

## Autobus hybrides

### Aperçu

Les sociétés de transport en commun cherchent de plus en plus à rendre leurs parcs d'autobus plus propres et efficaces en adoptant de nouvelles technologies de propulsion propre. La technologie hybride qui associe la propulsion électrique à la propulsion mécanique présente des avantages sur le plan de l'environnement et de l'efficacité et est passée du stade de la démonstration à celui de la mise en œuvre. Le présent document analyse les avantages et les inconvénients de l'exploitation d'autobus hybrides en fonction des données optimales dont on dispose actuellement. Il examine les types de véhicules hybrides, leurs performances et leurs coûts d'exploitation.



### Ressources choisies

1. Analysis of Electric Drive Technologies for Transit Applications, Battery-electric, Hybrid-electric and Fuel Cells, Northeast Advanced Vehicle Consortium, Boston, MA, août 2005 : [http://www.navc.org/Electric\\_Drive\\_Bus\\_Analysis.pdf](http://www.navc.org/Electric_Drive_Bus_Analysis.pdf)
2. New York City Transit Hybrid and CNG Transit Buses: Final Evaluation Results, Barnitt, R. and Chandler, K., National Renewable Energy Laboratory, rapport n° TP-540-40125, novembre 2006 : <http://www.nrel.gov/docs/fy07osti/40125.pdf>

## Contexte

Les autobus hybrides utilisent l'énergie électrique produite par des batteries et l'énergie mécanique produite par des moteurs à combustion interne (à carburant diesel ou à essence) pour assurer leur propulsion. Alors qu'il y a à peine 10 ans, les autobus hybrides étaient des véhicules de démonstration, l'expérience acquise grâce à des centaines d'autobus en circulation et à des millions de milles parcourus dans tous les types de conditions d'exploitation signifie que les autobus hybrides approchent de la viabilité pour les sociétés de transport en commun de toutes les dimensions. Ce ne sont pas les raisons qui manquent pour acheter des autobus hybrides, notamment le prix de l'essence, la réduction des émissions souhaitées et réglementées et les incitatifs financiers du gouvernement fédéral.

À l'heure actuelle, la technologie hybride offre les meilleures chances à la propulsion électrique de faire de sérieuses incursions dans les sociétés de transport en commun en Amérique du Nord. Elle évite les problèmes de rayon d'action et de puissance des autobus uniquement alimentés par des batteries et elle nécessite des adaptations seulement minimales aux infrastructures de transport en commun et aux procédures d'exploitation et d'entretien.

L'expérience acquise depuis 10 ans révèle que les autobus hybrides sont devenus un choix rentable sur le plan commercial pour les sociétés de transport en commun. Toutefois, aucun n'a encore été exploité pendant la durée de vie utile de 15 à 20 ans dont se servent les sociétés de transport en commun pour faire leur planification. Cela veut dire qu'il n'y a pas encore de données sur la vie utile des autobus hybrides, de sorte que les questions sur la durabilité, la fiabilité à long terme des systèmes et des sous-systèmes et les coûts sur toute une vie n'ont reçu que des réponses partielles.

## Rappel des faits

Les autobus hybrides-électriques ont atteint le stade de la rentabilité commerciale. Ce ne sont plus des véhicules essentiellement de démonstration, même si les systèmes hybrides continueront d'évoluer et d'être modifiés. On dénombre environ 1 250 autobus hybrides en service régulier dans plus de 40 sociétés de transport en commun en Amérique du Nord et beaucoup plus encore sont en commande<sup>1</sup>. La majorité des autobus hybrides livrés et en commande sont des autobus de 40 pieds, mais on compte également déployer des autobus-navettes de 22 pieds et des autobus articulés de 60 pieds. La plupart sont des autobus hybrides-diesel, mais il y a également des hybrides à essence, en particulier en Californie, où ils servent à respecter la Public Transit Fleet Rule du CARB qui régit les lignes d'autobus.

À New York, près de 13 % du parc de 6 200 autobus est constitué d'autobus hybrides et, à Toronto, sur un parc de 1 700 autobus, 33 % sont des hybrides<sup>1</sup>. Bien d'autres municipalités canadiennes ont des parcs plus restreints d'autobus hybrides.

