur ces rôles et il s'agit d'identifier les éventuels risques y relatifs.

5.3.1 Perspective selon le législateur

Comme d'une part, le bus TOSA est un véhicule autonome entre les arrêts (pas de recharge en roulant et doté de son énergie) et d'autre part, qu'il fonctionne comme un bus électrique lors de sa recharge aux arrêts, il a été considéré de la part de l'Office Fédéral des Transport comme un bus et non pas comme un trolleybus. En conséquence, certaines prescriptions comme la double isolation n'ont pas été nécessaires à prendre en compte. Toutefois, dans le cadre d'un déploiement à plus large échelle comme la mise en œuvre d'une ligne pilote, les demandes d'autorisation devront être adressées à l'autorité compétente. En effet, comme mentionné dans le paragraphe relatif à l'analyse du cadre juridique, il apparaît que c'est l'autorité cantonale qui est compétente en matière d'octroi d'autorisation d'exploitation d'un système de bus mais que c'est l'autorité fédérale qui l'est lors d'une demande d'autorisation d'un système de trolleybus sur le territoire national. Il convient donc que le système TOSA, de par sa configuration hybride entre bus électrique

⁶ FF 1949 II 103, 110.

nécessitant des points de recharge, fasse l'objet d'un assujettissement de l'autorité fédérale (cf. annexe V). On comprend donc bien l'avantage à obtenir cette dernière autorisation dans le cadre d'un déploiement à plus large échelle dans d'autres villes suisses. En tout état de cause, dès lors que le véhicule TOSA est considéré comme un bus par l'OFT, il convient pour ce dernier d'effectuer une analyse pertinente du système d'alimentation y relatif (infrastructure de recharge) et de procéder à une autorisation d'exploitation le cas échéant. Par ailleurs, la loi fédérale 744.21 sur les entreprises de trolleybus stipule dans son article 9 que : « Le Conseil fédéral, après avoir entendu les cantons intéressés et les entreprises concessionnaires, peut édicter des prescriptions sur la normalisation technique des véhicules et des installations ».

En matière de conduite du véhicule, le système TOSA a été pensé et conçu de manière à n'apporter aucun changement ni aucune contrainte supplémentaire au conducteur. En effet, l'approche du véhicule auprès des arrêts ainsi que son positionnement sur la voie publique et sous l'infrastructure de recharge doit se faire de manière habituelle comme pour un trolleybus. Le système de connexion bénéficiant d'un large degré de liberté spatiale et d'une prise en charge entièrement automatisée, il libère le conducteur de toute préoccupation à ce sujet. Aussi, dans le cadre de la loi fédérale en matière d'autorisation de conduire (cf. art. 14 loi 744.21), il n'est pas nécessaire pour le Conseil fédéral d'édicter de nouvelles dispositions sur la formation et l'examen des conducteurs.

5.3.2 Perspectives selon le propriétaire des routes

L'infrastructure routière est propriété de la Confédération pour les routes nationales, des Cantons, des communes pour les autres routes et de propriétaires privés dans certains cas. Aussi, il incombe à ces acteurs de prendre toutes les mesures pour assurer la sécurité de l'infrastructure routière comme mentionné dans l'article 6a de la LCR.

Dans le cadre de l'implémentation de l'infrastructure sur la voie publique, il est nécessaire d'obtenir les autorisations y relatives auprès des autorités compétentes (Département de l'urbanisme), lesquelles représentent l'Etat qui met à disposition l'espace nécessaire. Quand bien même cela est dans la majeure partie des cas du ressort du Canton, il est primordial d'effectuer des consultations auprès des communes concernées. En effet, dans le cadre de mise en place de transports publics, ces dernières, si elles ne sentent pas très concernées par des questions de sécurité qui sont du ressort du Canton et de la Confédération, elles sont en revanche très soucieuses quant aux nuisances sonores ainsi qu'à l'empiètement de l'infrastructure sur la voie publique. En matière de bruit, les analyses montrent que le système TOSA est bien plus silencieux qu'un bus diesel et comparable à un trolleybus. En revanche, en matière d'espace nécessaire sur la voie publique, le stockage d'énergie au bord de la route nécessite un design de l'infrastructure qui réduise l'encombrement au strict minimum.

Le déploiement de TOSA est du ressort du Département cantonal des Transports, c'est d'ailleurs lui qui décide du choix pour ce système, en détermine le tracé, ainsi que les endroits pour les arrêts. Il est par ailleurs le propriétaire des infrastructures de recharge et maître d'œuvre dans leur implémentation. Dans le cadre genevois, ce rôle de maîtrise d'ouvrage est délégué à l'exploitant TPG qui se charge d'obtenir les autorisations nécessaires et de la réalisation du projet (généralement en sous-traitance). En outre, il y a aussi une délégation de la maintenance des stations de recharge auprès des TPG. Ainsi, la responsabilité de la sécurité incombe à l'exploitant.

Ainsi, le propriétaire de la voie publique remplit deux rôles distincts. Premièrement, il met à disposition l'espace public nécessaire à l'implémentation et l'exploitation du système TOSA. Ce rôle en tant que tel ne présente aucun risque car les responsabilités y relatives sont très limitées. Deuxièmement, il délivre les autorisations de travaux (installations) et doit donc à ce titre remplir une responsabilité de sécurité, responsabilité qu'il délègue aux autres parties prenantes, à savoir l'exploitant, ses fournisseurs en équipement, le législateur.

5.3.3 Perspectives selon l'exploitant

Comme expliqué plus haut le système TOSA se découpe en deux volets distincts : l'infrastructure de recharge implémentée sur la voie publique laquelle est la propriété de l'Etat ou des communes d'une part et du bus électrique qui est la propriété de l'exploitant TPG d'autre part. La nouveauté du système TOSA réside dans l'interface entre ces deux volets, à savoir dans le système de connexion. En outre, dans l'utilisation de ce système de transport, la connexion est l'élément le plus critique car :

1. Il est le cœur de l'innovation ;
2. Il est l'événement le plus fréquent dans le mode opératoire ;
3. Il est au centre du transfert d'énergie de forte puissance ;
4. Il est le fruit d'une automatisation poussée.

Cet élément critique a donc fait l'objet d'un test grandeur nature avec le démonstrateur afin de valider les hypothèses y relatives et surtout de le maîtriser autant que possible. Il apparaît que l'automatisation a pleinement rempli ses fonctions et a permis une prise en charge complète de la connexion. A ce jour, la question en suspens n'est plus l'exploitation de TOSA mais bien plus la maintenance sur le long terme de l'infrastructure et de son système de connexion. Il va s'agir pour l'exploitant de développer sa maîtrise de la technologie pour réduire les interventions de réparations, limiter les incidents et éviter les accidents.

En définitive, la prise en charge complète du système TOSA par les TPG tant pour la partie exploitation que pour la partie maintenance induit une responsabilité importante à l'égard de son personnel, des usagers des transports ainsi que des usagers de la voie publique. Cette responsabilité pleine et entière ne peut être assumée qu'aux conditions suivantes :

- Le législateur encadre l'utilisation du système TOSA en tenant compte des tenants et aboutissants en matière de sécurité ;
- Les autorités compétentes délivrent les autorisations en vertu des dispositions légales et normes usuelles en matière de transports et de sécurité ;
- Les fournisseurs d'équipements garantissent le fonctionnement adéquat des matériels.
- L'exploitant lui-même assure la formation de ses équipes ainsi que la maîtrise technique et l'exploitation du système

6 La Technologie super-condensateurs (supercaps) et cycle de vie (WP4)

6.1 Description détaillée et exploitation des super condensateurs aux stations Flash

Les stations Flash sont installées le long de la route et permettent de recharger partiellement la batterie embarquée à l'arrêt de bus pendant que les passagers montent/descendent (15 s - 20 s) du bus. La station Flash est équipée d'un élément de stockage. Cet élément est utilisé comme tampon d'énergie afin de lisser la consommation d'énergie au niveau du réseau électrique (aussi connu comme «effacement de pointes»). Cela permet de réduire les frais de raccordement en limitant la puissance de connexion et de faciliter son déploiement en réalisant une connexion en BT au lieu d'une connexion MT sur le réseau électrique.

La technologie sélectionnée pour ce tampon d'énergie est la supercapacité. Elle allie les caractéristiques suivantes :

- Maturité de la technologie ;
- Forte densité de puissance sur des courtes durées ;
- Grande plage de température : -40 °C à 65 °C à cœur ;
- Grand nombre de cycles charge / décharge ;
- Très bon rendement : résistance interne très faible ;
- Facilité de maintenance : peut être déchargée jusqu'à 0 VDC.

Les caractéristiques techniques du stockage sont présentées ci-dessous.

System configuration

- Configuration : 11 modules en série et 7 en parallèle
- Durée moyenne : 15 s durée retenue
- Durée maximale : 20 s paramètre de conception
- Tension initiale : 500 VDC

Module

- Module Maxwell : BMOD0165 with ERC174 board
- Tension nominale : 48.6 VDC
- Capacité : 165 F
- Capacité en fin de vie : 132 F (-20%)
- ESR : 6.3 mOhm
- ESR en fin de vie : 12.6 mOhm (+200%)
- Rth boîtier- ambiant
- (convection naturelle) : 0.4 °C/W

Décharge "en début de vie"

- Capacité : 105 F
- Courant : 900 A (constant)
- ESR global : 9.4 mOhm
- Tension en charge : 490 V – 363 V (15s)
- Puissance : 441 kW – 327 kW
- Energie : 1.6 kWh sur la plage de tension

- Temps de recharge : 195 s à 50 kW

Décharge “en fin de vie”

- Capacité : 84 F
- Courant : 900 A (constant)
- ESR global : 18.9 mOhm
- Tension en charge : 480 V – 322 V (15 s)
- Puissance : 434 kW – 290 kW
- Energie : 1.51 kWh sur la plage de tension
- Temps de recharge : 124 s à 50 kW

Deux éléments rentrent en compte dans la durée de vie des supercapacités :

- La température de fonctionnement ;
- La tension à ses bornes.

