

**Zeitschrift:** Bulletin technique de la Suisse romande  
**Band:** 103 (1977)  
**Heft:** 15/16

**Artikel:** Appréciation actuelle de l'Office fédéral de transports  
**Autor:** Stender, Beat  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-73254>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **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. [Voir Informations légales.](#)

### **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. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 02.02.2025

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

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

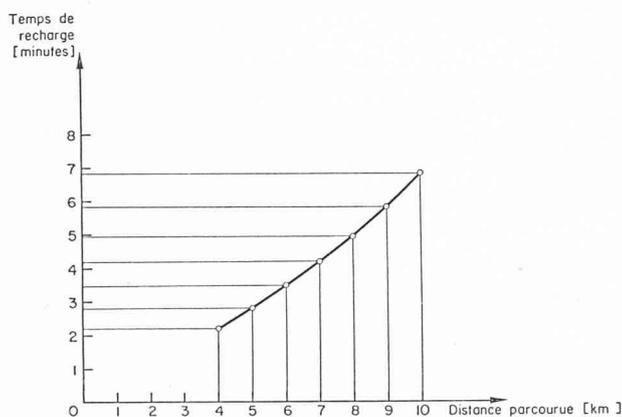


Fig. 3. — Temps de recharge en fonction de la distance parcourue.

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.

Il faut donc toujours envisager des solutions de remplacement et, dans le domaine des véhicules à propulsion électrique, considérer l'alternative qui existe déjà : véhicules avec ou sans ligne de contact.

Vu sous cet angle, le stockage d'énergie dans un véhicule à volant d'inertie revêt à nouveau un certain intérêt. Il convient de savoir si le niveau le plus récent de la technique est satisfaisant et si l'on pourrait, surtout sur le plan de l'exploitation, trouver dans un proche avenir une solution acceptable du point de vue économique.

C'est sous cet aspect que l'OFT a examiné l'étude-pilote de Battelle et a mis en évidence les problèmes de coûts d'exploitation qui semblent actuellement en défaveur de cette solution.

## 2. Hypothèses

A titre d'exemple, on a formulé les hypothèses suivantes :

Longueur du parcours (conformément à la moyenne suisse)	10 km
Nombre de bus en circulation (conditions urbaines)	11
Bus de réserve	1
Durée totale du parcours (compte tenu des arrêts et des obstacles du trafic)	40 min

## 3. Résultats et problèmes concernant l'exploitation

Le rapport Battelle indique, pour cet exemple, un temps de recharge d'environ 7 minutes aux terminus et un temps de 12 minutes pour une charge complète.

Les 7 minutes du temps de charge représentent toutefois presque 20 % de la durée totale du parcours (40 minutes). Cela signifie que *les gyrobus ne pourraient être utilisés pour les courses proprement dites que pendant 80 %, au maximum, de la durée globale de l'exploitation*. Le temps d'exploitation restant devrait obligatoirement être réservé à la recharge. Des temps de charge plus courts seraient bien concevables du point de vue technique, mais ne peuvent pas être pris en considération — surtout pour des raisons économiques — à cause des trop grandes pointes de courant dans le réseau. Afin de maintenir à un bas niveau les frais d'investissement, la charge s'effectuerait exclusivement aux terminus; en outre, les durées des arrêts seraient relativement faibles. Il y aurait donc lieu de réserver dans les horaires le temps pour effectuer la charge aux terminus. Les délais d'attente existant déjà théoriquement aux terminus sont des « durées-tampons » de l'horaire et doivent servir à rattraper les retards se produisant durant les heures de pointe du trafic. Ces délais ne peuvent donc pas être utilisés pour effectuer une charge car ils sont très souvent réduits à zéro.

En cas d'emploi des gyrobus, il faudrait acheter 20 % de plus de bus que pour la situation normale si l'on veut obtenir la même capacité de transport.

Dans les simples comparaisons de coûts suivantes, on a admis qu'un gyrobus occasionnerait les mêmes frais fixes et les mêmes frais variables qu'un trolleybus articulé actuel. Cette hypothèse fournit pour le gyrobus une estimation très optimiste des frais. Si l'on voulait tenir compte de la très grande complexité technique de ces véhicules, il faudrait certainement prévoir des frais fixes et des frais variables plus élevés.

Dans notre exemple, le parc des véhicules comprend au total 12 bus. En cas d'emploi des gyrobus, il faudrait en acheter 20 % de plus, soit, en chiffre rond, deux unités supplémentaires.

Il est possible de concevoir *deux variantes d'exploitation* différentes pour les terminus :

a) Le conducteur de bus reste dans le véhicule à recharger et attend que la charge soit complètement effectuée (durée d'environ 7 minutes). Pendant ce temps, il surveille le véhicule garé.