## Types d'autobus hybrides

Les autobus hybrides associent une génératrice et un moteur électrique, un contrôleur et des blocs-batteries à un moteur à combustion interne, qui est généralement un moteur diesel, et plus rarement un moteur à essence. Le système hybride permet au moteur à combustion interne de fonctionner avec plus d'efficacité, en répartissant les besoins en énergie et en

---

<sup>1</sup> Programmes de transport terrestre, projets de transport en commun, Transports Canada.

puissance qu'exige la conduite du véhicule entre les batteries et le moteur. Les batteries peuvent fournir au moteur de traction la puissance supplémentaire dont il a besoin pour accélérer, ce qui permet au moteur de fonctionner selon un mode plus « régulier », augmentant du même coup l'efficacité du moteur à combustion interne.

Le moteur électrique et l'accumulation d'énergie permettent également de récupérer l'énergie par freinage électrodynamique par récupération. Ce freinage électrodynamique par récupération permet au système de propulsion d'appliquer une charge de freinage sur l'essieu durant le freinage, convertissant ainsi l'énergie cinétique du véhicule en énergie électrique. Le véhicule accumule cette énergie dans les batteries pour l'utiliser au besoin afin de fournir un effort de traction.

L'efficacité générale d'un système hybride-électrique dépend du choix des éléments du système, de la façon d'intégrer ces divers systèmes et de la stratégie de commande électronique. Il existe deux grandes stratégies de configuration pour les systèmes des véhicules hybrides-électriques :

Un *système hybride à configuration en parallèle* utilise à la fois un moteur à combustion interne et un moteur électrique pour la propulsion. Aussi bien le moteur à combustion que le moteur électrique sont raccordés directement et indépendamment à la transmission. L'une ou l'autre source d'alimentation – ou les deux ensemble – peut servir à propulser les roues du véhicule. En plus de compléter la force motrice du moteur, le moteur électrique tient lieu également de génératrice qui recharge le bloc-batterie pendant que le véhicule roule. Une unité de commande électronique mélange l'énergie provenant des deux sources. Les véhicules hybrides à configuration en parallèle sont souvent conçus de telle manière que le moteur à combustion fournit la majeure partie de l'énergie aux vitesses élevées et constantes prolongées telles qu'elles sont déterminées par les commandes informatiques; le moteur électrique fournit pour sa part la majeure partie de l'énergie établie par les commandes informatiques à basses vitesses; et les deux sources d'alimentation fonctionnent en parallèle durant les accélérations.

Un *système hybride à configuration en série* utilise un moteur à combustion interne pour alimenter une génératrice électrique, qui peut alors alimenter le moteur électrique qui propulse les roues, ou charger le bloc-batterie. Le moteur est entièrement découplé mécaniquement des roues motrices. Toute l'énergie produite par le moteur est convertie en énergie électrique par la génératrice, qui alimente un ou plusieurs moteurs de traction électriques en plus de recharger le dispositif d'accumulation d'énergie qui assure une alimentation supplémentaire. Le moteur électrique, à lui seul, assure le couple qui fait tourner les roues du véhicule. Étant donné que le moteur à combustion interne n'est pas directement relié aux roues, il peut fonctionner dans une plage optimum.

Par rapport à un système en parallèle, un système en série réclame un plus gros moteur électrique et un plus gros bloc-batterie, mais un plus petit moteur à combustion interne. Un véhicule hybride à configuration en série n'a pas besoin d'une transmission car le moteur électrique est capable d'un large éventail de vitesses. Le système fonctionne fort bien pour un service comportant des arrêts et des démarrages fréquents, car le système à propulsion électrique a un couple élevé à basses vitesses, ce qui procure des accélérations rapides et en douceur, quelle que soit la pente.