Au vu des cycles de la ligne étudiée en détail (ligne 5 des TPG), l'élévation de température estimée et ensuite relevée sur site ne dépasse pas 2 °C au cœur des modules.

Concernant la tension, afin d'augmenter la durée de vie des supercapacités, il est important de ne les recharger qu'au dernier moment (avant une nouvelle décharge). Le but est de synchroniser ce système de recharge avec l'arrivée du prochain bus qui est indiqué par le système d'affichage de l'arrêt de bus. Ce système n'a pas été implémenté sur le démonstrateur TOSA.

Au vu de l'utilisation du démonstrateur TOSA (quelques jours par mois et avec un seul bus), l'impact sur la durée de vie n'a pas pu être mesuré.

6.2 Gestion du réseau électrique

Dans le cadre du développement des nouvelles énergies renouvelables encouragées par la nouvelle stratégie énergétique 2050 d'une part et des nouveaux moyens de transports électriques, d'autre part, les réseaux de distribution sont confrontés à de nouveaux défis en termes de variabilité de production/consommation. Souvent caractérisée par sa rapidité, cette dernière engendre des contraintes particulières au niveau des flux des charges, de leur direction et intensité ainsi que des conditions de tension sur le réseau.

6.2.1 Gestion des pics de puissance

Les Services Industriels de Genève ont amené leurs compétences dans le domaine de la gestion des réseaux électriques dans le cadre du démonstrateur TOSA. En effet, recharger rapidement un bus électrique génère une consommation électrique ponctuelle importante sur le réseau avec des effets de pics de consommation.

Le choix des Services Industriels de Genève a été de ne pas se limiter au rôle de gestionnaire de réseau mais de contribuer à la réalisation du projet par un véritable partenariat avec les principaux acteurs du projet. En effet, les évolutions techniques, ainsi que l'aspect de développement durable (suppression du diesel) correspondaient fortement à la politique de mobilité de SIG et plus largement aux valeurs défendues par l'entreprise.

La participation au projet a permis d'acquérir des compétences liées au stockage d'énergie pour lisser la charge et profiter d'un projet en grande nature pour aborder les défis des réseaux intelligents. En dehors des applications relatives aux transports publics, ces derniers apportent aux exploitants de réseaux électriques une réponse à l'augmentation de la part d'énergie renouvelable, non planifiée, injectée de façon décentralisée par les petits producteurs sur le réseau.

Plus concrètement, la participation de SIG dans le projet du démonstrateur pilote TOSA a permis de préparer un futur déploiement de TOSA à plus large échelle, d'abord sur une ligne complète puis sur une portion plus grande du réseau des transports publics genevois (TPG). L'aspect novateur du projet TOSA concerne le stockage d'énergie avec deux sortes d'équipements, le stockage d'électricité dit « embarqué », c'est-à-dire sur le bus, développé par ABB en tant qu'équipementier, et le stockage d'électricité dit « fixe », avec des stations de recharge dites « flash ».

En phase d'étude préalable, SIG a étudié les variantes possibles d'alimentation de ces stations « flash » qui, comme son nom l'indique, permet de recharger pendant un temps très court (un flash) les batteries du bus avec une forte puissance. Compte tenu des caractéristiques techniques du réseau, des coûts de raccordement et des contraintes d'exploitation, SIG a préconisé un raccordement de ces stations flash sur le réseau basse tension, permettant d'éviter un raccordement moyenne tension, nettement plus coûteux. A titre d'exemple, selon les premières estimations financières, ce choix fait baisser d'environ 40% les coûts de raccordement pour la ligne 23.

6.2.2 Potentiel lié au Smartgrid

Le fonctionnement du bus pilote a également permis à SIG d'analyser les perturbations sur le réseau et de tester le maintien de la qualité de tension sur le réseau. Effectuées en juillet 2013 sur les stations « terminale » de l'aéroport et « flash » à Palexpo, les mesures ont permis de constater le respect des règles techniques DACH et de la norme EN50160 pour l'aéroport. La station « Palexpo » ne correspond, quant à elle, pas aux critères d'autorisation pour les entailles de commutation. Ce diagnostic a été communiqué au projet TOSA pour une recherche de solution (filtrage, adaptation de l'électronique, etc.) en cas de développement de TOSA.

Le partenariat avec le projet TOSA a permis aux Services Industriels de pousser la réflexion bien au-delà des simples questions de logistique et de transport en favorisant des rapprochements avec le monde académique et des collaborations public-privé. TOSA, c'est potentiellement aussi un nouveau mode de gestion de l'énergie électrique à l'aide des nouvelles technologies de l'information. Dans ce cadre, une collaboration avec la Haute Ecole d'Ingénierie et de gestion du canton de Vaud (HEIG-VD) a été réalisée dans le but de déterminer les besoins en stockage du réseau liés à l'intégration des nouvelles énergies renouvelables (NER) et de la mobilité électrique. SIG pourra ainsi bénéficier de leur expérience dans la modélisation des réseaux et du stockage d'énergie.

L'étude, encore en cours, identifiera également l'impact sur le réseau d'un prochain déploiement de TOSA sur la ligne 23 des TPG. En raison d'une récente modification du tracé de la ligne 23, les résultats sont attendus d'ici l'été 2015. Globalement, selon l'ancien tracé, une analyse préliminaire a démontré que le déploiement de TOSA sur la ligne 23 devrait être possible. Toutefois, quelques quartiers/arrêts ont été identifiés comme « problématiques » avec des niveaux de tension dépassant de 5% la tension nominale et feront l'objet d'une étude plus approfondie.

Les résultats et l'expérience acquise lors de la phase du démonstrateur ont conforté SIG dans le choix de poursuivre le partenariat avec TOSA dans le cadre du déploiement sur la ligne 23 avec notamment une étude sur l'utilisation d'un stockage à base de batterie pour l'alimentation des bus TOSA et pour la stabilisation du réseau. Cette étude permettra, dans le contexte du déploiement des réseaux intelligents (Smart Grid) de comparer les impacts et contraintes d'un tel système de stockage et d'identifier les attentes/bénéfices pour l'exploitation du réseau (effet tampon, réserve d'énergie pour le maintien de la qualité de la tension, système de mesures et pilotage du réseau).

A ce jour, la capacité à participer au réglage de la tension par une fourniture de puissance réactive des redresseurs contrôlés à IGBT n'a pas été étudiée en détail mais représente une perspective d'amélioration de la valeur fonctionnelle des installations dans le réseau électrique.

6.3 Fonctionnement d'une recharge Flash

Lors de la connexion du bus à l'infrastructure de charge, la charge des supercaps est arrêtée et le contacteur de charge du chargeur la sous-station Flash s'ouvre.

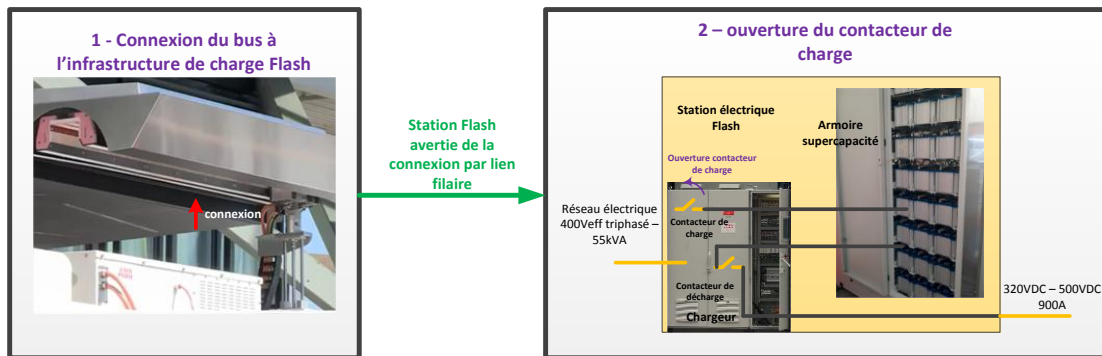


Fig. 11 Connexion à la station Flash

Par la suite, le contacteur de décharge (du chargeur de la station électrique Flash) se ferme. Après vérification de la présence de la tension à l'entrée du chargeur embarqué et de la bonne mise à la terre, le contacteur de charge (du chargeur embarqué) se ferme. La charge de la batterie embarquée commence. Le flux d'énergie va des supercaps (qui se déchargent) vers la batterie comme le montre la figure ci-dessous.