Si les deux bus supplémentaires nécessaires à l'exploitation doivent circuler entre 6 h. et 23 h., il faudrait engager pour cette variante environ quatre chauffeurs supplémentaires.

b) Le conducteur de bus gare son véhicule pour la charge et monte dans un véhicule qui, entre-temps, a déjà été rechargé (procédé d'échange). Pour cette solution, le fait de laisser des bus sans surveillance comporte un certain risque, car il encourage généralement les actes de vandalisme. La plupart des entreprises de bus préféreraient la variante a) pour des conditions urbaines. Pour le changement de bus, il faudrait accorder un peu de temps (2 minutes au maximum) à chaque chauffeur, ce qui aurait pour conséquence qu'il faudrait, selon les circonstances, engager encore un chauffeur.

## 4. Comparaisons des coûts

Nos comparaisons de coûts sont fondées sur les frais fixes et les frais variables suivants (indications des transports en commun de Zurich) :

Frais fixes pour les amortissements, les assurances et la part des frais généraux, par année et par bus	Fr. 39 000.—
Frais variables pour l'entretien, les matières de consommation, en moyenne par année et par bus	Fr. 42 500.—
Frais du service des bus, y compris les frais accessoires	Fr. 33.— par heure

Frais de la ligne de contact (pour la comparaison avec le service des trolleybus) : par kilomètre de ligne, deux voies, quatre fils, y compris les aiguilles et les croisements, etc. :

Amortissements	Fr. 17 500.—
Entretien	Fr. 25 000.—
Total	Fr. 42 500.—

Pour un parcours de 10 km, comme dans notre exemple

Fr. 425 000.—

*Frais supplémentaires en cas d'exploitation par gyrobus selon la variante a) :*

Frais fixes pour deux bus supplémentaires	Fr. 78 000.—
Frais variables pour deux bus supplémentaires	Fr. 85 000.—
Circulation de deux bus de 6 h. à 23 h.	Fr. 405 530.—
Total	Fr. 568 530.—

L'exploitation par gyrobus coûterait donc, par an, Fr. 143 530.— de plus que l'exploitation par trolleybus.

*Diminution des frais en cas d'exploitation par gyrobus selon la variante b) :*

Frais fixes pour deux bus supplémentaires	Fr. 78 000.—
Frais variables pour deux bus supplémentaires	Fr. 85 000.—
Frais pour service supplémentaire (deux minutes par changement de véhicule)	Fr. 67 200.—
Total	Fr. 230 200.—

L'exploitation par gyrobus coûterait donc, par an, Fr. 195 000.— de moins que l'exploitation par trolleybus.

## 5. Appréciation des comparaisons de coûts et des conditions d'exploitation

Le fait que la variante b) soit un peu plus favorable que l'exploitation par trolleybus ne doit pas être surestimé, car

1. L'hypothèse d'après laquelle les gyrobus, dont la construction est compliquée, coûteront autant que les trolleybus articulés actuels ne devrait guère se réaliser. Pour le moment, il est absolument impossible d'établir une estimation réaliste des coûts.

2. L'entretien et les réparations des gyrobus exigeront du personnel hautement qualifié, si bien qu'il faut s'attendre à ce que les dépenses des ateliers augmentent.

Une exploitation par gyrobus ne reviendrait guère meilleur marché que l'exploitation actuelle par trolleybus. En outre, le temps nécessité par la charge représente un important inconvénient sur le plan de l'exploitation. Les bus ne peuvent pas être utilisés comme on le désire.

On ne passera donc à l'exploitation par gyrobus que lorsque les frais du bus diesel seront devenus trop élevés. Il faudra de plus examiner de cas en cas si l'exploitation par trolleybus ne revient pas encore meilleur marché.

La quote-part du trafic public dans la détérioration de l'environnement est extrêmement faible.

En 1975, selon communication de l'Office fédéral de l'économie énergétique, la Suisse a importé au total 11 877 000 tonnes de combustibles et carburants liquides ; les transports publics ont consommé 38 658 tonnes sous forme de carburant, soit 0,325 % du total.

On en déduit que, dans la pollution de l'air, la part imputable au transport public par autobus est quasi négligeable. Même si l'on remplaçait la moitié des autobus en service par des gyro- ou des trolleybus, l'amélioration ne serait presque pas appréciable dans les conditions actuelles.

En outre, il ne faut pas oublier que les autobus diesel modernes sont caractérisés par une notable diminution des émanations nocives et un bruit réduit.

L'autobus diesel représente aujourd'hui le moyen de transport public au coût le plus réduit.

S'il s'agit de protéger l'environnement, on aura intérêt à maintenir les tarifs aussi bas que possible pour attirer la clientèle vers les transports publics, donc de ne pas remplacer l'autobus diesel par un véhicule plus coûteux qui tendrait à renvoyer la clientèle vers l'automobile privée, entraînant ainsi une pollution accrue.