## Avantages et inconvénients des autobus hybrides

Les autobus hybrides présentent les avantages suivants par rapport aux autobus diesel classiques :

- consommation de carburant réduite de 10 % à 40 %;
- niveau de bruit réduit grâce à un moteur à combustion interne plus petit ou à une vitesse de rotation plus basse;
- prolongation de la vie des freins grâce au freinage électrodynamique par récupération;
- baisse possible de l'entretien (changements d'huile moins fréquents, moindre usure du moteur);
- meilleure accélération au démarrage;
- bon accueil de la part des passagers en raison du roulage en douceur et du respect de l'environnement;
- diminution des émissions.

Il y a plusieurs inconvénients aux autobus hybrides :

- le prix d'achat d'un autobus hybride est supérieur de 50 % à 70 % à celui d'un autobus diesel comparable, selon les options commandées et la taille de la commande. Reste à savoir dans quelle mesure l'écart de prix sera comblé au fur et à mesure que les autobus hybrides se généralisent;
- la durée de vie de la batterie constitue un coût important et un facteur opérationnel appréciable. On utilise généralement trois types de batteries dans les autobus hybrides qui offrent des coûts, des avantages et des inconvénients différents;
- certaines modifications des procédures d'entretien sont nécessaires. Par exemple, il se peut qu'il faille tenir en stock d'autres pièces et qu'il faille se doter de nouveaux équipements pour l'entretien courant des blocs-batteries montés sur le toit.

## Expérience canadienne

Des autobus hybrides sont en service dans plusieurs villes canadiennes, dont Toronto, Victoria, Edmonton, Hamilton et Vancouver, et d'autres villes ont exploité des autobus hybrides à titre expérimental ou en ont commandés. Vancouver (Translink), Gatineau (Société de transport de l'Outaouais [STO]) et Montréal (Société de transport de Montréal [STM]) ont fait l'essai d'autobus hybrides dans le cadre du *Programme de démonstration en transport urbain* de Transports Canada.

Au début de 2008, la STM (Montréal) a pris livraison de six nouveaux autobus standards à moteur diesel et de huit autobus hybrides afin de les exploiter sur les mêmes lignes et dans les mêmes conditions pour permettre de comparer directement les coûts d'exploitation et d'entretien. Des appareils ont été installés dans les autobus pour mesurer des variables comme la vitesse, le nombre d'arrêts, l'utilisation de la climatisation et le fonctionnement du moteur hybride.

Après l'acquisition des autobus hybrides, deux séries d'essais contrôlés ont eu lieu. La première série s'est déroulée au Centre de technologie environnementale d'Environnement Canada afin de comparer la consommation de carburant et les émissions de gaz à effet de serre de la technologie de propulsion des autobus hybrides à celle des moteurs diesel classiques dans des conditions de laboratoire. Les essais ont eu lieu par +20 et par -20 °C (et avec et sans climatisation pour les autobus de la STO). Pour la configuration moteur/transmission des

autobus de la STM (modèle 2007 de 280 HP), la consommation d'essence des autobus hybrides a diminué de 36 % (en utilisant le Cycle d'essai de Manhattan).

Outre les essais en laboratoire, une deuxième série d'essais s'est déroulée au Centre des essais de Blainville (Québec). On s'est servi d'appareils pour fournir aux autobus hybrides et aux autobus standards les mêmes régimes d'arrêt/démarrage et d'accélération. On a simulé le coefficient d'occupation à l'aide de sacs de sable. Les autobus ont été testés à des vitesses variant de 0 à 50 km/h. Les essais sur piste ont révélé que, pour une vitesse moyenne de 10 km/h et de 10 arrêts au kilomètre, les autobus hybrides consomment 28 % de carburant en moins que les autobus diesel standards. Plus les vitesses maximales sont élevées, moindres sont les avantages des autobus hybrides par rapport aux autobus standards, ce qui les rend particulièrement bien adaptés aux lignes où les vitesses maximales sont basses et les arrêts fréquents.

En date de décembre 2008, les résultats des essais sur route ont révélé des économies de 30 % dans la consommation de carburant des autobus hybrides de la STM. Les essais en laboratoire ont démontré une baisse de 36 % et les essais sur piste à Blainville, une baisse de 28 %. La variabilité de ces conclusions est une indication de la sensibilité de la consommation de carburant au relief, à la vitesse, à la fréquence des arrêts et aux habitudes du conducteur. Au cours des prochains mois, les autobus hybrides feront à nouveau l'objet d'essais sur route dans des conditions hivernales et l'on continuera de suivre les coûts d'entretien des autobus hybrides neufs et des autobus standards à moteur diesel.