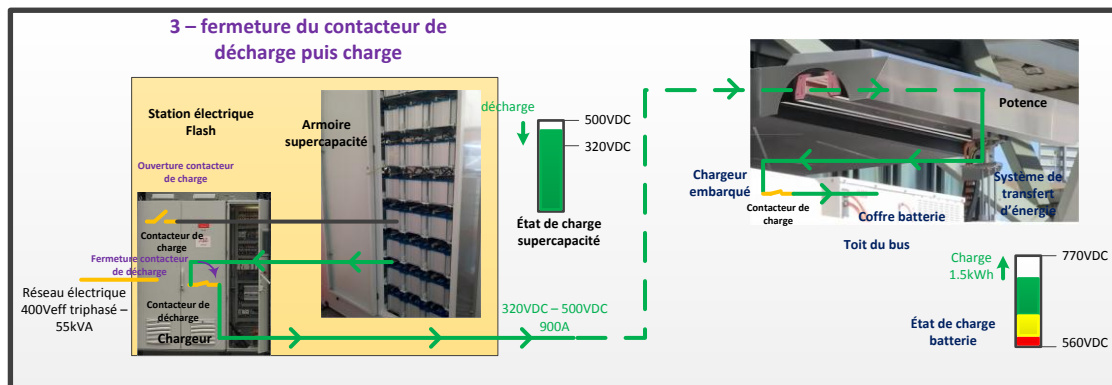


Fig. 12 Charge de la batterie embarquée

Le dispositif de mise à la terre avertit la station électrique Flash par un lien filaire de la fin de la charge. Le chargeur de la station Flash ouvre le contacteur de décharge. La tension disparaît à l'entrée du convertisseur et entraîne la déconnexion du système de transfert d'énergie.

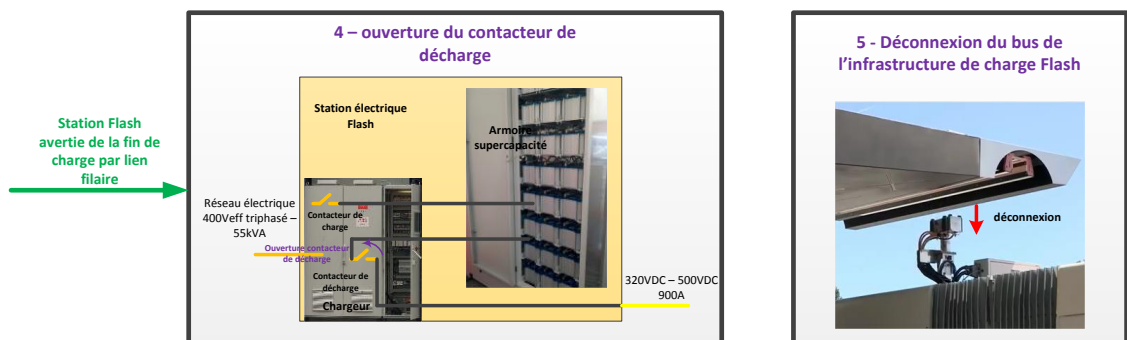


Fig. 13 Fin de charge et déconnexion

Une nouvelle charge des supercaps peut alors commencer.

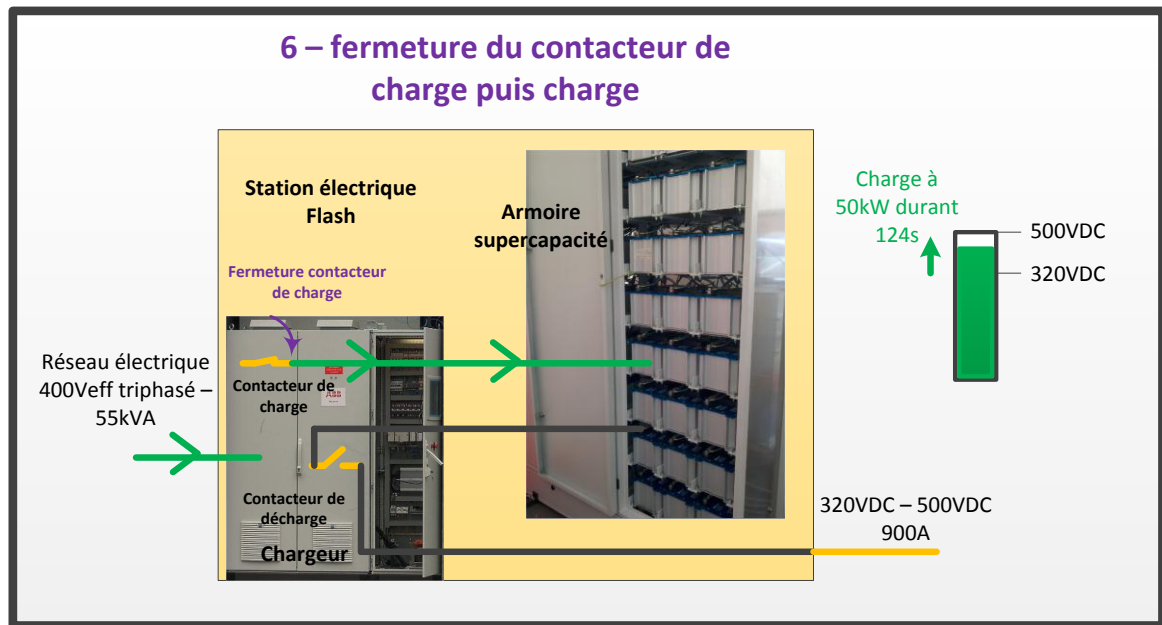


Fig. 14 Recharge des supercaps

7 Conclusion

La mise sur pied du démonstrateur en grandeur réelle et en exploitation in situ a non seulement mis en évidence la faisabilité technique d'un tel système mais a aussi permis de tirer quelques leçons que nous allons étoffer ci-dessous. En outre, la réalisation de l'étude soutenue par l'OFROU met en évidence les points critiques du système TOSA et permet d'attirer l'attention des parties prenantes sur ceux-ci.

7.1 La gestion des risques

L'analyse des risques liés à l'exploitation, notamment en regard des standards de sécurité, a poussé le consortium du projet à envisager toutes les mesures d'atténuation et à appliquer celles qui assurent une maîtrise optimale du système. La confirmation de l'Office Fédéral des Transports que TOSA est assujéti comme bus électrique est une preuve que l'équipe de projet a répondu adéquatement à ces risques.

7.2 L'évolution des infrastructures

C'est sans conteste un des points les plus sensibles aux évolutions. En effet, dans le contexte d'exploitation in situ, il est apparu que la hauteur de l'infrastructure (Potence avec le rail) devait être portée à 4.5 m au minimum afin de limiter le risque de collision permettant ainsi de répondre aux normes européennes. Toujours à propos des infrastructures, il est apparu que l'exigence du temps de 15 secondes aux arrêts avait un impact important sur la configuration du système, notamment sur la capacité de stockage d'énergie aux stations flash via les supercaps. Il apparaît qu'en abandonnant la technologie des supercaps et en utilisant la technologie des batteries de dernière génération, des gains importants pouvaient être réalisés, tels que :

- Augmenter la puissance transférée ;
- Gérer des trains de bus aux arrêts (alimenter 2 bus ou plus qui se suivent l'un derrière l'autre) ;
- A puissance égale, baisser le coût du stockage ;
- Limiter l'espace de stockage sur la voie publique.

7.3 L'évolution du véhicule TOSA

Une des questions sensibles est le dimensionnement de l'unité de stockage embarquée. Le principe de TOSA (et donc du système de biberonnage) est de transporter des passagers, pas des batteries. A contrario, il est apparu que le nombre d'infrastructures le long de la route pouvait poser problème en termes de nombre d'arrêt à équiper, de travaux de génie civil et de points d'alimentation électrique. Ainsi, il a été décidé de doubler la capacité de la batterie afin de :

- doubler l'énergie transférée à chaque station d'alimentation, ceci afin de réduire significativement le nombre d'infrastructure ;
- d'augmenter l'autonomie pour faciliter la gestion en cas de très forts trafics et de retour prématuré au dépôt ;
- d'homogénéiser la flotte de véhicule. En effet, grâce à une plus grande autonomie, la flotte de véhicule peut être affectée à n'importe quelle ligne TOSA du réseau. C'est la répartition de l'infrastructure qui est la variable d'ajustement (en fonction de la longueur de la ligne, du dénivelé, ...).

Lors du développement du démonstrateur, nous nous sommes concentrés sur l'efficacité de la chaîne de traction. Cependant, en matière d'efficacité énergétique du véhicule, des améliorations substantielles pourraient être réalisées en améliorant la gestion et la consommation des auxiliaires (climatisation, chauffage, lumières,...). En outre, la base du véhicule utilisé est un trolleybus standard. Des évolutions sur la structure du châssis, les matériaux utilisés, ainsi que sur l'intégration d'innovations relatives à la motorisation (ex. moteur-roue, intégration des moteurs dans les axes) devraient être explorées.

7.4 L'exploitation

L'exploitation du démonstrateur dans une envergure limitée n'a pas permis de tester tous les cas de figure en mode dégradé (panne d'une station, temps limité au terminal, etc...). Ainsi les calculs de capacité, de comportement des batteries sont basés sur des tests et des inférences. Il faudra donc porter une attention toute particulière pour comprendre le fonctionnement en mode dégradé ainsi que les conséquences sur les systèmes (impact sur la durée de vie des batteries, capacité énergétique, autonomie du véhicule, robustesse du système). De plus, le système TOSA étant particulièrement innovant par rapport aux autres modes de transport (trolley et bus diesel), une courbe d'apprentissage nécessaire sur la maintenance et la formation du personnel doit être prise en compte ; l'exploitant devant assumer la mise en œuvre des moyens nécessaires.

Enfin, l'étude économique montre que les coûts entre trolley et TOSA sont sensiblement similaires bien que le modèle de prix de l'électricité à Genève un léger surcoût de l'énergie électrique pour TOSA.

7.5 Les perspectives futures

Aujourd'hui, le projet TOSA a bénéficié d'une importante vitrine dans le cadre de la conférence UITP 2013 ainsi que de nombreuses présentations lors de conférences internationales ainsi que de visites de délégations étrangères sur le site du démonstrateur. Des discussions sont actuellement en cours pour intégrer le bus TOSA en tant que « Observatory Project » dans le cadre du projet ZeEUS, Zero Emission Urban Bus System⁷ du 7^{ème} programme cadre de l'Union européenne. Des prochaines collaborations de recherche avec des partenaires européens peuvent aussi être envisagées dans le contexte du programme H2020, notamment en fonction des thématiques d'intérêt, telles que la configuration d'un réseau TOSA à l'échelle d'une ville par exemple. En outre, le projet TOSA a reçu de nombreuses distinctions citées en annexes et est sélectionné pour le prix CleantechInnovate 2016⁸.

