Zeitschrift: bulletin.ch / Electrosuisse
Herausgeber: Electrosuisse
Band: 102 (2011)
Heft: 2

Artikel: Le concept BoostBus
Autor: Bugnon, Fabrice
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-856782

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 13.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Le concept BoostBus

Des supercapacités pour des bus électriques urbains efficaces

Le bus hybride série est le mieux adapté à une utilisation en milieu urbain. Mais alors que ce dernier est équipé d'un accumulateur d'énergie électrique uniquement pour récupérer l'énergie de freinage et la réutiliser pendant l'accélération, le BoostBus, un bus 100 % électrique et sans ligne de contact, peut quant à lui embarquer suffisamment d'énergie électrique pour couvrir toutes les phases de roulage. Grâce à l'utilisation de supercapacités, ce nouveau type de bus peut être rechargé en quelques secondes par biberonnage.

Fabrice Bugnon

Le bus hybride série est un bus doté d'un moteur électrique ainsi que d'un moteur à combustion qui, étant utilisé uniquement pour le fonctionnement du générateur électrique, n'a pas de liaison mécanique avec les roues. Muni d'un accumulateur d'énergie électrique lui permettant de couvrir tous les pics de puissance et de récupérer l'énergie de freinage qu'il pourra ensuite réutiliser lors d'accélérations, ce type de bus est particulièrement approprié pour une utilisation en milieu urbain. Un tel bus peut rouler en mode électrique sur une distance d'environ 400 m s'il est équipé de supercapacités, et jusqu'à 2 km si des batteries sont utilisées, ces valeurs dépendant bien entendu aussi du degré d'électrification des fonctions auxiliaires du véhicule. Ces 2 km ne peuvent cependant être atteints que dans un mode dégradé (accélération limitée, usure intensive des batteries, etc.) et ne sont valables que sur route plate.

Du bus hybride au BoostBus

En augmentant le nombre de supercapacités sur le véhicule et en les rechargeant par biberonnage aux arrêts, c'est-à-dire en transférant de l'énergie de la station de recharge vers le bus, il est alors possible de rouler sur une distance de 1,5 à 2 km en mode purement électrique. Or, en Europe, la distance moyenne entre 2 arrêts est de 400 m.

La recharge des supercapacités peut se faire en 10 à 20 s et peut être répétée plusieurs centaines de milliers de fois sur une période de 10 ans, durée de vie standard des supercapacités Maxwell. En rechargeant régulièrement le bus, à chaque arrêt ou tous les 2 arrêts selon le profil du parcours, le bus sera donc toujours prêt à rouler en mode électrique : le BoostBus est né !

Un exemple : le bus de 24 m hybride du constructeur HESS **(figure 1)** qui peut rouler jusqu'à 500 m grâce à l'énergie stockée dans ses supercapacités. Il suffit d'ajouter une recharge rapide à chaque arrêt et le BoostBus existe. A citer également la solution proposée par Vossloh Kiepe, qui consiste en l'ajout de supercapacités sur une base trolleybus et qui permet également une autonomie de 400 m [2].

Un concept en plein essor

Certaines compagnies se sont déjà lancées dans ce créneau. En Chine, de nombreux bus à biberonnage ont été utilisés lors de l'Exposition universelle de 2010 à Shanghai. Le concept, développé par Sunwin Bus, a été repris par la compagnie américaine Sinautec Automobile Technologies, qui a présenté dernièrement « le premier véhicule électrique américain à supercapacités » [3]. En France, le projet WATT **(figure 2)**, développé par la compagnie PVI et supporté par le Grenelle de l'environnement, va équiper une première ligne publique d'ici l'été 2011. De grandes compagnies comme Veolia soutiennent ce projet.

Principe

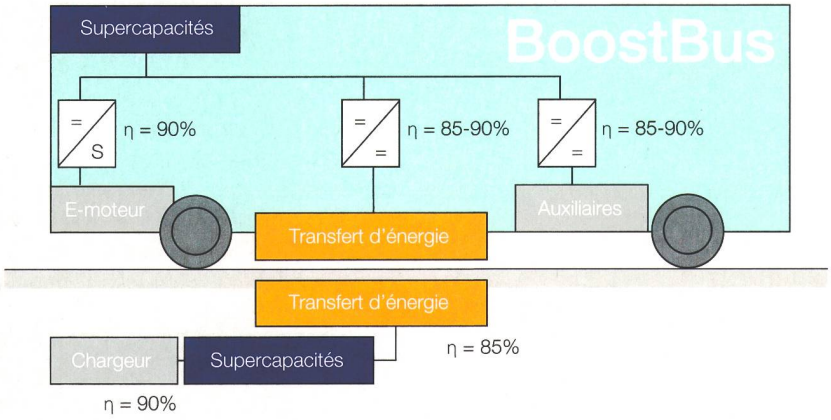
La très faible résistance interne des supercapacités permet une grande efficacité lors des transferts d'énergie fréquents caractéristiques du concept BoostBus. Les éléments-clés du système sont représentés dans la **figure 3** [5].