On a beaucoup parlé de l'expérience de la Toronto Transit Commission (TTC) qui exploite environ 500 autobus hybrides en raison d'économies de carburant inférieures à ce que l'on attendait, d'environ 10 %, et du remplacement prématuré des batteries d'accumulateur au plomb au bout de 18 mois. Les résultats de Toronto s'expliquent peut-être par le fait que les autobus hybrides ont été mis en service sur des lignes comptant un moins grand nombre d'arrêts et de démarrages, soit des conditions d'exploitation qui ne sont pas idéales pour des autobus hybrides. Les batteries d'accumulateurs au plomb n'ont pas duré les deux à trois ans escomptés.

## **Technologie de transmission**

Il existe actuellement trois grandes entreprises qui fabriquent des systèmes de propulsion hybrides sur le marché des autobus de transport en commun de grande taille : Allison Transmission, British Aerospace Engineering (BAE) Systems et ISE Corporation.

**BAE Systems :** BAE Systems utilise un système hybride à configuration en série et ses autobus sont équipés de batteries d'accumulateurs au plomb et de moteurs diesel. À ce jour, BAE a établi un partenariat essentiellement avec Orion Bus Industries. BAE a pris part à la production de plusieurs générations d'autobus hybrides, en commençant par le parc expérimental de 10 autobus mis en service à New York en 1998.

**Allison :** Allison produit des systèmes hybrides à configuration en parallèle et ses autobus sont aujourd'hui équipés de piles au nickel-hydrure métallique et de moteurs diesel.

**ISE Corporation :** ISE Corporation intègre les systèmes de transmission hybrides et à pile à combustible, ainsi que les systèmes de moteur à combustion interne (à l'hydrogène, au carburant diesel et à l'essence). La transmission hybride d'ISE est une configuration en série. Les autobus d'ISE intègrent toute une diversité d'options d'accumulation d'énergie.

## **Types de batteries**

Une des décisions cruciales que doivent prendre les acquéreurs d'autobus hybrides a trait au type de piles à sélectionner. Il existe actuellement trois types de piles : les batteries d'*accumulateurs au plomb* étaient utilisées exclusivement dans les autobus hybrides de la première génération. Les piles au *nickel-hydrure métallique* coûtent plus cher à l'achat que les batteries d'accumulateurs au plomb, mais elles sont plus petites et plus légères et ont une durée de recharge plus courte. Les *piles au lithium-ion* sont vendues dans le commerce depuis 2007 et constituent la génération suivante de piles pour les autobus hybrides. Leur durée de vie est d'environ six ans, leur chargement est rapide et, grâce à leur légèreté, elles permettent de réduire encore plus la consommation de carburant par rapport aux batteries d'accumulateurs au plomb et aux piles au nickel-hydrure métallique.

Même si le prix d'achat des piles au lithium-ion est nettement plus élevé que celui des deux autres types, l'analyse coûts-avantages réalisée par un constructeur d'autobus affirme qu'elles sont les plus rentables pendant la durée de vie de 15 à 20 ans d'un autobus. L'analyse prévoit des abattements au titre de la durée de recharge et de la durée hors d'usage pour les remplacements plus fréquents des piles.

Un paramètre important est le cycle d'utilisation annuel d'un autobus. Par exemple, le délai prévu jusqu'au remplacement des batteries d'accumulateurs au plomb est de deux à trois ans en fonction d'un cycle d'utilisation de 30 000 milles par an. Plus le kilométrage est élevé, plus cela impose de charges et de décharges aux accumulateurs. Si le kilométrage est relativement élevé, la durée de vie des piles est inférieure.

Il est possible de passer de batteries d'accumulateurs au plomb à d'autres types qui ont une durée de vie plus longue. Toutefois, outre le prix d'achat, il est nécessaire d'effectuer des changements de programmation pour assurer le fonctionnement optimal du moteur électrique.

