

UN TROLLEY QUI CIRCULE SANS FIL DE CONTACT

Les trolleybus jouissent d'une popularité grandissante dans les villes suisses. L'installation des lignes aériennes de contact fait toutefois l'objet d'une certaine résistance. Ici, le constructeur de bus Carrosserie Hess AG (Bellach/SO) comble une lacune: le récent «Swiss Trolley plus» est équipé d'une batterie à haut rendement et peut ainsi assurer des lignes dont certaines sections se situent hors du réseau électrique. Le nouveau bus pose également de nouveaux jalons en termes de consommation d'énergie: grâce à une construction légère et un ingénieux système de gestion de l'énergie, il économise au moins 15% d'énergie par rapport à un trolleybus traditionnel.



Vue sur le toit du Swiss Trolley plus dans le garage des VBZ à Hardau: la batterie installée dans le boîtier métallique blanc pèse 1,2 t et a une capacité de stockage de 60 kWh. Pour comparer: un bus électrique de même puissance alimenté exclusivement à partir de la batterie pendant toute la durée de fonctionnement devrait disposer d'une batterie d'une capacité de 600 kWh. Une telle batterie pèserait 5 t et rendrait le bus nettement plus lourd (et l'exploitation peu rentable). Photo: B. Vogel

Quiconque traverse la ville de Zurich en tant que passager sur la ligne 33 se sent comme dans tout autre trolleybus suisse. Pourtant, un véhicule qui n'existait pas jusqu'à présent circule sur cette ligne depuis mai 2017: le bus est équipé d'une batterie et peut circuler sur de plus longues distances qui ne sont pas équipées de lignes aériennes de contact. La commutation entre les deux modes de propulsion a lieu sans que les passagers ne s'en rendent compte. Le chauffeur du bus, Fatmir Alijaj, emmène le journaliste à l'arrêt Albisriederplatz pour lui faire la démonstration. Tandis que les passagers montent et descendent, le chauffeur du bus active un bouton dans la cabine et les pantographes se replient. Le processus ne dure que quelques secondes et le bus reprend son parcours. Le processus inverse est ensuite réalisé au niveau d'un autre arrêt. Une pression sur un bouton suffit pour déployer les pantographes vers les lignes aériennes de contact. Une trémie assure le positionnement correct des têtes de captage sur les fils. «Il s'agit d'un processus de routine, le taux de réussite est supérieur à 99%», affirme le chauffeur Alijaj.

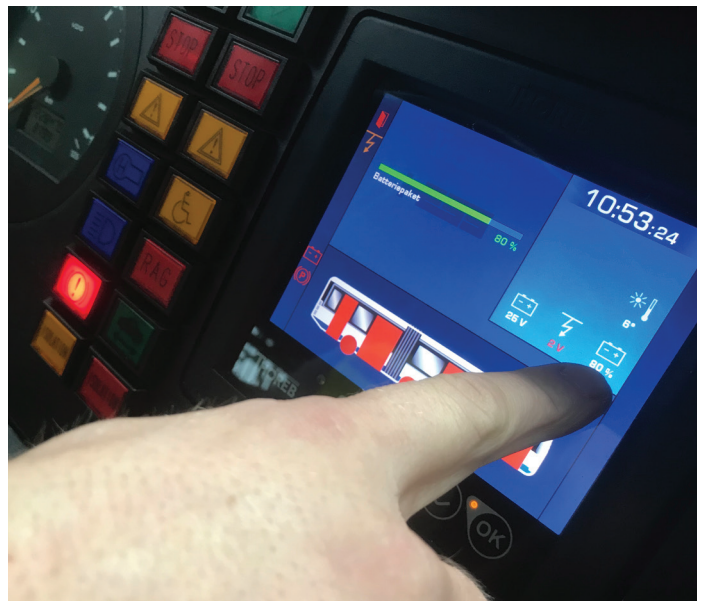
D'autres lignes à alimentation électrique

L'alimentation du bus, par la ligne aérienne de contact ou une batterie, n'influence aucunement la puissance du moteur. Un avantage, que les passagers attentifs peuvent éventuellement remarquer, est le niveau sonore plus bas que celui des trolleybus utilisés jusqu'à présent. Cette différence est due aux moteurs synchrones exploités à moindre régime. Le principal avantage du nouveau bus: il peut circuler sur des lignes dont certaines sections ne sont pas équipées de caténaires. Concernant les Verkehrsbetriebe der Stadt Zürich (VBZ), la situation se présente par exemple sur la ligne 83 (Milchbuck-Hardbrücke-Bhf Altstetten). Jusqu'à présent, des bus diesel assurent le parcours bien que la ligne circule sur des sections plus longues parallèlement aux lignes de trolleybus existantes. Grâce au nouveau bus, les VBZ peuvent y faire circuler un bus électrique pour la première fois. Ce concept inédit est également une base pour l'électrification des lignes 69 et 80 (les deux desservent entre autres l'ETH Hönggerberg), des lignes importantes desservies jusqu'à présent exclusivement avec des bus diesel. Pour l'exploitation des trolleybus sur ces lignes, seules certaines sections doivent être équipées de lignes aériennes de contact.