Sur les aspects commerciaux, il y a actuellement des négociations commerciales avancées avec ABB auprès collectivités publiques en Europe, mais l'opportunité la plus concrète au moment de la rédaction du présent rapport, reste la mise en œuvre de la ligne 23 des TPG. La décision sera soumise au parlement genevois par le biais d'un projet de loi d'ici décembre 2015. La réalisation de la première ligne pilote commerciale sera faite en étroite collaboration avec l'OFEN.

Un enjeu futur de TOSA réside dans la standardisation du système de transfert d'énergie (ETS). Aujourd'hui, l'interface entre le véhicule et l'infrastructure semble bien maîtrisé au niveau technique ; d'ailleurs les premiers concurrents semblent avoir choisi un modèle de connexion analogue à TOSA. Mais qu'en sera-t-il au niveau de la diffusion du système sur le marché ? Les aspects décisifs seront :

- La fiabilité technique du système de transfert ;
- Ses atouts par rapport à d'autres systèmes (induction, pantographe,...) ;
- Son adoption par les autres acteurs (fabricants de bus, fournisseurs d'équipements).

Le système TOSA, de par les différents éléments qu'il intègre (infrastructure, véhicule, interface) va bousculer les modèles d'affaires habituels et ouvre des perspectives quant au découpage des différents rôles des parties prenantes. Aussi, il sera nécessaire de clarifier les rôles de chacun (qui est fournisseur pour qui), les responsabilités entre les différents fournisseurs des éléments du système (matériel roulants et infrastructures), la propriété des différents éléments (ex. l'infrastructure). A propos de la station flash par exemple, elle pourrait, selon qui en détient la propriété, devenir une infrastructure de stockage décentralisée afin de permettre le stockage d'énergie photovoltaïque produite dans les environs.

Enfin, le système TOSA basé sur le biberonnage peut ouvrir d'autres champs d'application, toujours dans des contextes de transports avec arrêts fréquents et lourdes charges de transports, comme par exemple les trams, les chaînes logistiques (ex. points de collectes de déchets)..

⁷ www.zeeus.eu

⁸ www.cleantechinnovate.com

Annexes

I	Standards TÜV I	53
I.1	Homologation I.1	53
I.2	Standards I.2.....	56
II	Documents de validation II.....	57
II.1	Rapport de contrôle - electrosuisse II.1.....	57
II.2	Rapport d'expertise - Office fédéral des transports II.2	58
III	Annexe III: Distinctions	61
IV	Annexe IV: Modèle d'analyse de risques.....	63
V	Annexe V: Requête en assujettissement auprès de l'OFT.....	65

I Standards TÜV I

I.1 Homologation I.1

Tab. 1 Homologation

Regelung	Erforderliche Dokumente
ECE-R-100.01 Die gemäß der Richtlinie erforderliche Dokumentation ist rechts dargestellt. Darüber hinaus werden Spezifikationen der HV Komponenten (Charger, Batterie, Inverter...) benötigt.	<i>Beschreibungsbogen gemäß ECE-R-100.01, Anhang 6, darin Angaben zu:</i> Allgemein : Marke, Typ, Fahrzeugklasse etc Elektromotor Energiespeicher (Batterie/SuperCaps) Sicherungen, Schutzschalter Kabelbündeln Schutz gegen Stromschläge (Schutzkonzept) Kurzbeschreibung des Einbaus der Bauteile des Leistungsstromkreises Schematische Darstellung aller elektrischen Funktionen im Leistungsstromkreis Ebenen 1 : offizielles Genehmigungspaket 2 : vertrauliche Unterlagen bei TÜV 3 : vertrauliche Unterlagen bei Hersteller
ECE-R-13, Anhang 18 Die gemäß der Richtlinie erforderliche Dokumentation ist rechts dargestellt. Die Dokumentation nach Typ 3 kann während eines Vororttermins vom TÜV eingesehen werden.	Der Hersteller muss ein Dokumentationspaket zur Verfügung stellen, das Angaben über die Grundkonstruktion des „Systems“ und die Mittel zur Verbindung mit anderen Fahrzeugsystemen oder zur direkten Steuerung von Ausgangsgrößen enthält. Die Funktion(en) des „Systems“ und das Sicherheitskonzept müssen darin nach den Festlegungen des Herstellers erläutert sein. Die Dokumentation muss kurz und knapp sein, jedoch ausreichen, um nachzuweisen, dass bei der Entwicklung des Systems mit dem erforderlichen Expertenwissen aus allen betreffenden Systembereichen vorgegangen wurde. Für Zwecke der periodischen technischen Überwachung ist anzugeben, wie geprüft werden kann, ob das „System“ im funktionsfähigen Zustand ist. Die Dokumentation muss zwei Teile umfassen: (a) das formale Dokumentationspaket für die Genehmigung mit den folgenden Angaben, das dem Technischen Dienst vorzulegen ist, wenn der Antrag auf Erteilung der Typgenehmigung gestellt wird. Es dient als Grundlage für die Verifikation. Beschreibung der Funktionen des „Systems“: Es ist eine Beschreibung mit einer einfachen Erläuterung aller Steuerfunktionen des „Systems“ und der zur Erreichung der Zielgrößen angewandten Verfahren, einschließlich einer Beschreibung des Steuerungsmechanismus (der Steuerungsmechanismen), vorzulegen. - Es ist eine Liste aller Eingangsgrößen und abgetasteten Größen mit Angabe des Betriebsbereichs vorzulegen, - Es ist eine Liste aller vom „System“ gesteuerten Ausgangsgrößen vorzulegen und jeweils anzugeben, ob die Steuerung direkt oder über ein anderes Fahrzeugsystem erfolgt. Der Steuerungsbereich ist für jede dieser Größen anzugeben, - Die Systemgrenzen sind anzugeben, wenn sie für die Wirkung des Systems relevant sind.

Systemplan und Schaltbilder: Liste der Bauteile: Es ist eine Liste vorzulegen, in der alle Baueinheiten des „Systems“ zusammengestellt und die anderen Fahrzeugsysteme aufgeführt sind, die für die betreffende Steuerfunktion erforderlich sind. Es ist eine Umrisszeichnung vorzulegen, aus der hervorgeht, wie diese Baueinheiten kombiniert sind, außerdem müssen sowohl die räumliche Verteilung der Bauteile als auch die Verbindungen deutlich zu erkennen sein. - Funktionen der Baueinheiten: Die Funktion jeder Baueinheit des „Systems“ ist darzustellen, und die Signale die sie mit anderen Baueinheiten oder anderen Fahrzeugsystemen verbinden, sind anzugeben. Dazu kann ein beschriftetes Blockschaltbild, ein anderes Schaltbild oder eine Beschreibung mit Schaltbild verwendet werden. - Verbindungen: Verbindungen innerhalb des „Systems“ sind wie folgt darzustellen: Elektrische Übertragungsverbindungen in einem Schaltbild, Lichtleiter- Verbindungen in einem Glasfaser-Leiterplan, pneumatische oder hydraulische Übertragungseinrichtungen in einem Rohrleitungsplan und mechanische Verbindungen in einer vereinfachten schematischen Darstellung. - Signalfluss und Prioritäten: Zwischen diesen Übertragungsverbindungen und den zwischen den Baueinheiten übermittelten Signalen muss eine deutliche Entsprechung bestehen. Die Prioritäten von Signalen auf Multiplexdatenbussen sind immer dann anzugeben, wenn sie bei der Anwendung dieser Regelung einen Einfluss auf die Wirkung oder die Sicherheit haben können. - Kennzeichnung von Baueinheiten: Jede Baueinheit muss deutlich und eindeutig gekennzeichnet sein (z. B. durch Beschriftung bei Hardware und Kennzeichnung oder einen Softwarecode bei Software), damit die Entsprechung zwischen der Hardware und der Dokumentation überprüft werden kann. Sind Funktionen innerhalb einer einzelnen Baueinheit oder innerhalb eines einzelnen Computers kombiniert, aber im Blockschaltbild der Deutlichkeit und der Einfachheit halber in Mehrfachblöcken dargestellt, dann braucht nur ein einziges Hardware-Kennzeichen verwendet zu werden. Der Hersteller muss unter Angabe dieses Kennzeichens bestätigen, dass das gelieferte Gerät den Unterlagen entspricht. Das Kennzeichen steht für eine bestimmte Hardware- und Softwareversion, und wenn die letztgenannte so geändert wird, dass sich dadurch auch die in dieser Regelung definierte Funktion der Baueinheit verändert, muss dieses Kennzeichen ebenfalls geändert werden.

Sicherheitskonzept des Herstellers

Der Hersteller muss bestätigen, dass die zur Erreichung der Zielgrößen des „Systems“ gewählte Strategie im fehlerfreien Zustand den sicheren Betrieb von Systemen, für die die Vorschriften dieser Regelung gelten, nicht beeinträchtigt.

In Bezug auf die bei dem „System“ verwendete Software ist die Grundarchitektur zu erläutern, und die bei der Entwicklung angewandten Verfahren und Hilfsmittel sind anzugeben. Der Hersteller muss darauf vorbereitet sein, dass er gegebenenfalls nachweisen muss, wie bei der Entwicklung vorgegangen wurde, um die Systemlogik umzusetzen.