Environ 80 autobus hybrides aujourd'hui en service utilisent des supercondensateurs à la place de blocs-batteries. Les supercondensateurs accumulent l'énergie de manière électrostatique en polarisant une solution électrolytique.

## **Rendement**

### **Consommation de carburant**

Les autobus hybrides autorisent des économies de carburant de 10 % à 40 % qui dépendent d'un certain nombre de facteurs, parmi lesquels :

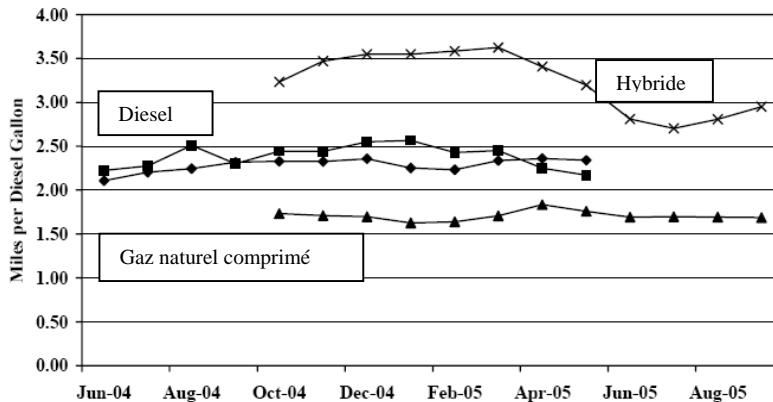
- la configuration du système hybride;
- le cycle d'utilisation (en particulier la vitesse moyenne et la fréquence des arrêts et démarrages);
- le système hybride est-il optimisé de manière à réaliser le maximum d'économies de carburant (par opposition à des émissions inférieures ou à certaines caractéristiques de rendement);

- la charge imposée au système hybride par les accessoires;
- le niveau de compétence du conducteur.

Les autobus hybrides de Montréal sont exploités à partir d'un même garage. Étant donné que n'importe quel conducteur peut être appelé à conduire un autobus hybride, les 600 conducteurs de ce garage ont suivi 3 heures de formation théorique et pratique. En outre, 24 préposés à l'entretien et techniciens ont suivi 40 heures de formation. Étant donné que les autobus hybrides ne réagissent pas de la même façon que les autobus diesel sur le plan des accélérations et des décélérations, la formation des conducteurs a été jugée essentielle à l'obtention des économies de carburant maximum de la technologie hybride.

Les résultats d'études sur la consommation de carburant à New York sont illustrés à la figure 1. Les autobus hybrides permettent systématiquement des économies de carburant se situant entre 10 % et 40 %. L'ampleur des économies de carburant semble dépendre essentiellement du fait que les autobus sont affectés aux lignes où ils donnent les meilleurs résultats – c'est-à-dire les lignes à basse vitesse et à grand nombre d'arrêts.

Miles per Diesel Gallons = Milles par gallon de carburant diesel



Jun... = Juin 2004 – Août 2004 – Oct. 2004 – Déc. 2004 – Févr. 2005 – Avril 2005 – Juin 2005 – Août 2005  
 Source : New York City Transit Hybrid and CNG Transit Buses: Final Evaluation Results<sup>2</sup>.

Figure 1 – Milles au gallon (US) des autobus de New York

## Émissions

Les essais réalisés sur les autobus de New York en 2004 (tableau 1) montrent que les autobus hybrides émettent des concentrations de particules comparables à celles des autobus diesel équipés de filtres à particules, et des concentrations de NO<sub>x</sub> nettement inférieures à celles des autobus diesel. Toutefois, l'avantage des autobus hybrides a diminué lorsque les normes sur les émissions de 2007 sont entrées en vigueur et il diminuera encore plus avec les normes de 2010.

