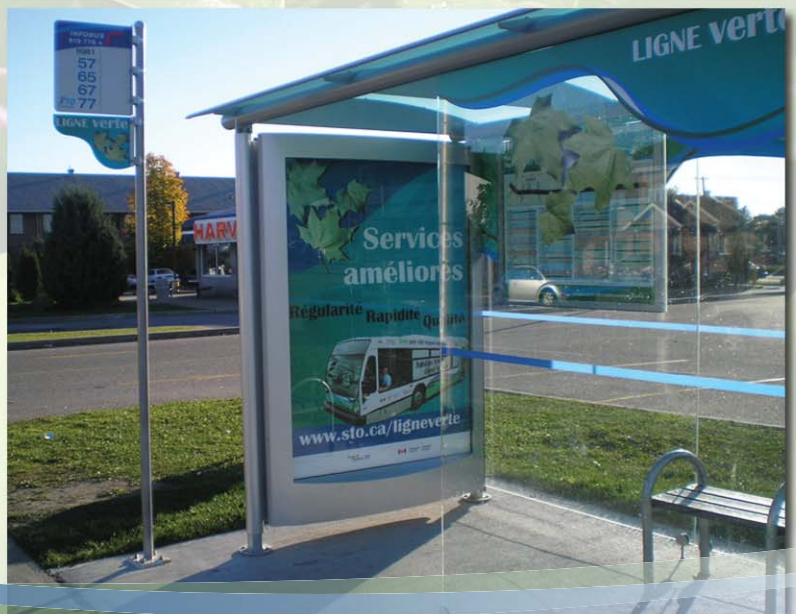


# Rapport annuel et de fin de projet

Présenté par :  
*La Société de transport de l'Outaouais  
en collaboration de la Société de transport de Montréal*

Mars 2009



**Programme de démonstration en transport urbain  
Transports Canada**

# Rapport annuel et de fin de projet

***Présenté par :  
la Société de transport de l'Outaouais  
en collaboration avec la Société de transport de Montréal***

Juin 2009

# Remerciements

L'équipe de réalisation tient à remercier l'ensemble des acteurs et des partenaires du projet, dont les partenaires financiers, soit Transports Canada, instigateur et subventionnant 33 % du financement du programme, ainsi que le ministère des Transports du Québec; et les acteurs principaux, soit les équipes de travail de la Société de transport de l'Outaouais et de la Société de transport de Montréal. Un remerciement à l'ensemble des équipes de l'exploitation, de l'entretien, de l'informatique, des communications, des ressources humaines pour leur collaboration et leur support dans le cadre de ce projet.

## Équipe de réalisation

### Société de transport de l'Outaouais

- Salah Barj
- Richard Bergeron
- Yassine Boussikouk
- Lawrence Cannon
- Hugues Charron
- Marco Cruz
- Carmel Dufour
- Céline Gauthier
- Georges O Gratton
- Guy Langlois
- Michel Paré
- Anne-Marie Proulx
- Philippe Rousseau
- Pascale Vaillancourt

### Direction de projet

- Salah Barj
- Georges O Gratton
- Lawrence Cannon
- Hugues Charron
- Richard Bergeron
- Marco Cruz
- Carmel Dufour

### Comité technique

- Nadine Astresses
- Salah Barj
- Richard Bergeron
- Yassine Boussikouk
- Hugues Charron
- Marco Cruz
- Patrick Gauthier
- Pier-Olivier Houde
- Guy Langlois
- Marc Litalien
- Michel Paré
- Philippe Rousseau
- Pascale Vaillancourt

## Société de transport de Montréal

### Comité de travail

- Véronique Angers
- Cynthia Arruda
- Alain Bédard
- Nathalie Boisvert
- René Boucher
- Marie-Claude Chartrand
- Normand Couture
- Guylaine Di Tomaso
- Manuel Dubuc
- Jacques Durocher
- Nathalie Garneau
- Richard Landry
- Chan Ly
- Pascal Oceau
- Maud Ouellet
- André Pagé
- Nathalie Pomerleau
- Sylvain St-Denis
- Isabelle St-Louis
- Jean-Claude Théroux
- Isabelle Tremblay
- Luc Y. Tremblay
- Carole Vaillancourt
- André Veilleux

### Comité de pilotage

- Renée Amilcar
- Pierre Bourbonnière
- François Chamberland
- Carl Desrosiers
- Jacques Durocher
- Benoit Gendron
- Serge Jolin
- Pierre Lemay
- Serge Migneault
- André Poisson
- Pierre Rocray
- Claude Savage
- Luc Y. Tremblay
- Denise Vaillancourt
- Liette Vinet