«Au cours des premiers mois, l'aptitude du bus sur le terrain a été mis à l'épreuve; excepté quelques soucis mineurs, le Swiss Trolley Plus a apporté entière satisfaction. Nos chauffeurs ont pu passer au nouveau bus sans formation particu-

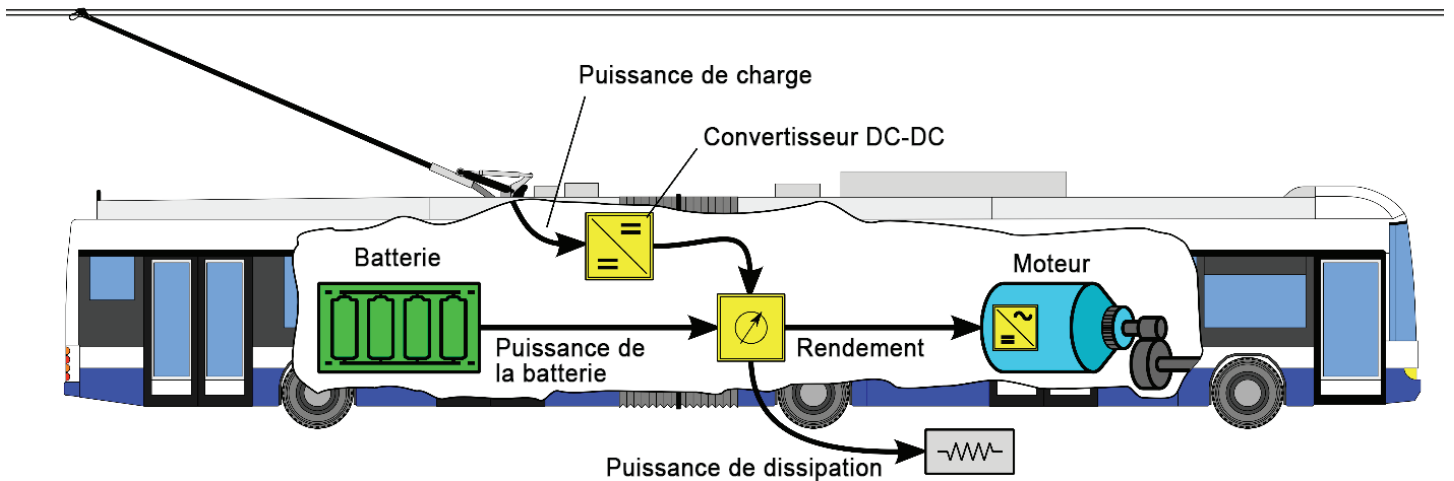


Pour le chauffeur du bus (sur la photo: Fatmir Alijaj, chauffeur VBZ), le Swiss Trolley plus n'apporte qu'un changement minime. Un de ces changements est la pédale programmable qui favorise un mode de conduite plus économique du point de vue énergétique. Photo: B. Vogel



Un niveau de charge situé entre 50 et 85% est préférable pour ménager la batterie. Photo: B. Vogel

lière. Avec ce concept de véhicule, nous pourrions prolonger les lignes existantes sans caténaires supplémentaires à l'avenir», affirme Oliver Tabbert, responsable du projet chez les VBZ. Le concept de propulsion permet également de simplifier les caténaires complexes, par exemple en renonçant aux liaisons rarement utilisées qui peuvent être parcourues en mode batterie.



La ligne aérienne de contact alimente le trolleybus avec une tension continue/DC de 600 V. Un convertisseur DC/DC à séparation galvanique la transforme en 600-850 V DC pour alimenter la batterie. Un convertisseur est indispensable dans la mesure où les deux moteurs et le réseau de bord (lumière, chauffage, compresseur d'air pour les freins) fonctionnent au courant alternatif. Illustration: VBZ

