

Etude d'un autobus électrique à volan d'inertie

Autor(en): **Béchet, Louis / Rexer, Jürgen**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin technique de la Suisse romande**

Band (Jahr): **103 (1977)**

Heft 15/16

PDF erstellt am: **19.04.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-73253>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Renaissance du gyrobus (autobus électrique à volant d'inertie)

Les véhicules électriques comportent d'importants avantages lorsqu'il s'agit d'assurer des transports collectifs urbains. Ils requièrent toutefois une infrastructure considérable, qu'il s'agisse des rails du tramway ou des conducteurs aériens d'alimentation des trolleybus. Pour diminuer ces inconvénients tout en conservant l'avantage de l'électricité, l'industrie suisse a proposé il y a quelques années le gyrobus : l'énergie électrique est prélevée à des stations fixes et convertie en énergie cinétique stockée dans un volant d'inertie à bord du véhicule, puis prélevée à la demande tout au long d'un parcours limité. Un tel service de gyrobus a

fonctionné pendant des années à Yverdon. La quantité d'énergie emmagasinée dans le volant est limitée par les caractéristiques mécaniques du matériau utilisé pour le volant et par les dimensions du véhicule considéré. L'évolution de la technologie permet d'envisager aujourd'hui un véhicule présentant de meilleures caractéristiques d'exploitation et offrant une alternative aussi bien au trolleybus qu'à l'autobus à moteur à combustion interne. Il nous a donc paru intéressant de faire le point sur ce type original de véhicule urbain.

Réd.

Avant-propos

Le Centre de recherche Battelle, à Genève, nous a demandé, il y a quelque temps, de participer à des essais concernant de nouveaux volants d'inertie, accumulateurs d'énergie sur un bateau. Ces expériences devaient permettre d'étayer les possibilités futures d'utilisation pour des véhicules routiers. Les moyens de l'Office étant très limités pour de tels projets, il n'a pas été possible de prendre ce programme d'essais en considération. Cependant, nous avons pensé qu'il était judicieux de charger Battelle d'une étude-pilote destinée à montrer si les nouveaux volants à très grande vitesse de rotation — tels qu'ils existent dans l'état actuel de la technique — pourraient, en principe, être utilisés avec succès pour des gyrobus. En effet, les essais antérieurs, par exemple ceux effectués à Yverdon dans les années 1950 et basés sur une technique ancienne, n'ont pas donné satisfaction.

Les résultats de cette étude mettent en évidence de grands progrès sur le plan de la mise en œuvre technique

des volants d'inertie et Battelle considère avec optimisme les possibilités d'application de cette nouvelle technologie. Par contre, sur le plan économique, nous estimons que sa mise en application à court terme aux autobus n'est pas favorable. Nous nous fondons, à ce sujet, sur un plan d'utilisation typique pour un bus de ligne.

Notre appréciation ne doit naturellement pas être considérée comme définitive ; le développement de la technique, de nouveaux faits et des considérations différentes relatives à l'exploitation pourraient la modifier. Nous croyons donc qu'il vaut la peine de porter à la connaissance des intéressés les résultats de l'étude de Battelle et notre appréciation sur le plan de l'économie d'exploitation dans l'état actuel de la technique.

H. R. ISLIKER, ingénieur diplômé EPF
sous-directeur de l'Office fédéral
des transports
3003 Berne

Étude d'un autobus électrique à volant d'inertie

par LOUIS BÉCHET et JÜRGEN REXER, Genève

1. Introduction

L'autobus constitue actuellement un moyen de transport public important dans les grandes villes et un mode de transport essentiel dans les agglomérations de taille moyenne. Le souci de l'économie pétrolière et de l'amélioration de la qualité de la vie urbaine incite à rechercher des solutions qui soient différentes du diesel en raison de ses aspects bruyant et polluant, et différentes du trolleybus en raison de la rigidité de son implantation dans le trafic et de l'inesthétique de son alimentation électrique. Un véhicule électrique autonome serait une solution intéressante.

La réalisation d'un véhicule autonome à propulsion électrique combinée avec un stockage mécanique de l'énergie par volant d'inertie est déjà ancienne. Cependant, les développements prometteurs présents et futurs concernant les matériaux nouveaux, l'électrotechnique et l'électronique justifient la reconsidération des performances et des caractéristiques d'un tel véhicule.