**Collaboration spéciale**

- Kathleen Barette
- Mariko Legault-Beauchamp
- Jan Fetherstonhaugh
- Céline Gauthier
- Renée Lafenière
- Manon Lafontaine
- Robert Laplante
- Diane Martin
- Hugues Nadeau
- Danielle Pronovost
- Yvon Pronovost
- Anne-Marie Proulx

**Équipe STO de rédaction du rapport**

- Salah Barj
- Yassine Boussikouk
- Marco Cruz

**Équipe STM de rédaction du rapport**

- Marc Glogowski
- René Leduc
- Pascal Octeau
- Luc Y. Tremblay

**Environnement Canada**

- Michel Souigny
- Mike White

**Transports Canada**

- Nathalie Laroche
- Alain Paquet
- Éric Sévigny

**King County Metro Transit**

- Jim Boon
- Bruce Dahl
- Don Goodwin

**National Renewable Energy Laboratory**

- Leslie Eudy

**MARCON**

- Pierre Ducharme
- Jules Gagné

**Soutien Technique**

- Hugues Allard
- Joseph Armand
- Sébastien Bellefeuille
- Samuel Bertrand
- François Bolduc
- Pierre Corbeil
- Martin Dragon
- Miville Dupuis
- Geneviève Froment
- Clarence Gagnon
- Joscelyn Gingras
- Sylvain Hardy
- Steve Héту
- Alexandre Leduc
- René Leduc
- Raynald Marcotte
- Pierre Martin
- Luc Michaud
- Jean-François Morin-Verville
- Daniel Myre
- Hisham Nour
- Pascal Ouellette
- Jacques Poirier
- Georges Poutedfé
- Prosper Tremblay

**Collaboration spéciale**

- Alain Beaudry
- Mario Blondeau
- Serge Carignan
- Claude Dauphin
- Jacques Déry
- Yves Devin
- Chantale Dion
- Bernard Donato
- Charles Dubois
- Richard Giubelli
- Marc Glogowski
- Yvon Huard
- Pierre Laforest
- Guy Lambert
- Louis-Michel Lanoie
- Mireille L'Archevêque
- Michel Lauzier
- René Léonard
- Éric Lourmède
- Hassan Mahmalat
- Lyne Paquette
- Pierre Raby
- Guylaine St-Louis
- Réjean Trudel
- Laurent Vivier



**NovaBus**

- Stéphane Gagnon
- Yves Gaumont
- François Lafond

**ZF Friedrichshafen AG**

- Ali Poonawala
- Franz Sorg

**Centre national du transport avancé**

- Daniel Lévesque
- Maxime Ouellet

**EMP**

- Mike Lasecki

**ISAAC**

- Jean-Sébastien Bouchard

**Cummins Est du Canada**

- Johnny Mulfati

**DDACE /Allison**

- Nicolas Blais
- Robert Claude
- Marin Coulombe
- Duwayno Robertson

**Tecsult**

- Cédric Bachmann
- Patrick G. Déoux
- Benjamin Fischer
- Nadine Lafond

**CIMA+**

- Julie Archambault
- Nadine Paquette
- Johanne Trudel

**Ville de Gatineau**

- Claude Martine
- Maria Urbina

**Génivar**

- Nicolas Bissuel Roy

**Ministère des Transports du Québec**

- Robert Bégin
- Marc Carrier
- Serges Charest
- Jacques Gagnon
- Stéphane Lauzon

**Participation du personnel de l'usine de Crémazie**

Le personnel affecté à la ligne mécanique, la tôlerie, la peinture, la soudure, les petites composantes électriques, les petites composantes mécaniques et à la planification.

**Participation directe du CT LaSalle**

Tout le personnel affecté à l'exploitation et à l'entretien des autobus, de même qu'à l'entretien des bâtiments et au soutien administratif.