HESS [1]

Figure 1 Le bus hybride lighTram3 de HESS.

PVI [4]

Figure 2 Couplage par bras articulé, tel qu'il est prévu dans le projet WATT.



Maxwell

Figure 3 Eléments-clés du concept BoostBus et leur rendement η.

Consommation d'énergie

Les besoins énergétiques présentés dans le **tableau 1** sont estimés sur la base de différentes sources d'information [6–8] et représentent uniquement la fonction de roulage du bus. Les auxiliaires, tels qu'air conditionné ou chauffage, ne sont pas pris en compte dans cette première approche. Par contre, les rendements du transfert d'énergie entre la sous-station et les supercapacités sur le bus sont estimés. Au final, la quantité d'énergie à emmagasiner dans les supercapacités, présentée dans le **tableau 1**, rejoint les valeurs données dans la littérature [9, 10].

Ces résultats montrent une grande corrélation entre les valeurs de consommation énergétique par passager et par kilomètre pour le BoostBus, et celles d'un tramway (env. 23 Wh/km/passager) ou d'un trolleybus (env. 25 Wh/km/passager). Ceci est dû à la grande efficacité des supercapacités lors des phases de récupération d'énergie et d'accélération, ainsi qu'à l'absence de pertes dans les lignes de contacts aériennes.

Accumulateur d'énergie électrique

Pour un véhicule de 18 m et une autonomie de 1,5 km, les supercapacités devront être capables de stocker 3,3 kWh. En terme de produits Maxwell, en prenant un bus DC à 750 V, cela correspond :

- soit à 30 modules de type BMOD0063 P125 (63 F et 125 V par unité, poids total de 1800 kg, branchement 6s5p),
- soit à 75 BMOD165 P048 (165 F et 48 V par unité, 1050 kg, 15s5p),
- soit à 1390 BCAP3000 (3000 F et 2,7 V par unité, 700 kg, 278s5p).

Les éléments de fixation et d'assemblage des supercapacités ne sont pas pris en compte dans les poids cités.

En ce qui concerne le nombre de cycles de charge-décharge, les contraintes sur les supercapacités du BoostBus et d'un bus hybride traditionnel sont similaires. Par contre, grâce au couplage de plusieurs branches de supercapacités en parallèle, le courant va se répartir de manière équivalente entre les branches et la valeur efficace du courant perçu par les supercapacités sera réduite d'un facteur équivalent au nombre de branches. En résulte un échauffement réduit et un refroidissement actif rendu superflu. Pour cette raison, la solution basée sur les modules BMOD0063 P125 utilisée aujourd'hui dans de nombreux types de bus hybrides, qui nécessite un refroidissement actif pour pouvoir travailler avec une valeur efficace de courant de 150 A, n'est plus indispensable et le poids de l'accumulateur peut être diminué.

Simulation

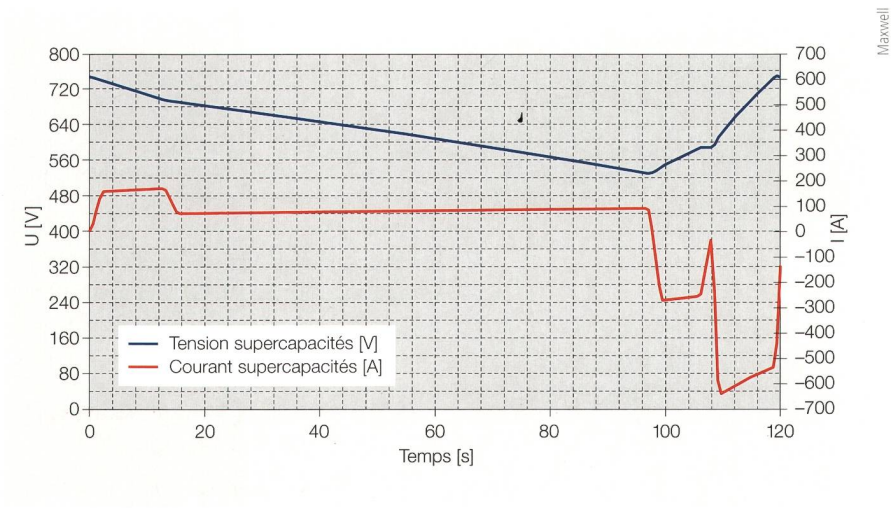
La simulation **(figure 4)** du cycle charge-décharge permet d'estimer les flux de courant circulant dans les supercapacités, et ainsi l'échauffement subit. Dans cet exemple, le BoostBus est équipé de 4 branches en parallèle de 16 BMOD0165 P048 en série. Le cycle choisi représente une puissance d'accélération de 120 kW pendant 13 s, une puissance de roulage de 50 kW pendant 83 s, une puissance de décélération de 150 kW pendant 8 s et finalement une recharge rapide sous 400 kW pendant 12 s. Sous ces conditions, l'échauffement des supercapacités est de 5 °C, sans refroidissement actif.