Tableau 1 – Émissions des autobus de transport en commun de New York en grammes par mille

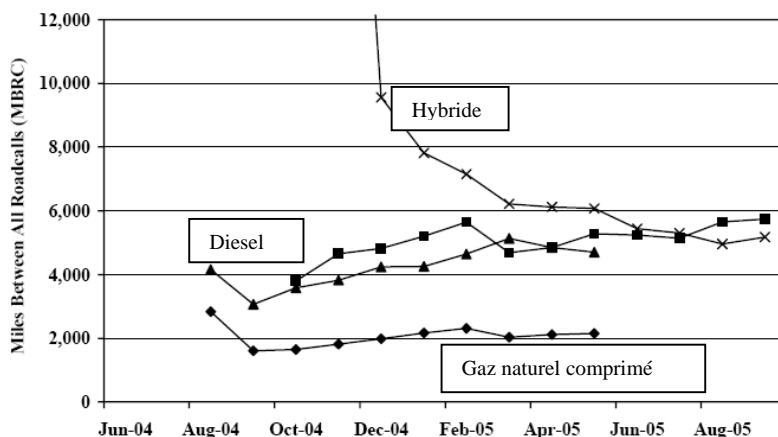
Émissions (grammes par mille)	Monoxyde de carbone (CO)	Oxydes d'azote (NO <sub>x</sub> )	PM/10	Total des hydrocarbures (HC)
Diesel (avec un filtre à particules diesel)	0,12	2,79	0,2	0,02
Hybride	0,03	0,94	0,2	0,2

Source : Analysis of Electric Drive Technologies for Transit Applications, Battery-electric, Hybrid-electric and Fuel Cells<sup>1</sup>.

### Fiabilité

La *distance moyenne entre pannes* des autobus hybrides s'est améliorée à tel point qu'elle est aujourd'hui comparable à celle des autobus diesel<sup>1</sup> (figure 2). Après huit mois d'exploitation des autobus hybrides à Montréal, aucun problème d'entretien anormal n'a été signalé au sujet du système de propulsion hybride.

Miles between... = Milles entre tous les dépannages routiers (MBRC)



Jun... = Juin 2004 – Août 2004 – Oct. 2004 – Déc. 2004 – Févr. 2005 – Avril 2005 – Juin 2005 – Août 2005

Source : New York City Transit Hybrid and CNG Transit Buses: Final Evaluation Results<sup>2</sup>.

Figure 2 – Nombre moyen de milles entre les rappels des autobus de New York

### Satisfaction des clients et des conducteurs

Selon les sondages menés à Vancouver, New York et Seattle, les clients se déclarent satisfaits du niveau de confort et des bienfaits pour l'environnement des autobus hybrides. Un système de propulsion hybride permet des accélérations en douceur sans changement de vitesses, caractéristique qui plaît autant aux conducteurs qu'aux passagers. La propulsion hybride permet également des accélérations vives grâce au couple accru à bas régime des moteurs électriques. La plupart des gestionnaires de parcs d'autobus hybrides se disent satisfaits du rendement de ces autobus et de la réaction des conducteurs comme des passagers.

Par exemple, la société des transports en commun de New York a mené des sondages auprès de ses conducteurs et passagers pour évaluer leur réaction face aux autobus hybrides, avec des résultats positifs. Près de 88 % des passagers interrogés préfèrent circuler à bord d'un autobus



hybride plutôt que d'un autobus diesel. Alors qu'à peine 60 % étaient conscients pour commencer qu'ils voyageaient à bord d'un autobus hybride, 70 % ont affirmé que les niveaux de bruit et de vibrations dans l'autobus hybride étaient nettement moindres par rapport à ceux d'un autobus diesel. Soixante et onze pour cent des conducteurs affirment qu'il est facile de s'habituer à la conduite des autobus hybrides, alors que 25 % affirment qu'ils n'ont éprouvé que quelques difficultés à s'habituer à leur conduite. Presque 93 % des conducteurs affirment que l'accélération d'un autobus hybride est supérieure à celle d'un autobus diesel, et 61 % jugent le freinage supérieur.