2. Cahier des charges

Le cahier des charges d'un véhicule électrique autonome à volant d'inertie peut être établi par analogie avec un véhicule conventionnel. Ce véhicule d'un poids total en charge de 17 tonnes peut transporter 90 passagers sur une ligne de 10 km aux extrémités de laquelle est effectué le

stockage de l'énergie nécessaire pour le parcours. Cette autonomie supprime le besoin de recharger l'accumulateur d'énergie à l'intérieur de la zone urbaine et permet ainsi d'effectuer le trajet dans les mêmes conditions qu'avec un véhicule conventionnel. L'énergie nécessaire pour effectuer ce parcours dépend de nombreux paramètres tels que la vitesse maximale (60 km/h.), l'accélération maximale ($1,2 \text{ m/s}^2$), la puissance des installations auxiliaires (20 kW), le nombre des stations et les conditions de trafic. On peut donner une représentation assez fidèle des conditions de circulation en milieu urbain en prenant comme base de calcul deux trajets élémentaires de 1 km représentant deux situations caractéristiques du trafic.

Chaque trajet dessert quatre stations, y compris les stations d'extrémités. Dans le trajet en parcours dit « normal », deux arrêts hors stations sont causés par la circulation et dans le trajet en parcours dit « encombré », le trafic impose une succession d'arrêts et de démarrages sans aucun palier de vitesse. Dans ces conditions, l'énergie nécessaire pour parcourir le kilomètre « normal » est de 4,17 kWh et pour le kilomètre « encombré » de 5,10 kWh. Ainsi, l'énergie nécessaire pour effectuer le trajet de 10 km comprenant 8 km de trajet normal et 2 km de trajet encombré, est de 43,6 kWh. Cela correspond à un volant dimensionné pour une énergie de 70 kWh en raison du facteur de profondeur de décharge et du rendement du stockage.

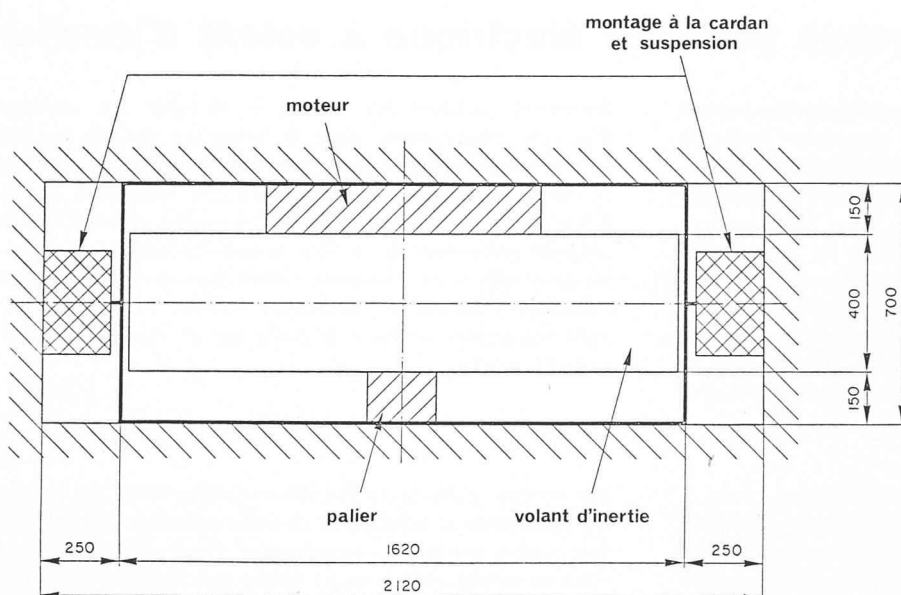


Fig. 1. — Implantation du volant d'inertie dans le volume disponible.

3. Système de stockage de l'énergie

Les critères de qualité d'un système de stockage de l'énergie sont :

- l'aptitude à stocker l'énergie pendant une durée suffisante avec un minimum de pertes ;
- la souplesse d'utilisation caractérisée par la profondeur de charge et de décharge, exploitable indépendamment de la variation de vitesse de rotation du volant, et la flexibilité caractérisée par la facilité d'inversion du sens d'écoulement de l'énergie ;
- les performances en poids et rendement.

Les principaux composants du système de stockage par volant d'inertie sont le volant proprement dit, l'interface électromagnétique qui assure l'échange d'énergie entre le réseau d'alimentation, le volant et l'utilisateur, et le système de sustentation et de guidage du volant dans sa rotation. L'évolution des technologies permet d'envisager pour ces différents composants des solutions intéressantes.