Stations de recharge

En partant de la source, la présence de supercapacités peut être déjà constatée dans la station de recharge. Celles-ci ne sont pas indispensables, mais permettent de réduire totalement les appels de puissance sur la ligne d'alimentation de la

Données des véhicules				Rendement		Consommation par passager		
Dimension du BoostBus	Charge maximale	Capacité en passagers	Consommation	De l'alimentation de la station de recharge aux supercapacités embarquées	Des supercapacités embarquées aux roues	Energie transmise aux roues	Energie à stocker dans les supercapacités embarquées	Energie totale consommée depuis l'alimentation de la station de recharge
[m]	[kg]		[kWh/km]	%		[Wh/km]		
8,9	14500	60	1,25	65	81	20,8	25,7	39,6
12	18000	95	1,45	65	81	15,3	18,8	29
18	28000	150	1,8	65	81	12	14,8	22,8

Tableau 1 Estimation des besoins énergétiques de BoostBus de différentes dimensions.



Maxwell

Figure 4 Simulation du cycle de charge-décharge du BoostBus : capacité nominale de 41,3 F – 4 branches en parallèle de 16 modules de 165 F en série (total de 64 modules).

station. En effet, les puissances impliquées lors d'un transfert d'énergie sont de l'ordre de 400 kW.

Un chargeur de faible puissance (quelques kW) charge les supercapacités de la station pendant les quelques minutes durant lesquelles le véhicule est absent. Une ligne d'alimentation tout à fait standard peut être utilisée. Lorsque le bus est en place, le transfert d'énergie se fait alors des supercapacités de la station de recharge vers les supercapacités installées sur le bus et le réseau ne subit aucune pointe d'appel de puissance.

Une station de ce type **(figure 5)** a été développée par la compagnie M&P [12] et son fonctionnement prouvé à l'Institut Fraunhofer de Dresde en 2004 pour le projet AutoTram [11]. Dans cet exemple, la recharge des supercapacités stockées dans la station de recharge prend 4–5 min avec un chargeur de 33 kW. Le transfert de 2,4 kWh vers le véhicule se fait à une puissance de 325 kW et prend 27 s. Aujourd'hui, un système équivalent, avec des composants améliorés, aura un volume réduit. C'est également une condition sine qua non pour l'intégration du BoostBus dans nos villes : la station de recharge doit se faire la plus discrète possible.

Couplage

La particularité du BoostBus est la nécessité de transférer régulièrement beaucoup d'énergie en très peu de temps. La station de recharge ne pose pas de problèmes techniques, mais le couplage entre la station de recharge et le véhicule revêt une importance particulière. Plusieurs approches sont à l'étude. La solution finale dépend de nombreux paramètres tels que l'infrastructure urbaine existante, l'efficacité recherchée, le coût, l'environnement, etc.

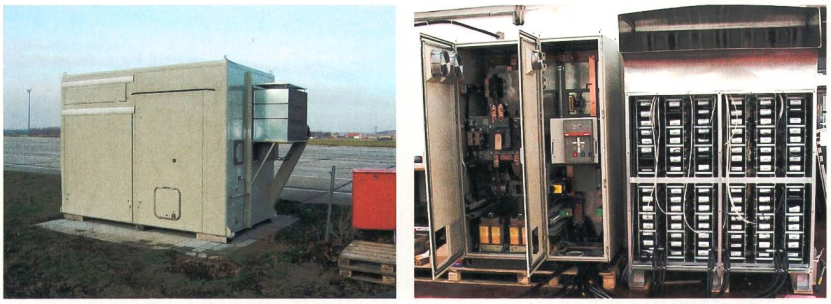
Parmi les solutions les plus discutées se trouvent l'induction [13–15], le pantographe **(figure 6)** [16, 17] et le bras articulé **(figures 2 et 6)** [4, 16] Chaque solution a ses particularités. Le **tableau 2** présente une liste non exhaustive des aspects à considérer lors de la comparaison de ces différents systèmes.