## 6. Problèmes techniques à résoudre

Nous mentionnons ci-après quelques-uns des nombreux problèmes techniques à résoudre :

- *Fabrication du volant* : les matériaux les mieux appropriés sont, pour le moment, vendus à des prix inabordable. Si l'on veut utiliser des matériaux meilleur marché, il est nécessaire d'entreprendre de nouveaux travaux de recherche.
- *Installation du volant* : étant donné la grande vitesse de rotation, seuls entrent en considération les paliers magnétiques. Ils coûtent très cher et ne sont pas encore construits pour des volants lourds de grandes dimensions. L'installation du palier du volant dans la caisse du véhicule doit, en raison des effets gyroscopiques, se faire selon un système élastique à double cardan, ce qui prend de la place et du poids et qui, en conséquence, peut occasionner des frais.
- Le rendement du stockage de l'énergie sera de 67 %. Ce n'est pas un très bon rendement par rapport aux accumulateurs d'énergie par des moyens chimiques.

Vu les problèmes précités, on peut dire qu'il est judicieux de poursuivre les travaux sur le stockage de l'énergie par des volants. Cependant, cela doit se faire tout d'abord sur des installations stationnaires ; de cette manière, on obtiendra à ce sujet de nombreux renseignements. Différents problèmes sont éliminés dans le cas des installations stationnaires ; les paliers du volant peuvent, par exemple,

être fixés directement sur une fondation en béton, les dimensions et le poids de toute l'installation ne jouent qu'un rôle secondaire, etc. C'est seulement lorsque des développements d'un prix favorable existeront que l'application pratique des volants pour les moyens de transports publics sera supportable du point de vue économique.

Des éléments de décision utilisables devraient être disponibles dans quelques années.

L'étude Battelle a montré de manière intéressante qu'il est possible, en principe, de trouver des solutions au problème du gyrobus. D'autre part, il s'est avéré que, même avec tous les moyens actuels que la technique met à notre disposition, il n'est pas possible d'utiliser les gyrobus d'une manière intéressante sur le plan économique. Parmi les moyens de transport routier ménageant l'environnement, le trolleybus est, pour le moment, le seul qui soit réalisable.

Si le prix des carburants diesel continue à croître dans une forte proportion, le gyrobus pourrait, à moyen terme, être considéré comme une proposition intéressante et digne d'être examinée pour les agglomérations ayant une demande de transport faible ou moyenne.

## BIBLIOGRAPHIE

- KRANEBITTER, F. : *Energie gestern, heute, morgen*. Elektrotechnik und Masch.-Bau 91 (1974), p. 446.
- MANZONI, S. : Bulletin SEV/VSE 67 (1976), *Passé, présent et perspectives d'avenir du trolleybus*.
- KALLER, R., VOLLENWYDER, K., MANZONI, S. : *Trolleybus unifiés équipés de hacheur électronique*. Revue Brown Boveri 61 (1974), p. 531-539.
- MARTEN, F. : *Ausbau öffentlicher Nahverkehrsmittel als Zukunftsaufgabe*. Siemens Zeitschrift 50 (1976), Heft 7.

Adresse de l'auteur :

Beat Stender, ing. dipl. EPF  
Office fédéral des transports  
3003 Berne

*On nous permettra de ne pas partager la nette réticence de l'Office des transports à réaliser un gyrobus adapté à l'état actuel des connaissances technologiques. En effet, les matériaux et les techniques avancées auxquels fait appel l'étude de Battelle sont également l'objet des préoccupations d'autres branches, notamment dans le domaine de l'armement. On peut donc attendre non seulement des progrès dans leurs applications, mais une baisse des coûts de leur mise en œuvre ; les frais de développement en seront supportés par d'autres industries que celle des transports.*

*En tant que spécialiste de l'aéronautique, nous nous promettons peu de chose d'une expérimentation stationnaire, non sujette aux contraintes de poids et de dimensions du véhicule projeté. En aviation, ce sont précisément des exigences apparemment démesurées qui ont conduit aux progrès les plus évidents. Un avion développé selon le schéma proposé par M. Stender n'aurait aucune chance de jamais quitter le sol !*

*Pour le gyrobus, il est donc souhaitable que les futurs travaux soient entrepris en vue du développement d'un véhicule capable de vérifier tous les paramètres entrant en jeu.*

Réd.

## A nos lecteurs

La préparation, en période de vacances, d'un important numéro spécial à paraître le 18 août prochain nous contraint de grouper dans la présente publication les numéros 15 et 16.

Le prochain *Bulletin technique de la Suisse romande* ne vous parviendra donc que dans quatre semaines.

Nous espérons pouvoir compter sur la compréhension de nos fidèles abonnés.

Rédaction