Plus léger et plus efficace

La société Carrosserie Hess AG a conçu le Swiss Trolley plus, le nom du projet, en une année. Les VBZ ont participé à l'interprétation des exigences et à la mise en service en tant que partenaire. L'Office fédéral de l'énergie soutient financièrement le projet industriel dans le cadre de son programme de projets phares. Le bus associe plusieurs innovations: le véhicule pèse une tonne de moins qu'un trolleybus traditionnel et par conséquent, sa charge utile est plus élevée (163 au lieu de 150 passagers) bien que la batterie pèse 600 kg de plus que la batterie de secours que les trolleybus transportent. La réduction du poids a été possible grâce à la construction légère (par ex. les plaques composites utilisées au lieu du bois pour le sol) et à un allègement des systèmes de traction et de chauffage. Le chauffage, la ventilation et la climatisation sont également conçus différemment : deux pompes à chaleur air-eau produisent la chaleur et le froid qui chauffe ou rafraîchit la cabine du conducteur par le biais d'un réseau de tuyauterie tout en assurant le refroidissement de la batterie. La température minimale indispensable dans le bus peut être réduite de 2 degrés Celsius car l'intérieur est également chauffé par infrarouge depuis le plafond.

La construction légère et le système CVC améliorent l'efficacité énergétique du bus. La meilleure récupération de l'énergie de freinage et le système de transmission à moteurs synchrones permettent de réaliser des économies d'énergie supplémentaires. Comparés aux moteurs asynchrones, les moteurs synchrones sont jusqu'à 8% plus efficaces selon

la vitesse, ils permettent une construction plus compacte et nécessitent moins d'entretien. Le système de traction conçu par ABB Turgi est utilisé pour la première fois dans un trolleybus Hess. Le moteur électrique à refroidissement par eau peut être utilisé car le nouveau trolleybus est équipé d'un convertisseur DC-DC qui assure l'isolation galvanique du bus du réseau d'alimentation des caténaires. Grâce à cette isolation, le bus peut être conçu comme un bus électrique conventionnel en-dessous du convertisseur DC-DC; cela signifie qu'une double isolation des composants du véhicules n'est pas nécessaire (pour les moteurs de traction non plus). L'isolation du groupe motopropulseur de réseau de caténaire



Le Swiss Trolley plus ne fonctionne pas avec un moteur asynchrone, comme c'est généralement le cas dans le domaine de l'électromobilité, mais avec un moteur synchrone. Le principe est un peu plus compliqué pour la commande et la manipulation mais il requiert moins d'énergie et permet des couples de rotation plus élevés, et ainsi un moindre nombre de tours. Photo: B. Vogel

explique également l'efficacité: tandis que les trolleybus conventionnels peuvent réinjecter l'énergie de freinage superflue uniquement lorsqu'un autre bus en a besoin en même temps, le Swiss Trolley plus peut charger sa batterie à tout moment avec l'énergie de freinage récupérée.

«Le bus devrait pouvoir fonctionner avec 15% de moins d'énergie par rapport aux trolleybus traditionnels. Les données d'exploitation collectées jusqu'à présent confirment cette estimation plutôt conservatrice», affirme Hans-Jörg Gisler, directeur du projet pour la société Carrosserie Hess AG, et complète: «Nous tentons de réaliser 8 à 10% d'économies d'énergie supplémentaires avec le système de gestion de l'énergie». Ce dernier a été conçu par l'ETH de Zurich et implémenté étape par étape dans le bus (cf. zone texte).

Régularisation des pointes de puissance

Grâce à la batterie à haut rendement, le Swiss Trolley plus peut parcourir 10 km sans caténaire, ce qu'il a démontré dans la pratique. Dans certaines conditions test, l'autonomie a même atteint une distance de 20 à 30 km. Ce faisant,

l'autonomie dépendait essentiellement du système chauffage-ventilation-climatisation dans la mesure où le chauffage requiert à peu près autant d'électricité que les moteurs dans des conditions hivernales extrêmes. La batterie installée sur le toit du bus a une capacité de stockage de 60 kWh et une puissance de charge/décharge de 360 kW. Sa capacité est ainsi deux fois plus élevée que celle d'une batterie de secours comme celle intégrée dans les trolleybus traditionnels, et quatre fois plus puissante. La puissance n'est pas entièrement exploitée au quotidien; selon les informations des VBZ, 90 à 100 kW sont sollicités quotidiennement, 200 kW tout au plus. La batterie fait partie de la catégorie des batteries lithium-ion actuelles en sachant que la composition chimique de la batterie LTO utilisée (matériau cathodique en lithium nickel manganèse cobalt oxyde, matériau anodique en Lithium Titanate Oxyde) favorise un rendement élevé et un faible poids. La durée de vie est estimée à au moins huit années.