### **Entretien**

L'un des grands avantages des autobus hybrides est la durée prolongée des freins, car le système d'alimentation électrique et le freinage électrodynamique par récupération se soldent par une moindre usure des freins. Certaines sociétés de transport en commun qui exploitent des autobus hybrides affirment que les autobus hybrides ont une durée de vie des freins plus longue de 50 % à 100 % (voire plus). Les autobus hybrides exercent également sans doute moins de stress sur le moteur, car celui-ci fonctionne à un régime plus efficace. Il se peut que cela réduise les coûts de remotorisation ou de reconditionnement du moteur, même s'il s'agit uniquement d'une spéculation pour l'instant. Enfin, d'après les premières expériences de New York<sup>2</sup>, il se peut que les pièces du moteur électrique nécessitent moins d'entretien et durent plus longtemps que la transmission et les pièces qui s'y rattachent.

Alors que les sociétés de transport en commun doivent effectuer certains changements opérationnels pour intégrer des autobus hybrides dans leurs parcs, ces changements sont parfaitement gérables. Dans l'ensemble, les autobus hybrides ont prouvé qu'ils peuvent s'intégrer avec succès dans les services payants réguliers, avec certains problèmes qui sont tout à fait normaux de la part d'une nouvelle technologie.

### **Durabilité**

La durabilité à long terme des autobus hybrides demeure une question car aucune société de transport en commun n'en a encore exploités durant toute leur durée de vie. Même les résultats des premiers déploiements d'autobus hybrides, comme le parc mis en service à New York en 1998, n'ont pas encore permis d'établir des estimations de la durabilité car la technologie hybride et son intégration, de même que la conception des autobus, ont changé depuis cette première génération de parc expérimental. L'une des grandes préoccupations des sociétés de transport en commun a trait à la durabilité des blocs-batteries.

### **Coûts-avantages des autobus hybrides**

Tant que des données finales canadiennes sur les coûts-avantages ne seront pas disponibles dans le cadre du Programme de démonstration en transport urbain de Transports Canada à Gatineau et Montréal, une excellente source d'informations au sujet de la méthodologie qu'il faut suivre pour procéder à une analyse coûts-avantages des autobus hybrides se trouve dans *Additional Transit Bus Life Cycle Cost Scenarios Based on Current and Future Fuel Prices*<sup>5</sup>. Bien que cette étude repose sur des données américaines, elle permet de comprendre les coûts en puissance d'exploitation d'un autobus hybride au Canada. L'étude a porté sur un parc de 100 autobus et a analysé les coûts d'achat et les coûts prévus d'entretien ainsi que les coûts d'exploitation sur une durée de vie prévue de 12 ans – soit moins que la durée de 15 à 20 ans qu'utilisent en général les sociétés de transport en commun du Canada.

Au sujet des hypothèses formulées aux États-Unis, le prix d'achat plus élevé des autobus hybrides ne peut pas être récupéré en 12 ans, en dépit d'économies de carburant avérées. Toutefois, il paraît probable qu'avec une baisse du prix d'achat attribuable aux volumes, une technologie des piles qui ne cesse de s'améliorer et des périodes d'amortissement supérieures à 12 ans, les autobus hybrides s'avéreront rentables par rapport aux autobus diesel standards. On attend des données sur les coûts-avantages propres aux conditions qui règnent au Canada en mai 2009 lorsque les essais menés sur les autobus hybrides à Gatineau et à Montréal prendront fin.

## **Conclusions**

Les autobus hybrides ont dépassé le stade de démonstration pour entrer en service commercial au sein de sociétés de transport en commun dans des villes comme New York et Toronto qui en exploitent des centaines. Certains autobus sont exploités depuis plus de 10 ans, ce qui n'est pas assez long pour en établir la fiabilité sur la totalité de la durée de vie prévue de 15 à 20 ans qu'utilisent les sociétés de transport en commun du Canada. Par ailleurs, des véhicules hybrides plus récents ont été mis en service dont le rendement est différent des modèles plus anciens, ce qui retarde encore plus les conclusions définitives. Toutefois, plusieurs grandes analyses ont été menées à bien (voir bibliographie) et les sociétés de transport en commun peuvent les utiliser pour mieux se renseigner.