Der Hersteller muss dem Technischen Dienst eine Beschreibung der Konzepte vorlegen, die bei der Entwicklung des „Systems“ vorgesehen wurden, um den sicheren Betrieb im Fehlerfall zu gewährleisten. Bei einem Fehlerfall im „System“ können zum Beispiel folgende Konzepte genutzt werden:

- (a) Rückfall auf ein Teilsystem,
- (b) Übergang auf ein getrenntes Backup-System,
- (c) Wegschalten der übergeordneten Funktion.

Im Fehlerfall wird der Fahrzeugführer z. B. durch ein Warnsignal oder durch eine Nachrichtenanzeige gewarnt. Wenn das System nicht vom Fahrzeugführer dadurch deaktiviert worden ist, dass z. B. der Zündschalter (Anlassschalter) in die Aus-Stellung gebracht oder die betreffende Funktion ausgeschaltet wurde, wenn dafür ein besonderer Schalter vorhanden ist, muss die Warnung erfolgen, solange der Fehlerzustand anhält.

Wird bei dem gewählten Konzept bei bestimmten Fehlerzuständen der Rückfall auf ein Teilsystem ausgewählt, sind diese Zustände und die daraus resultierenden Funktionseinschränkungen anzugeben.

Wird bei dem gewählten Konzept ein zweites Werkzeug (Backup-Werkzeug) zur Erreichung der Zielgrößen des Fahrzeugsteuersystems ausgewählt, sind die Prinzipien des Übergangsmechanismus, die Logik, die Redundanz und alle vorgesehenen Backup-Überwachungsmerkmale darzustellen und die daraus resultierenden Funktionseinschränkungen anzugeben.

Wird bei dem gewählten Konzept das Wegschalten der übergeordneten Funktion ausgewählt, müssen alle entsprechenden Ausgangssteuersignale, die mit dieser Funktion zusammenhängen, gesperrt werden, damit das Ausmaß der vorübergehenden Störung begrenzt wird.

(b) zusätzliches Material und Analysedaten, die vom Hersteller aufzubewahren, zum Zeitpunkt der Typgenehmigung aber zur Prüfung offen zu legen sind:

Die Dokumentation muss durch eine Analyse ergänzt werden, in der in allgemeinen Worten dargestellt ist, wie das System sich beim Auftreten eines der definierten Fehler verhält, die eine Auswirkung auf die Fahrzeugsteuerung oder die Fahrzeugsicherheit haben.

Dazu können die Ergebnisse einer Fehler-Möglichkeiten- und -Einfluss-Analyse (FMEA), einer Fehlerbaumanalyse (FTA) oder eines vergleichbaren, zur Untersuchung von Sicherheitsaspekten geeigneten Analyseverfahrens dargestellt werden.

Die gewählten analytischen Ansätze sind vom Hersteller festzulegen und zu aktualisieren und zum Zeitpunkt der Typgenehmigung zur Prüfung durch den Technischen Dienst offen zu legen.

In dieser Dokumentation sind die überwachten Parameter aufzulisten, und für jeden Fehlerzustand nach 3.4.4 ist das Warnsignal anzugeben, das dem Fahrzeugführer und/oder Wartungspersonal/Prüfer zu geben ist.

I.2 Standards I.2

Tab. 2 Standards

Thema	Standard, Norm	Titel	Bemerkung	
Charger	EN 61851-1	Konduktive Ladung von Elektrofahrzeugen — Teil 1 : Allgemeine Anforderungen		
	EN 61851-21	Konduktive Ladesysteme für Elektrofahrzeuge — Teil 21 : Anforderung eines Elektrofahrzeuges für konduktive Verbindung an AC/DC-Versorgung		
	EN 61851-22	Konduktive Ladesysteme für Elektrofahrzeuge — Teil 22 : Wechselstrom-Ladestation für Elektrofahrzeuge		
	EN 62196-1	Stecker, Steckdosen, Fahrzeugsteckvorrichtungen und Fahrzeugstecker — Ladung von Elektrofahrzeugen — Teil 1 : Leitungsgebundenes Laden von Elektrofahrzeugen bis 250 A Wechselstrom und 400 A Gleichstrom		
	EN 62196-2	Stecker, Steckdosen, Fahrzeugsteckvorrichtungen und Fahrzeugstecker – Konduktives Laden von Elektrofahrzeugen – Teil 2 : Anforderungen an und Hauptmaße für die Austauschbarkeit von Stift und Buchsensteckvorrichtungen		
Electrical Safety	ISO 6469-1	Electrically propelled road vehicles - Safety specifications - Part 1 : On-board rechargeable energy storage system (RESS)		
	ISO 6469-2	Electrically propelled road vehicles - Safety specifications - Part 2 : Vehicle operational safety means and protection against failures		
	ISO 6469-3	Elektrische Straßenfahrzeuge - Sicherheitspezifikationen - Teil 3 : Schutz von Personen gegen elektrische Gefahren		
Battery	EN 50272-3	Sicherheitsanforderungen an Batterien und Batterieanlagen - Teil 3 : Antriebsbatterien für Elektrofahrzeuge		
	EN 50272-1	Sicherheitsanforderungen an Batterien und Batterieanlagen – Teil 1 : Allgemeine Sicherheitsinformationen		
	EN 62660-1	Lithium-Ionen-Sekundärbatterien für den Antrieb von Elektrostraßenfahrzeugen - Teil 1 : Prüfung des Leistungsverhaltens (IEC 62660-1:2010)	(früher: 61982-4)	IEC
	EN 62660-2	Lithium-Ionen Sekundärbatterien für den Antrieb von Elektrostraßenfahrzeugen - Teil 2 : Zuverlässigkeits- und Missbrauchsprüfung (IEC 62660-2:2010)	(früher: 61982-5)	IEC
	DIN V VDE V 0510-11	Sicherheitsanforderungen an Lithium-Sekundärbatterien für Hybridfahrzeuge und mobile Anwendungen	Vornorm nur für Deutschland	aktuell für
Bus-Oberbau	ISO 12405-1	Elektrische Straßenfahrzeuge - Prüfspezifikation für Lithium-Ionen Antriebsbatteriesystem und Batterieteilsysteme - Teil 1 : Hochleistungssysteme		
	EN 60077-1:	Elektrische Betriebsmittel auf Bahnfahrzeugen Teil 1 : Allgemeine Betriebsbedingungen und allgemeine Regeln		
	IEC 60364-4-41	Elektrische Anlagen von Gebäuden - Teil 4-41 : Schutzmaßnahmen - Schutz gegen elektrischen Schlag		
	EN 50122-1	Bahnanwendungen - Ortsfeste Anlagen - Elektrische Sicherheit, Erdung und Rückleitung - Teil 1 : Schutzmaßnahmen gegen elektrischen Schlag	Vergleichbare Installationen für Bahnen	
	EN 50178	Ausrüstung von Starkstromanlagen mit elektronischen Betriebsmitteln		
Wayside	EN 60269-1	Niederspannungssicherungen – Teil 1: Allgemeine Anforderungen (IEC 60269-1:2006)		
	EN 60664-1	Isulationskoordination für elektrische Betriebsmittel in Niederspannungsanlagen – Teil 1: Grundsätze, Anforderungen und Prüfungen		
	EN 61508	Funktionale Sicherheit sicherheitsbezogener elektrischer/elektronischer/programmierbarer elektronischer Systeme		

II Documents de validation II

II.1 Rapport de contrôle - electrosuisse II.1

SEV Verband für Elektro-, Energie- und Informationstechnik



Produktequalifizierung

Ref. 13-IK-0050.01

Prüfbericht

Fehraltorf, 25. April 2013

Auftragsdatum:	06. 05. 2013
Referenz:	Herr B. Eng
Auftraggeber:	ABB Schweiz AG Austrasse CH-5300 Turgi
Hersteller:	Carrosserie HESS AG Bielstrasse 7 CH-4512 Bellach
Gegenstand:	Elektro-Bus mit Akku-Betrieb
Handelsmarke:	TOSA
Typ:	BGT-N2D
Techn. Daten:	Traktionsbatterie 672 V, 40 kWh Traktionsmotor 2 AC-Motoren à 120 kW (Spitzenleistung)
Prüfung:	Sicherheitstechnische Prüfung des Traktionsnetzes (> 2 Amp.)
Prüfbestimmung:	SEV-TP 69/2A-d:2003
Ergebnis:	Prüfung mit Auflagen bestanden

Electrosuisse
Produktequalifizierung

Matthias Huber
IH-IK

Luppenstrasse 1 Tel. +41 44 956 11 11
CH-8320 Fehraltorf Fax +41 44 956 11 22
Info@electrosuisse.ch
www.electrosuisse.ch