C'est le volant lui-même qui est à l'origine du regain d'intérêt pour ce mode de stockage en raison de l'apparition de nouveaux matériaux composites aux performances mécaniques élevées. Ces matériaux composites sont constitués de matrices plastiques renforcées par des fibres de verre, ou d'autres fibres à hautes performances mécaniques. La capacité de stockage du volant qui confère au véhicule une autonomie de 10 km est de 70 kWh. A titre de comparaison entre les différents matériaux disponibles, le tableau 1 donne les éléments du dimensionnement de ce volant de 70 kWh pour différentes exécutions en acier massif et en matériaux composites. Ces valeurs tiennent compte des limites de résistance en fatigue de ces matériaux qui correspondent environ à leur tension mécanique en service.

Pour des raisons de poids et d'encombrement, l'exécution en composite Kevlar/plastique est la plus intéressante. Dans ce cas, l'implantation du volant dans le véhicule se présente comme cela est indiqué sur la figure 1. Pour éviter des pertes par frottement aérodynamique prohibitives, le volant est contenu dans un caisson à vide.

L'interface qui assure l'échange de puissance est essentiellement composé de deux éléments : une machine électrique associée au volant et un convertisseur qui effectue à chaque instant l'adaptation de tension et de fréquence entre la machine électrique du volant et les réseaux d'alimentation et d'utilisation. La structure de la machine

TABLEAU 1
Dimensions et performances d'un volant d'inertie d'une capacité de stockage de 70 kWh

Matériaux	Poids (kg)	Diamètre (cm)	Hauteur (cm)	Vitesse de rotation (min ⁻¹)
Acier 4340	2260	160	22	8 020
Acier Maraging	1270	160	12	10 670
Verre E/plastique	1390	160	43	10 120
Verre S/plastique	920	160	30	12 500
Kevlar/plastique	660	160	31	14 750

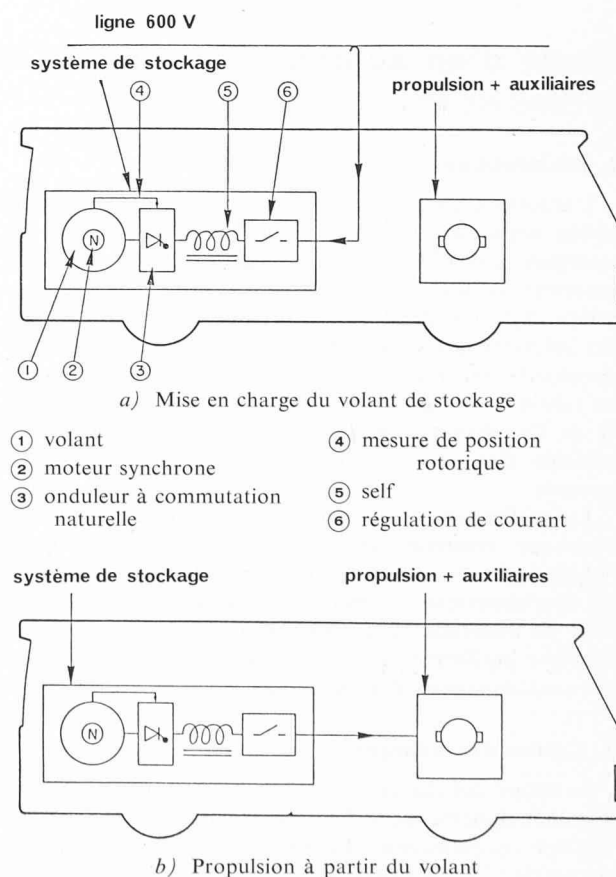


Fig. 2. — Disposition générale du système de stockage.

électrique doit être telle qu'elle soit compatible avec le vide qui règne autour du volant et la recherche du minimum de frottements. La structure qui répond le mieux à ces conditions est celle d'une machine synchrone dont le stator est solidaire du boîtier et dont l'excitation est réalisée, par exemple, au moyen d'aimants permanents fixés à la surface même du volant. La transmission d'énergie s'effectue ainsi grâce à un couplage magnétique remplaçant une liaison mécanique par arbre, simplifiant ainsi les problèmes d'étanchéité et de frottement. Cette machine électrique fonctionne en moteur synchrone autopiloté lors de la charge du volant et en alternateur lors de la décharge. Le convertisseur qui lui est associé comprend un onduleur fonctionnant en commutation naturelle grâce à l'énergie réactive du moteur. L'organisation générale du dispositif de charge et de décharge de volant est schématiquement représentée sur la figure 2. Sur le plan des performances, le rendement du dispositif complet comprenant le système de stockage et le système de propulsion du véhicule se présente comme suit :

Rendement à la charge	0,86
Rendement à la décharge	0,79
Rendement global charge-décharge	0,67

Les paliers d'un volant d'inertie tournant à haute vitesse sont soumis à des exigences et à des contraintes très sévères. Ils doivent présenter des performances excellentes en ce qui concerne les pertes par frottement, la fiabilité, la facilité de maintenance, la durée de vie. Les conditions dans lesquelles ils fonctionnent sont très dures : vitesses de rotation élevées, vide, effets gyroscopiques. La solution offerte par la technique des paliers magnétiques est la seule qui réponde d'une manière satisfaisante à toutes ces conditions.