Les autobus hybrides présentent de nombreux avantages. Ils suscitent un niveau de satisfaction élevé parmi les clients et les conducteurs en raison de leurs accélérations en douceur et de leur silence. Ils permettent de réduire les émissions et les sociétés de transport en commun peuvent les déployer sans avoir à apporter d'importants ajustements à leurs infrastructures et à leurs procédures d'entretien.

Leurs inconvénients tiennent essentiellement à leur prix d'achat et au coût de remplacement des piles. Cela s'est révélé dans une analyse du cycle de vie réalisée aux États-Unis en 2008 qui prouve que les autobus hybrides coûtent plus cher à exploiter durant leur cycle de vie que les autobus diesel standards, compte tenu des coûts prévus du carburant et d'autres hypothèses. Les baisses du prix d'achat attribuables à la production en série, l'amélioration du rendement et des économies des piles ou une augmentation soutenue et abrupte des prix du carburant amélioreront sans doute le coût du cycle de vie des autobus hybrides et permettront de réduire encore plus les émissions.

Dans l'ensemble, les sociétés de transport en commun de Seattle et de New York qui exploitent d'importants parcs d'autobus hybrides depuis plusieurs années signalent des baisses de la consommation de carburant et des émissions qui en résultent de l'ordre de 30 %. Le principal souci d'ordre opérationnel est le coût de remplacement des piles. Même si aucun de ces autobus n'a encore été utilisé durant toute sa vie utile, on peut prévoir que le supplément de prix des autobus hybrides pourra être recouvert à même les économies de carburant si les autobus sont exploités sur des lignes qui leur conviennent (arrêts et démarrages fréquents) et qu'ils sont amortis sur une période de 15 à 20 ans.

## **Bibliographie**

### **Rapports**

1. Analysis of Electric Drive Technologies for Transit Applications, Battery-electric, Hybrid-electric and Fuel Cells, Northeast Advanced Vehicle Consortium, Boston, MA. Août 2005 : [http://www.navc.org/Electric\\_Drive\\_Bus\\_Analysis.pdf](http://www.navc.org/Electric_Drive_Bus_Analysis.pdf)
2. New York City Transit Hybrid and CNG Transit Buses: Final Evaluation Results, Barnitt, R. et Chandler, K., National Renewable Energy Laboratory, rapport n° TP-540-40125, novembre 2006 : <http://www.nrel.gov/docs/fy07osti/40125.pdf>
3. Transit Bus Life Cycle Cost and Year 2007 Emissions Estimation, U.S. Department of Transportation, Federal Transit Administration, FTA-WV-26-7004.2007.1, juillet 2007 : [http://www.fta.dot.gov/documents/WVU\\_FTA\\_LCC\\_Final\\_Report\\_07-23-2007.pdf](http://www.fta.dot.gov/documents/WVU_FTA_LCC_Final_Report_07-23-2007.pdf)
4. Update on Bus Technology and Alternative Fuels Demonstration Project, TransLink, Vancouver :  
[http://www.translink.bc.ca/files/board\\_files/meet\\_agenda\\_min/2007/12\\_12\\_07/4.8\\_Bus\\_Technology\\_and\\_Alternative\\_Fuels\\_Demonstration\\_Project\\_-\\_Phase\\_2\\_Results.pdf](http://www.translink.bc.ca/files/board_files/meet_agenda_min/2007/12_12_07/4.8_Bus_Technology_and_Alternative_Fuels_Demonstration_Project_-_Phase_2_Results.pdf)
5. Additional Transit Bus Life Cycle Cost Scenarios Based on Current and Future Fuel Prices, septembre 2008, ministère des Transports des États-Unis, Federal Transit Administration :  
[http://www.fta.dot.gov/documents/WVU\\_FTA\\_LCC\\_Second\\_Report\\_11-03-2008.pdf](http://www.fta.dot.gov/documents/WVU_FTA_LCC_Second_Report_11-03-2008.pdf)

### **Renseignements**

1. Hybrid Center : <http://www.hybridcenter.org/hybrid-transit-buses.html>
2. Autobus hybrides, Association canadienne du transport urbain :  
<http://www.cutaactu.ca/fr/accueil>