La batterie fournit de l'énergie pour la traction et le système chauffage-ventilation-climatisation et absorbe l'énergie de récupération. Elle n'est pas importante uniquement pour le

UN BUS AVEC GESTION ÉNERGÉTIQUE AUTOADAPTATIVE

Dans le cadre d'un projet de recherche sur le Swiss Trolley plus, des scientifiques de l'ETH de Zurich ont conçu un système de gestion de l'énergie sous la direction du professeur Christopher Onder (Institut des systèmes dynamiques et des techniques de régulation). Ce système contrôle le niveau de charge de la batterie; il réduit ainsi la consommation d'énergie et augmente la durée de vie de la batterie. Cela peut signifier, par exemple, que le niveau de charge de la batterie peut être contrôlé en vue de conserver le niveau souhaité en cas de flux énergétique de récupération (idéalement entre 50 et 85%), ou lorsque le chauffage doit être réduit sur un trajet en pente pour ménager la batterie.

Le système de gestion de l'énergie s'adapte automatiquement: si le Swiss Trolley plus est utilisé sur une nouvelle ligne, le système assisté par GPS enregistre les informations relatives à la ligne en fonction de la position géographique, par ex. les arrêts, la topographie, la vitesse moyenne ou le nombre de passagers sur les sections correspondantes. Après quelques parcours, le système est en mesure d'optimiser l'autonomie, l'efficacité énergétique, la durée de vie de la batterie et la consommation d'énergie des consommateurs auxiliaires sur la base des données collectées. Les chercheurs de l'ETH ont également conçu un logiciel de conception qui aide la fabricant à sélectionner les composants électriques en fonction de l'utilisation prévue.

Le système de gestion de l'énergie inclut également un modèle de dégradation de batterie conçu par le centre de compétence BFH-CSEM Stockage d'énergie de la Haute école spécialisée de Bienne (prof. Andrea Vezzini) dans le cadre du projet. Le modèle comprend des instructions de commande détaillées visant à préserver la batterie le plus longtemps possible.

Un projet supplémentaire met en œuvre la gestion des données en temps réel avec Innosuisse: les données d'exploitation du bus sont transmises en temps réel à l'exploitant et permettent ainsi une planification plus efficace des travaux de maintenance. BV



Le Swiss Trolley plus est un trolleybus de 163 places en mesure de parcourir des trajets pouvant atteindre 10 km sans ligne aérienne de contact grâce à une batterie de 60 kWh. La même technologie est appliquée dans un bus à double articulation capable de transporter plus de 200 personnes dont les VBZ ont acquis trois exemplaires en 2018 pour les lignes 31 et 32. Ce véhicule est équipé d'une batterie plus puissante (70 kWh). Photo: VBZ

bus concerné mais également pour le réseau d'alimentation de la société de transport: la batterie peut être contrôlée de telle sorte qu'elle ne doit pas être chargée en cas de forte sollicitation du réseau. «Lorsqu'une société de transport atteint ses limites en termes d'alimentation électrique, cette régularisation des pointes de puissance est très utile et permet de réaliser des économies financières », affirme Tabbert, expert VBZ.

Ventes nationales et internationales

La société Carrosserie Hess AG a conçu le Swiss Trolley plus en premier lieu pour le marché suisse mais voit également de bonnes possibilités d'exportation dans les villes des états voisins en Suisse et en Hollande qui utilisent des trolleybus ou qui envisagent leur introduction. Durant le premier semestre 2018, le bus promet sa capacité à circuler sur des lignes partiellement exemptes de caténaires dans différentes villes suisses. Zurich, Berne et Bienne ont déjà commandé des trolleybus équipés d'au moins quelques composants de la nouvelle technologie. Saint-Gall et d'autres villes ont exprimé leur intérêt à mettre en place l'exploitation partiellement exempte de ligne de contact aérienne à leur tour.

- Vous trouverez plus d'**informations** concernant le projet phare de l'OFEN sur <https://www.aramis.admin.ch/Texte/?ProjectID=36721>
- Le docteur Men Wirz ([men.wirz\[at\]bfe.admin.ch](mailto:men.wirz[at]bfe.admin.ch)), section

Cleantech de l'OFEN, communique des **informations** concernant ce projet.

- Vous trouverez d'autres **articles spécialisés** concernant les projets phares et de recherche, les projets pilotes et les démonstrations dans le domaine de la mobilité sur www.bfe.admin.ch/CT/transport.

PROJETS PILOTES, DE DEMONSTRATION ET LES PROJETS PHARES

Le Swiss Trolley plus compte parmi les projets phares avec lesquels l'Office fédéral de l'énergie (OFEN) soutient l'application économique et rationnelle de l'énergie et encourage l'utilisation des énergies renouvelables. L'OFEN soutient des projets pilotes, de démonstration et des projets phares avec 40% des dépenses imputables. Des requêtes peuvent être déposées à tout moment.

- **Informations:**
www.bfe.admin.ch/pilotdemonstration
www.bfe.admin.ch/leuchtturmprogramm