La technique des paliers magnétiques est déjà utilisée dans un certain nombre d'applications caractérisées par

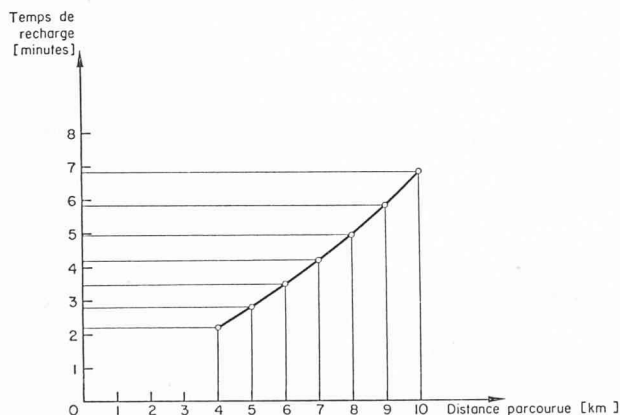


Fig. 3. — Temps de recharge en fonction de la distance parcourue.

des problèmes de très haute vitesse de rotation et de grande précision. Les applications les plus fréquentes et les plus récentes concernent les systèmes de stabilisation et de contrôle d'attitude pour les satellites. Les masses mises en jeu sont de plusieurs dizaines de kilos, les vitesses de rotation de $30\,000\text{ min}^{-1}$ et plus, et les durées de vie de l'ordre de dix ans. L'évolution de cette technique la rendra inévitablement utilisable dans le cas des volants d'inertie plus lourds réservés au stockage d'énergie.

4. Confrontation du véhicule électrique autonome avec les conditions d'exploitation

Le comportement du véhicule électrique autonome considéré sur le trajet à parcourir est très intéressant puisqu'il présente, d'une part la flexibilité d'itinéraire du véhicule à moteur thermique et, d'autre part, l'absence de bruit et de pollution de l'air du trolleybus. Ce qui caractérise ce comportement, c'est avant tout le besoin d'un temps de recharge du volant à chaque extrémité de la ligne. Le diagramme de la figure 3 donne le temps de recharge nécessaire en fonction de la longueur de la ligne qui vient d'être parcourue. Les temps calculés sont d'une manière générale légèrement plus longs que les temps d'arrêts normalement prévus en bout de ligne.

5. Conclusion

Cette étude d'un véhicule électrique autonome à volant d'inertie fait apparaître qu'il serait possible d'envisager dans un futur proche la réalisation d'un véhicule présentant des caractéristiques nettement améliorées sur les plans du rayon d'autonomie, du rendement, du poids et du temps de recharge. A titre de comparaison, le même véhicule pourrait être réalisé au moyen de batteries pour un volume semblable à celui du volant, mais pour un poids de l'ordre de deux à trois fois plus grand et une puissance de propulsion inférieure. La différence réside essentiellement dans le fait que le stockage par batteries existe déjà alors que le stockage par volant d'inertie nécessite encore des développements dans les domaines de la fabrication des volants de grandes dimensions et de la technique des paliers magnétiques.

Adresse des auteurs :

Louis Béchet
Département de physique et électronique
Jürgen Rexer
Département de métallurgie
et matériaux inorganiques
Battelle, Centre de recherches de Genève
Route de Drize 7, 1227 Carouge

Appréciation actuelle de l'Office fédéral des transports

par BEAT STENDER, Berne

1. Introduction

Le bus diesel et le trolleybus sont connus comme véhicules à grande capacité assurant le transport des voyageurs sur route. En règle générale, l'utilisation de bus diesel constitue aujourd'hui la solution la plus économique. L'emploi de trolleybus peut se justifier dans certains cas, particulièrement là où d'importantes prestations de transport sont demandées et où, indépendamment des coûts, il faut choisir le véhicule produisant le moins de bruit et

pas de gaz d'échappement. C'est justement pour cette raison que le trolleybus est assez fortement développé en Suisse.

Outre ses frais d'acquisition élevés, le trolleybus a un autre désavantage : il dépend d'une ligne de contact. En ce qui concerne le bus diesel, il n'est pas du tout sûr qu'à la fin de ce siècle, son carburant sera encore vendu à des prix permettant une exploitation économique.