II.2 Rapport d'expertise - Office fédéral des transports II.2

Prüfungsbericht
Rapport d'expertise
Rapporto di perizia

Form. 13.20 A

WPB VII
IRE VII
IRP VII

2007

01 - 06	Transports publics genevois (TPG)		15	Schild Plaque Targa	GE	☒ 08a / bc / bi ☐ 08 / bi / ce ☐ 08 / va / ve ☐ 08 / bi / ma ☐ 08 / va / ma ☐ 08 / ja / gi	
Marke, Vorname PLZ Standort PLZ Wohnort		Route de la Chapelle 1	17	Bes. Verwendung Usage spécial Uso speciale	Trafic de ligne	17a Code 11	
Mon. präfix NPA Lieu de stationnement NPA Lieu de domicile		Case postale 950	19	Art des Fahrzeuges Genere del veicolo Genere del veicolo	Bus à plate-forme pivotante	20 Code 22	
Cognome, nom NPA Largo di station. NPA Largo di domicilio		1212 Grand-Lancy 1	21	Marke und Typ Marche et type Marca e tipo	Hess BGT-N2D	20a n. n. Circ. D-acc.	
07	Geburtsdatum Date de naissance Data di nascita	08	Heimort Pays d'origine Paese d'origine	23	Fahrgestell-Nr. Nr. châssis Nr. telaio	TH9 22E L33 C4 512 016	M3
09	Versicherung Assurance Assicurazione			25	Karosserie Carrozzeria Carrozzeria	Autobus	22 Code 263
13	Kardinalia / Nummer Verfügung der Behörde	Arbitration cardinale Decisione dell'autorità	Arbitration cardinale Decisione dell'autorità	26	Farbe Couleur Colore	Multicolore	
135	Admis seulement pour le trafic de ligne relevant de la concession.		27	Plätze Places Posti	133	1	sonst. autres altre
184	Vitesse maximale selon constructeur: 65 km/h.		28	Stammnummer N° matricule N° di matricola			20 Leergewicht Poids à vide Peso a vuoto
243	La charge admise par essieu: E1 = 7500 kg. E2 = 11500 kg. E3 = 11500 kg.		24	Typengenehmigung Réception par type Approvazione di tipo	X		32 Max-Gesamtlast Charge ultérieure Carico ulteriore
263	2 places autorisées pour chaises roulantes.		37	Höhenraum Cylindricité Cilindrata	cm ²		33 Gesamtgewicht Poids total Peso totale
265	Le nombre total des places comprend: 88 places debout.		76	Leistung Potencia Potenza	2 x 120.0		35 Gewicht des Zuges Poids de l'ensemble Peso del convoglio
500	Poids total 29000 kg. selon OCR art. 76. Avertisseur sonore zone piétonne autorisé. Charge des pneus admises seulement sur les lignes ne dépassant pas 40 km/h de moyenne.		78	Leistung Potencia Potenza	2 x 120.0		31 Anhängerlast Chg. remorquable Carico rimorchiabile
40	Ladefläche Base de chg. Base di carico	41	Hubhöhe Plate-forme élév. Piattoforma elev.	50	Länge Longueur Lunghezza	18741	51
44	Tank-Einbauten / Liter Circuits comp. / litres Circuiti comp. / litri	43	Antriebsart Disp. d'aliment. Disp. aliment.	56	Spur Voie Carreggi	2095	57
45	SERVADOR N. u. Ziff. SERVADOR d. chg. SERVADOR d. chg.	47	Anzahl Türen Nombre portes Numero porte	48	Fahrtbuch / Registro Tachygraphe / Enregistreur de km de parc. Edizione registro / Registratore di km parc.	RAG A+ 85846 358	49
46	Tank-Füllnummer N° d'aliment. Cil. n° di comb.	60	Gebiet Zone Zona	61	Antrieb Entrainement Trazione	E 2 + E 3	62
64	Motorleistung Série d'ident. mot. 2 x AMDH225W	65	Regime nominal Régime nominal Regime a potenze nominali	2400	66	Zyl. Cyl. Cil.	67
68	Bremsen Frein de service	Electropneum. circ. e1/e2/e3, e1-e3 disques		69	ABS	70	71
70	Frein de stationnement Frein de stationnement	A ressort sur e2 + e3		71	Bremsen für Anh. Frein pour rem. Frein per rim.	E	72
81	Essieu / Nombre Asse / Numero	3	Total	82	Essieu / Nombre Asse / Numero	3	83
84	Garantie Tech. zul. Höchstgewicht Garantie Poids max. tech. autorisé Garanzia Peso tech. Max. ammesso	30000	7500	85	Garantie Tech. zul. Höchstgewicht Garantie Poids max. tech. autorisé Garanzia Peso tech. Max. ammesso	13000	86
87	Leergewicht Poids à vide Peso a vuoto	5820	7190	88	Leergewicht Poids à vide Peso a vuoto	6990	89
90	Zul. Achslast Chg. par essieu autorisée Peso per asse ammesso	7500	11500	91	Zul. Achslast Chg. par essieu autorisée Peso per asse ammesso	11500	92
93	Reifen Pneumatiques Pneumatici	2 Mich. XZU	4 Mich. XZU	94	Reifen Pneumatiques Pneumatici	4 Mich. XZU	95
96	Reifenabmessungen und Geschwindigkeitsindex Dimensions des pneumatiques et indice de vitesse Dimensioni pneumatiche e indice della velocità	305 / 70 R 22.5 J	275 / 70 R 22.5 J	97	Reifenabmessungen und Geschwindigkeitsindex Dimensions des pneumatiques et indice de vitesse Dimensioni pneumatiche e indice della velocità	275 / 70 R 22.5 J	98
99	Tragfähigkeit / Belastbarkeit Indice de capacité de charge / Charge nominale pneus Indice della capacità di carico / Portata max. pneumatici	150 = 7705 incl 15% ETRTO C30	145 = 11600	100	Tragfähigkeit / Belastbarkeit Indice de capacité de charge / Charge nominale pneus Indice della capacità di carico / Portata max. pneumatici	145 = 11600	101
102	Felgen (Material / Dimensionen / Marke) Jantes (dimension / matériau / marque) Cerchioni (dimensioni / materiale / tipo)	22.5 x 8.25 Ac.	22.5 x 7.50 Ac.	103	Felgen (Material / Dimensionen / Marke) Jantes (dimension / matériau / marque) Cerchioni (dimensioni / materiale / tipo)	22.5 x 7.50 Ac.	104
105	Typengenehmigungsinhaber - Code Code de titulaire réception par type Codice del titolare dell'approvazione del tipo			106	Typengenehmigungsinhaber - Code Code de titulaire réception par type Codice del titolare dell'approvazione del tipo		
107	Ort, Datum der Prüfung durch die Behörde Lieu, date du contrôle par l'autorité Luogo, data del controllo dell'autorità	Genève, le 6 mai 2013		108	Ort, Datum der Prüfung durch die Behörde Lieu, date du contrôle par l'autorité Luogo, data del controllo dell'autorità		
109	Obige Angaben bestätigt Der Typengenehmigungsinhaber oder der Hersteller Le soussigné confirme les indications ci-dessus: Il sottoscritto conferma le indicazioni qui sopra: Il titolare dell'approvazione o il costruttore	CARROSSERIE HESS AG BIELLETRASSE 7 CH-4512 BELLACH P. J. J. J.		110	Stempel der Zulassungsbehörde und Unterschrift Timbre de l'autorité d'immatriculation et signature Bollo dell'autorità di immatricolazione e firma	OFFICE FEDERAL DES TRANSPORTS Section véhicules EPH/HD/Vic / D/Vic / 308.013.20 / 1 01.09 300'000 800218974	
111	Zollstempel Timbre de douane Bollo doganale			112	Zollstempel Timbre de douane Bollo doganale		