Source d'énergie d'appoint

Dans l'exemple présenté plus haut, l'accumulateur d'énergie a été dimensionné de manière à ce que le véhicule puisse parcourir 1,5 km. Il est en effet important que le BoostBus ne soit pas immobilisé en cas de problème dans une station de recharge (rupture d'alimentation), si la station de recharge n'est pas accessible (travaux, véhicule accidenté), ou si l'arrêt du bus n'est pas nécessaire (aucun passager à débarquer ou embarquer).

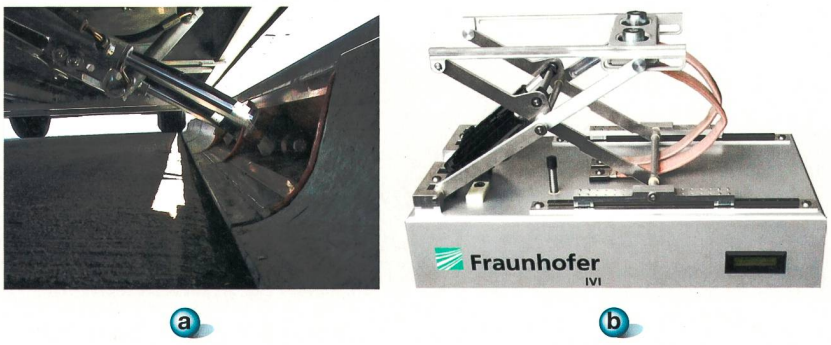
Il peut cependant arriver que les supercapacités soient quasiment vides et qu'aucune station ne soit à la portée du bus. Dans ce cas, deux approches sont possibles. La première consiste à considérer un générateur de secours, comme cela se fait pour les trolleybus. Ainsi, les supercapacités peuvent être rechargées pour effectuer à nouveau 1,5 km, et le BoostBus se mue alors en bus hybride série. Cette approche a comme inconvénient majeur que le BoostBus transporte du poids supplémentaire et ne peut plus être considéré comme un véhicule 100 % électrique.

La seconde approche est d'équiper le véhicule d'une batterie électrique standard (par exemple de type Li-ion) en complément des supercapacités. Pour optimiser le système, la batterie peut être



Fraunhofer Institute [11]

Figure 5 Exemple de station de recharge rapide.



Fraunhofer Institute [11,16]

Figure 6 Couplage par bras articulé (a) et pantographe (b).

	Technologie	Robustesse	Impact visuel	Coût	Sécurité
Induction	––	++	++	––	+/–
Pantographe	++	++	––	+	+
Bras articulé	–	–	+	–	–

Tableau 2 Comparaison de différentes techniques de couplage.

dimensionnée afin de couvrir les besoins énergétiques des auxiliaires tels que la climatisation par exemple, ceux-ci nécessitant beaucoup d'énergie, mais à une puissance relativement faible. En cas de nécessité, de l'énergie peut être alors extraite de la batterie afin de recharger à faible puissance les supercapacités et de rouler en mode hybride batterie/supercapacités. Le bus gagne de ce fait une autonomie en mode dégradé et conserve son intégrité électrique. Afin d'augmenter la durée de vie de la batterie, il est alors tout à fait envisageable de recharger celle-ci à nouveau à faible puissance via la station de recharge lorsque le bus est arrêté pendant quelques minutes (fin de ligne ou dépôt).

Conclusion

Les supercapacités sont un élément indispensable au développement du BoostBus et leur technologie est aujourd'hui connue et sous contrôle. Trouver le bon équilibre technique et économique entre le nombre de stations de recharge et la dimension des supercapacités et de la batterie à bord du véhicule reste une opération délicate qu'il faut résoudre au cas par cas. Le BoostBus intéresse de nombreuses villes désirant rouler en mode électrique, mais réticentes à l'installation de lignes aériennes. Il a sa place dans nos villes. Faisons-lui bon accueil !