a		b		c		d	
Beschreibung/Art, Erklärung/Art, El./Eclairage/art. El./Eclairage/art. El.		Betr. Bremsen/Durbr., Frein da serv./Ralent., Freno serv./Ralent.		Einrichtung/Equipement, Equipement		Funktion/Sicht/Funzione/visibilità, Funzione/visibilità	
				CH		E 17° 43R	
1	Ständlicht Feux de position Luci di posizione	✓	Wirkung Efficacité Efficacia	✓	Aufhängung Suspension Sospensione	✓	Türen Portes Porte
2	Abblendlicht Feux de croisement Fari anabbaglianti	✓	Gleichmässigkeit Eclairage Regolarità	✓	Federung/Schwingelager Resorts/Amortisseurs Molleggio/Ammortizzatori	✓	Unterlegel Cais d'arrêt Cuneo
3	Fernlichter/Karbollicht Feux de route/Lampe à incandescence Fari di profondità/Luce spia	✓	Peilabw. / Course à vide comm. / Corsa del pedale	✓	Beizung/Feder / Pneumatiques/Amortisseurs Pneumatici/Amortizzatori	✓	Kepfen/Kab. Stütze Disp. des portecab. base Disp. sic. portecab. rib.
4	Markenlichter vish Feux de gabarit/Lampe à incandescence Luci di ingombro/art. (Luce spia)	✓	Brandentzündung / Conduite à l'arrêt / Conduite à l'arrêt	✓	Koffler / Gade-bout / Parafang	✓	Schleiflichter MR Béquille moto Disp. sostegno moto
5	Reiblichter g/h Feux de trouble/glar Fari fendinebbia g/h (Luce spia)	✓	Luftverf. / Fuite d'air / Fuite d'aria	✓	Rost/Fahrgest. / Carrosserie / Corrosion chéss./carrosserie Ruggine tel./carrozzeria	✓	Abmessungen Dimensions Dimensioni
6	Zusatzleuchten Phares suppl. Fari di profondità, suppl.	✓	Benutzungsart / Régulateur / Regolatore	✓	Gefährliche Teile Parties dangereuses Parti pericolose	✓	Verbindungsanordnungen Dispositifs d'attelage Dispositivi di aggancio
7	Tagfahrlicht Feux de circulation d'une Luci di circolazione duna	✓	Kont. / Bremsen / Cont. des circuits / Controlli circuito	✓	Motorkraft/Übertragung Moteur/Transmission Motore/Trasmissione	✓	El. Steckdose Verbindungsseil Passe-état. dispositif d'att.
8	Leuchte Signal optique Segnali ottici	✓	Anspruch/Lösung / Temps rtp. et d'ess. / Tempo rtp. e allent.	✓	Artikelmass / Capacité d'embarquement / Capacité d'arrivo	2 x i=9.84	Abreissicherung Câble rupt. frein Disp. sic. freno rim.
9	Richtungslinien vish/Kontrolllicht Cigarotte/Lampe à incandescence Indic. direzione lamp. art. (Luce spia)	✓	Manometer / Mano pression / Manometro	✓	Kupplung / Embrayage / Frizione	✓	Sicherheitsgurt Ceintures de séc. Cinture di sic.
10	Warnlicht Feux clignotants avertisseurs Luci d'avvertimento	✓	Warnvorrichtung 2/3 Druck Avertisseur 2/3 press. Disp. avvert. 2/3 press.	✓	Gewebeschaltung Boîte à vitesses/Comm. d. vitesses Cambio/Comando cambio	✓	Diebstahlsicherung Disp. antivol Disp. antifurto
11	Schleiflicht Feux arrière Luci di coda	✓	Druck Anh. Bremslichter Pres. cond. frein. rem. Press. cond. freno rim.	✓	Dehler/LM/GH Eclairage M/GH Pentole d'olio M/GH	✓	Geschwindigkeitssensoren Indicateur de vitesse/Dat.
12	Reiblichter Feux-stop Luci di fermata	✓	Dauerbremse / Ralentisseur / Ralentizzatore	✓	Kreuzgelenk/Kardan Arbre/joints cardan Albero/giunti cardan.	✓	Rufbericht Certificat Certificato
13	Rückstrahler g/h Catadioptr/Lampe à incandescence Catarting. art. (Luce spia)	✓	Elektr. / Festeis/Bremse Frein secours/stat. Freno ausiliario/stat.	✓	Geschwindigkeit / Plomben Vitesse / plombes Velocità / piombatura	✓	Pneiben Pneus Pneumatiche
14	Kontrollschalter Eclairage de plaque Illuminazione foras	✓	Wirkung / Efficacité / Efficacia	✓	Brandschutz/Tank Cond. de carb. réserv. Cond. Carb. riservativo	✓	Feuertischer Endicteur Estintore
15	Rücklichter Feux de recul Luci di retromarcia	✓	Gleichmässigkeit Eclairage Regolarità	✓	Katalysator Catalyseur Catalizzatore	✓	Notrufanlage / Vitesse / Apothéke Série secours / outis / Pharmacie Luota emergenza / utensili / Farmacia
16	Parklicht Feux de stationnement Luci di parcheggio	✓	Peilabw. / Course de la comm. / Corsa della leva	✓	Auspuffanlage Disp. d'échappement Disp. di scarico	✓	Schild mit Platzzahl Plaquette nombre de places Targhetta numero dei posti
17	Arbeitsleuchte/Kontrolllicht Lampe de travail/Lampe à incandescence Luci di lavoro/Luce spia	✓	Kabel/Leitungen Câbles/conduits Cavibondotti	✓	Abgas/Rauch Gaz d'échappement/Fumée Gas di scarico/Fumo	✓	Heckleuchte Plaquette constr. Targhetta del costr.
18	Scheinwerfer / Scheinwerfer Eclairage/Lampe à incandescence Fari/Luce spia	✓	Abfahrtschalt / Progressivité / Regolazione	✓	Geräusch Niveau sonore Rumore	✓	Panelschild Triangle de panne Segnale véc. fermé
19	Deflektor Heizung/Lüftung Dégivreur / Aération et chauffage Situazione/Riscaldamento	✓	Anspruch/Lösung / Temps rtp. et d'ess. / Tempo rtp. e allent.	✓	Übrige Ausrüstung Autres équipements Equipaggiamenti compl.	✓	Benennung SDRADR Identification SDRADR Contrassegno SDRADR
20	Warnvorrichtung Avertisseur Avvisatore acustico	✓	Manometer / Mano pression / Manometro	✓	Rückblick / Seitenblickspiegel Rétroviseur / Rétror. p. vis. lat. Specchio/Specchiato laterale	✓	Ausrüstung SDRADR Equipement SDRADR Equipaggiamento SDRADR
21	Batteriebelastung Fusion batterie Fraggio batteria	✓	Wirkung Festschaltbremse Efficacité frein stat. Efficacia freno stat.	✓	Grosswind-/Rampenspiegel Miroir grand angle/décolorante Spec. grand'angolare/decolorante	✓	Leuchtschriften SDRADR Rétroreflexions const. SDRADR Retroreflettori const. SDRADR
22	Funkentstörung Déparasitage Deparassaggio	✓	Fest-/Kontroll-/Leitung Chassis/casque / Direction Télécom/contrôle / guide	✓	Schutzvorrichtung (Art. 164 VTS) Dispositif de protection (art. 164 OETV) Dispositivo di protezione (art. 164 OETV)	✓	Varianten/Typengenehmigung Variantes/d'approbation par type Varianti/approvazione di tipo
23	Bau-/Gebäude/Kontrolllicht Feu bleu/Lampe à incandescence Luce blu/Luce spia	✓	Leistung/Geometrie Détail/contrôle / géométrie Disp. di guida / geometria	✓	Unterfahrschutz hinten/seitlich Dispositifs de protection latérale/arrière Dispositivi di protezione laterale/posteriore	✓	Varianten/Typengenehmigung Variantes/d'approbation par type Varianti/approvazione di tipo
24	EU - Gesamtgenehmigung Reception générale - UE Approvazione generale - UE	282	Atten. Zustand Etat général Stato generale	Neuf	Datum der Selbstabnahme (Art. 32 VTS) Date de l'expertise garage (art. 32 OETV) Data della perizia in difesa (art. 32 OETV)	5845 6095	Unterschrift Signature Firma
25	Benutzungs-/Benutzungs Remarques/Constatations Osservazioni/Constatazioni	Véhicule classe I					
Cyl. de freins: E1 = 24", E2 + E3 = 24"1/4".							
Certif Hess: Vmax + poids garantis de mai 2013.							
Certif. DTC: Freins + direction de mai 2013.							
Certif. Electrosuisse: Système électrique du 25 avril 2013.							
Dérogation Serv. autos GE: poids total à 29000 kg. du 2 mai 2013.							
Mesure de bruit de l'avertisseur de zones piétonnes: 75 dB(A) à 7 mètres.							

III Annexe III: Distinctions

Solution récompensée à l'international

2012 : Prix de l'OMPI (Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle), Suisse

2013 : Prix de l'Innovation de la Chambre de Commerce Anglo-Suisse, Suisse

2014 : Prix de l'Innovation écologique de Legambiente, Italie

2014 : Smart Awards, France

2014 : Deux Prix EBUS, Allemagne

IV Annexe IV: Modèle d'analyse de risques

Tab. 1 Grille d'évaluation de l'occurrence des risques

Level of probability	Level of the probability of the unwanted event	Description of the unwanted event
A	Probable	May appear several times during the life of the bus system.
B	uncommon	Unlikely that the dangerous situation appears once in the lifetime of the system.
C	Improbable	Very unlikely that the dangerous situation appears in the life of the system, but the risk is not zero.
D	Extremely improbable	It is so unlikely that the dangerous condition appears, it may be considered as null.

Tab. 2 Grille d'évaluation de la gravité des risques

Level of severity	Severity level of the consequences of the unwanted event	Consequences for people or the environment
4	Catastrophic	An event with catastrophic consequence is an event that causes one or more loss of life, in which the victim did not realize other actions as those which can legitimately expect.
3	Critical	An event with critical consequences is : • Either an event that causes serious injury or ill health causing serious disability and permanent but not normally the death of a person having no particular disability and aggravating in which victims did not realize other actions than those for which one can legitimately expect. • Or an important event leading to damage to the system (loss of operating the line for several hours, degradation of the line facilities,) and / or its environment An event with critical consequences is : • Either an event that causes serious injury or ill health causing serious disability and permanent but not normally the death of a person having no particular disability and aggravating in which victims did not realize other actions than those for which one can legitimately expect. • Or an important event leading to damage to the system (loss of operating the line for several hours, degradation of the line facilities,) and / or its environment.
2	Significant	An event with significant consequences is an event causing minor injuries to person(s) in which the victim did not realize other actions than those for which one can legitimately expect. Or the bus must stop because damages caused on sensitive components don't allow to continue the mission of public service.
1	Minor	An event with minor consequences is an event that does not cause any injury to person or damage the system or significant consequence

Tab. 3 Classification des risques en fonction de l'occurrence et de la gravité

Degré de probabilité	Degré de sévérité			
Probable (A)	Inacceptable	Inacceptable	Inacceptable	Acceptable
Peu commun (B)	Inacceptable	Inacceptable	Acceptable	Acceptable
Improbable (C)	Inacceptable	Acceptable	Acceptable	Acceptable
Extrêmement improbable (D)	Acceptable	Acceptable	Acceptable	Acceptable
	Catastrophique (4)	Critique (3)	Significatif (2)	Mineur(1)

V Annexe V: Requête en assujettissement auprès de l'OFT

19 AOÛT 2015



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Département fédéral de l'environnement,
des transports, de l'énergie et de la communication DETEC

Office fédéral des transports OFT
Division Infrastructure

CH-3003 Berne, OFT

Courrier A

Transports publics genevois (TPG)
Direction Développement & Ingénierie
A l'att. de M. Pascal Ganty
CP 950
1212 Grand-Lancy 1

Référence du dossier: BAV-411.25-00001/00010
Numéro d'affaire OFT: 2015/0117
Notre référence: coy
Dossier traité par: Yvan Coowar
Berne, le 18 août 2015

Transports publics genevois (TPG) – Trolleybus Optimisation Système Alimentation (TOSA) Requête en assujettissement à la loi fédérale sur les entreprises de trolleybus

Monsieur,

Par la présente, nous faisons suite à votre requête susmentionnée transmise le 8 avril 2015.