Références

[1] http://www.hess-ag.ch/fr/index.php.
[2] http://www.vossloh-kiepe.com/electric-buses/hybrid-buses.
[3] http://www.sinautecus.com.
[4] D. Corgier : Biberonnage pour systèmes de transport à traction électrique. CEA, 2005.
[5] P. Barrade, M. Jufer : Maquette de train alimenté par biberonnage : un outil d'enseignement et de recherche pluridisciplinaire. Colloque sur l'Enseignement des Technologies et des Sciences de l'Information et des Systèmes, Toulouse, France, 13–14 novembre, 2003, http://leiwww.epfl.ch/publications/barrade_rufer_cetsis_03.pdf.
P. Barrade, M. Jufer : Power Smoothing and High Power Fast Energy Exchange Between Storage Systems. International Conference on Quality and Security of Electrical Supply, Surrey, UK, 26–27 February, 2001, http://leiwww.epfl.ch/publications/barrade_rufer_evs18_01.pdf.
[6] A. Djerdir, K. Elkadri et A. Miraoui : Alimentation par biberonnage solaire photovoltaïque d'une chaîne de motorisation électrique. Revue des Energies Renouvelables, Vol. 9, n° 2, pp. 63–74, 2006, http://www.cder.dz/vlib/revue/pdf/v009_n2_texte_1.pdf.
[7] S. Wallner : « Change it » – Das intelligente Batteriewechselsystem : Neue Horizonte im Stadtverkehr. Trolleymotion – Conférence internationale 2010, Lucerne, Suisse, 30 novembre – 1 décembre, 2010.
[8] http://www.adtc-grenoble.org/spip.php?article91.
[9] S. Boucher : Transport urbain électrique alimenté par dispositif de biberonnage. Rapport technique, Centre National du Transport Avancé, Québec, Canada, 2010, http://www.stl.laval.qc.ca/wp-content/uploads/2010/11/Rapport-technique-CNTA.pdf.
[10] A. Markert, M. Klingner : Energy Storage Technologies in Intermediate Transportation Systems. Fraunhofer Institute for Transportation and Infrastructure Systems IVI, présentation donnée lors du BoostCap day 2004, Fribourg, Suisse, 2004.
[11] http://powerelectronics.de.
[12] http://www.wampfler.com/index.asp?id=10&plid=12&e1=2&lang=E.
[13] http://www.bombardier.com/fr/transport/durabilite/technologie/systeme-primove-pour-fonctionnement-sans-catenaire.
[14] V. V. Haerri, D. Martinovic : Supercapacitor Module SAM for Hybrid Busses : an Advanced Energy Storage Specification based on Experiences with the TOHYCO-Rider Bus Project. HTA Luzern, 2006. http://www.hslu.ch/pav11847_58.pdf.
[15] U. Potthoff : AutoTram : E-Mobility Demonstrator for Public Transportation. Workshop « Supercapacitors, Materials, Processes and Applications », Fraunhofer IWS Dresden, Dresden, Germany, April 6, 2010.
[16] http://www.lekov.cz/index.php/.

Informations sur l'auteur

Fabrice Bugnon est ingénieur en microtechnique de l'EPFL. Il a obtenu son diplôme en 2001, puis a été actif dans le développement de commande de moteurs pas-à-pas chez Saia-Burgess AG. Engagé en 2006 chez Maxwell Technologies en temps qu'ingénieur d'application, il occupe depuis 2007 la fonction de Key Account Manager pour le domaine des bus/trolleybus hybrides en Europe.
Maxwell Technologies, 1728 Rossens
fbugnon@maxwell.com

Zusammenfassung **Das Konzept BoostBus**

Superkapazitäten für effiziente Elektro-Stadtbusse

Der serienmässige Hybridbus ist am besten für den Stadtbetrieb geeignet. Er ist mit einem elektrischen Energiespeicher ausgerüstet, der einzig der Aufnahme von Bremsenergie dient, die dann während der Beschleunigung wiederverwendet wird. Im Gegensatz dazu ist der BoostBus ein zu 100 % elektrisch angetriebener Bus ohne Kontaktleitung. Die Energie, die er mitführt, reicht für alle Fahrphasen aus. Dank seiner Superkapazitäten kann dieser neue Bustyp an den Haltestellen binnen weniger Sekunden durch Schnellladung wieder aufgeladen werden.

Dieser Artikel stellt unter anderem die Ergebnisse von Studien zum Energieverbrauch, zur Frage der Superkapazitäten und ihrer Merkmale sowie zu verschiedenen Koppelverfahren und zum Funktionsprinzip der Aufladestationen vor. CHe

Anzeige