Après avoir réalisé un premier examen de votre demande, nous sommes en mesure de vous communiquer les informations suivantes :

Au sens de la loi sur les trolleybus¹ est considéré comme trolleybus le véhicule, mû par un moteur, qui circule sur la voie publique sans être lié à des rails et qui tire d'une ligne de contact l'énergie nécessaire à la traction. En cas de doute, le Conseil fédéral décide sur l'application de cette loi (art. 1 al. 2 LTro). Ne tirant pas d'une ligne de contact l'énergie nécessaire à la traction, le TOSA n'est a priori pas un trolleybus. Reste à examiner, si du point de vue fonctionnel, celui-ci pourrait être assimilé à un tel moyen de transport.

De notre décision d'homologation du matériel roulant du système TOSA², nous retenons les points suivants. Le système de mise à terre est différent de celui d'un trolleybus. En marche, l'énergie n'est pas tirée d'un élément extérieur au véhicule, mais d'une batterie. L'expertise électronique du véhicule a été assurée par Electrosuisse. Dès lors, le matériel roulant a été homologué par l'OFT en tant que bus.

L'infrastructure est à considérer comme des stations de recharge. Autrement dit, celle-ci est assimilable à un système de bus électrique et non à celui d'un trolleybus.

¹ LTro ; RS 744.21

² Homologation de véhicule pour le service de ligne, du 25 juin 2013, n° ZR42OB2013-06-0058

Office fédéral des transports OFT
Adresse postale: 3003 Berne
Adresse physique: Mühlestrasse 6, 3063 Ittigen
Yvan Coowar
Tél. +41 58 465 76 84, Fax +41 58 462 55 95
yvan.coowar@bav.admin.ch
www.bav.admin.ch



Référence du dossier: BAV-411.25-00001/00010

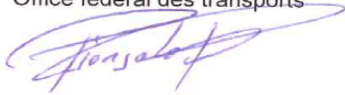
Enfin, du point de vue de l’exploitation, il apparaît que le TOSA bénéficie de plus de flexibilité qu’un trolleybus. Le TOSA peut par exemple dévier de son tracé sans avoir à changer de source d’énergie.

En tenant compte de ce qui précède, nous estimons que le TOSA ne peut être assimilé à un trolleybus au sens de la LTro.

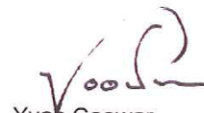
Dès lors, nous vous invitons à examiner si les TPG souhaitent que le Conseil fédéral se prononce sur le sort de leur requête et le cas échéant à préalablement compléter cette dernière en tenant compte des observations susmentionnées.

Veuillez agréer, Monsieur, l’assurance de notre considération distinguée.

Office fédéral des transports



Pierre-André Pianzola, Chef de section
Section Autorisations II



Yvan Coowar
Section Autorisations II

Copie p. i. à: - re, bwl, zr, fz, ea

Glossaire

Terme	Signification
ABB	Asea Brown Boveri
BHNS	Bus à Haut Niveau de Service (BHNS)
BMS	Battery Management System
BT	Basse Tension (BT)
CPI	Contrôleur Permanent d'Isolement
ESR	Equalent Serie Resistance
LTO	Lithium Titanate Oxyde
MT	Moyenne Tension (MT)
OFT	Office Fédéral des Transports
RFID	Radio Frequency Identification
SAEIV	Système d'Aide à l'Exploitation et à l'Information Voyageurs
SIG	Services Industriels Genevois
SWOT	Strenghts, Weaknesses, Opportunities, Threats
TOSA	TPG, OPI, SIG, ABB
TPG	Transport Public Genevois
VDC	Voltage Direct Current
WP	Work Package

Bibliographie

Lois fédérales

- [1] Confédération suisse (1950), « **Loi fédérale du 29 mars 1950 sur les entreprises de trolleybus (Loi sur les trolleybus, LTro)** », RS 744.21, www.admin.ch.
-

Messages du Conseil fédéral

- [2] Confédération suisse (1949), « **Message du Conseil fédéral du 26 juillet 1949 à l'Assemblée fédérale concernant un projet de loi sur les entreprises de trolleybus** » FF 1949 II 103, 105, 106, 107, 110, www.admin.ch
-

Ordonnances

- [3] Confédération suisse (1951), « **Ordonnance d'exécution du 6 juillet 1951 de la loi sur les entreprises de trolleybus (LTro)** », RS 744.211, www.admin.ch.
-

Clôture du projet



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Département fédéral de l'environnement, des transports,
de l'énergie et de la communication DETEC
Office fédéral des routes OFROU

RECHERCHE DANS LE DOMAINE ROUTIER DU DETEC

Version du 09.10.2013

Formulaire N° 3 : Clôture du projet

établi / modifié le : 23.10.2015

Données de base

Projet N° : AGE2013/001_ENG

Titre du projet : TOSA - Transport avec Optimisation du Système d'Alimentation

Echéance effective : 30.10.2015

Textes :

Résumé des résultats du projet :

L'étude du démonstrateur TOSA a permis de couvrir plusieurs aspects importants et de formaliser différentes informations ou connaissances jusqu'alors implicites. Notamment les points critiques ont été:

- 1) une identification des risques majeurs liés à ce nouveau système de transport et de mettre en œuvre les mesures de réduction nécessaires, notamment en adéquation aux standards de la sécurité.
- 2) une analyse SWOT ainsi qu'une analyse financière comparative entre modes de transports trolleybus, diesel et TOSA.
- 3) une analyse du cadre juridique actuel et l'assujettissement du véhicule au titre de bus électrique par l'Office fédéral des Transports.
- 4) une description détaillée du fonctionnement du système de biberonnage.
- 5) une étude détaillée de l'unité de stockage électrique dans l'infrastructure et l'impact sur la gestion du réseau d'énergie.

Les résultats obtenus durant la période de test du démonstrateur ont permis de convaincre l'Etat de Genève avec les soutiens de l'OFEN de faire un pas de plus. En effet, la ligne 23 des Transports publics genevois (tpg) va être équipée sur un nouveau tracé entre l'Aéroport (parking P47) et les Tours de Carouge via le pont Butin des stations de recharge flash et terminal nécessaires pour garantir une exploitation sûre et efficace.



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Département fédéral de l'environnement, des transports,
de l'énergie et de la communication DETEC
Office fédéral des routes OFROU

Atteinte des objectifs :

Dans l'ensemble du travail réalisé, les objectifs ont été entièrement atteints. Le traitement des différents points de vigilance (ex. les risques, les coûts, le fonctionnement du système de biberonnage) nous a permis d'adopter une démarche systématique et rigoureuse. Nous pensons avoir été, autant que faire se peut, exhaustifs dans notre étude à ce stade de l'innovation. L'absence d'incidents significatifs tout au long de cette expérience du démonstrateur nous conforte dans nos choix.

Déductions et recommandations :

Bien entendu la courbe d'expérience est relativement courte avec le bus TOSA. Aussi, les feedbacks et leçons apprises sont relativement peu importantes à ce jour comme par exemple pour l'étude économique établie à priori; laquelle devra être validée plus en détail au gré de l'expérience.

Le choix technologique des supercaps au début du projet a soulevé des questions d'intégration (Volume occupé trop important) ainsi que des questions de coûts en comparaison avec les batteries de dernière génération pouvant remplir les mêmes fonctions à des niveaux de performance supérieurs. Ainsi, dans les projets ultérieurs, l'emploi des super-condensateurs sera abandonné au profit des batteries.

Publications :

Aucune publication au cours de l'étude
Rapport final du projet de recherche

Chef/cheffe de projet :

Nom : Robert-Nicoud

Prénom : Thierry

Service, entreprise, institut : Haute Ecole Arc Ingénierie / Route de la Serre 7 / CH-2610 St-Imier

Signature du chef/de la cheffe de projet :



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Département fédéral de l'environnement, des transports,
de l'énergie et de la communication DETEC
Office fédéral des routes OFROU

RECHERCHE DANS LE DOMAINE ROUTIER DU DETEC

Formulaire N° 3 : Clôture du projet

Appréciation de la commission de suivi :

Evaluation :

Le projet du démonstrateur a permis de prouver l'exploitabilité du système de transport par bus équipé de batteries sur un parcours test entre l'Aéroport de Genève et Palexpo. Une station flash et une station terminal ont permis de constater que les durées d'arrêt pour l'échange de passagers n'étaient pas rallonger par le chargement des batteries. Le système TOSA a donc rempli les attentes et objectifs fixés pour cette phase du projet. Il s'agit dans un proche avenir de tester le système sur une ligne de transport fortement chargée et soumise aux aléas de la circulation mixte. D'autres applications dans le domaine des transports avec des caractéristiques similaires (points de passage fréquents) paraissent prometteuses.

Mise en oeuvre :

L'Etat de Genève avec le soutien de l'OFEN a décidé de transformer la ligne 23 des tpg, aujourd'hui exploitée par des autobus articulés à traction Diesel, en ligne électrique TOSA sur un tracé modifié et accéléré.

Besoin supplémentaire en matière de recherche :

Néant

Influence sur les normes :

Pas à ce stade.

Président/Présidente de la commission de suivi :

Nom : Stucki

Prénom : Christoph

Service, entreprise, institut : Président de la Communauté tarifaire de Genève unireso

Signature du président/ de la présidente de la commission de suivi :

sig. Christoph Stucki

Index des rapports de recherche en matière de route

L'index des rapports de recherche en matière de route est téléchargeable sur le site www.ofrou.admin.ch sous Service → Recherche en matière de routes → Downloads → Formulaires.