# Table des matières

<b>REMERCIEMENTS.....</b>	<b>II</b>
<b>LISTE DES ACRONYMES .....</b>	<b>IX</b>
<b>DÉFINITIONS .....</b>	<b>IX</b>
<b>SOMMAIRE .....</b>	<b>X</b>
<b>1 INTRODUCTION.....</b>	<b>1</b>
1.1 Mise en contexte .....	1
1.2 Objectifs .....	2
1.3 Partenaires.....	2
1.3.1 Partenaires financiers .....	2
1.3.2 Partenaires de réalisation .....	3
1.3.3 Fournisseurs principaux.....	3
1.4 Structure du document.....	3
<b>2 DESCRIPTION DU PROJET .....</b>	<b>5</b>
2.1 Technologie hybride – Approche méthodologique .....	5
2.1.1 Type d'autobus.....	5
2.1.2 Mise en service des autobus hybrides et témoins .....	7
2.1.3 Paramètres mesurables .....	8
2.1.4 Instrumentation .....	9
2.1.5 Formation du personnel .....	10
2.1.6 Essais aux laboratoires d'Environnement Canada .....	10
2.1.7 Essais contrôlés sur piste .....	12
2.1.8 Cycle de vie.....	13
2.1.9 Sondage auprès des chauffeurs et de la clientèle.....	14
2.2 Ligne verte – Approche méthodologique .....	14
2.2.1 Implantation de la voie réservée et des mesures prioritaires pour autobus .....	16
2.2.2 Mise en place de stationnement incitatif et mise en valeur des abribus .....	18
2.2.3 Comptages automatiques de passagers .....	20
2.2.4 Comptages manuels classifiés .....	21
2.2.5 Enquête de temps de parcours.....	21
2.2.6 Stratégie de communication .....	22
2.2.7 Sondage auprès des usagers.....	23
<b>3 ANALYSE DES RÉSULTATS - TECHNOLOGIE HYBRIDE.....</b>	<b>24</b>
3.1 Résultats des essais aux laboratoires d'Environnement Canada .....	24
3.2 Résultats des essais contrôlés sur piste.....	26
3.3 Analyse de la technologie hybride en service clientèle .....	27
3.4 Cycle de vie.....	31
3.5 Satisfaction des usagers et des employés .....	32
3.6 Outil décisionnel.....	33
3.7 Au-delà de la technologie hybride.....	36
3.7.1 Ventilation électrique à bas voltage .....	36
3.7.2 Programmation optimisée de la transmission standard (logiciel Topodyn) .....	37
3.7.3 Impact sur la consommation en carburant.....	37

<b>4</b>	<b>RÉSULTATS DE L'ÉTUDE DE LA LIGNE VERTE</b> .....	<b>39</b>
4.1	Impact des mesures prioritaires.....	39
4.2	Analyse de l'achalandage.....	42
4.3	Analyse de la part modale : comptage classifié.....	44
4.3.1	Ligne écran.....	44
4.3.2	Pont Lady-Aberdeen (pont traversé par la Ligne verte).....	46
4.3.3	Comparaison de la période de pointe du matin.....	47
4.4	Satisfaction des usagers.....	48
<b>5</b>	<b>IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DES MESURES MISES À L'ESSAI</b> .....	<b>51</b>
5.1	Technologie hybride.....	51
5.2	Ligne verte.....	52
5.3	Application des résultats.....	54
<b>6</b>	<b>BILAN FINANCIER</b> .....	<b>55</b>
6.1	Coûts du projet - planification budgétaire.....	55
6.2	Suivi périodique du projet.....	56
<b>7</b>	<b>CONCLUSIONS</b> .....	<b>57</b>
7.1	Les autobus hybrides.....	57
7.2	La Ligne verte.....	58
7.3	La réduction des GES.....	58

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2-1	Caractéristiques des autobus hybrides et témoins de la STM et de la STO.....	7
Tableau 2-2	Liste des essais aux laboratoires d'Environnement Canada.....	12
Tableau 4-1	Temps de parcours pour la période de pointe du matin.....	40
Tableau 4-2	Temps de parcours pour la période de pointe de l'après-midi.....	41
Tableau 4-3	Comparatif des comptages des hivers 2008 et 2009.....	43
Tableau 4-4	Charge moyenne en fonction de l'augmentation de l'offre de service.....	43
Tableau 4-5	Comparaison des débits et des taux d'occupation de la ligne écran et du pont Lady-Aberdeen – Période de pointe du matin (6 h à 10 h) – Journée moyenne de semaine – Mois de février.....	47
Tableau 5-1	Hypothèses de calcul d'émission de GES selon deux scénarios.....	52
Tableau 6-1	Montants investis.....	56

## LISTE DES FIGURES

Figure 1-1	Présentation du projet de démonstration commun STO-STM dans le cadre du PDTU.....	2
Figure 1-2	Structure du document.....	4
Figure 2-1	Caractéristiques générales de l'autobus Nova LFS.....	6
Figure 2-2	Comparaison de la consommation de carburant et de flux de courant électrique – Autobus hybride et témoin Nova 2008.....	10
Figure 2-3	Essais aux laboratoires d'Environnement Canada.....	11
Figure 2-4	Essais contrôlés sur piste à Blainville, Québec.....	13
Figure 2-5	Plan corridor de la Ligne verte.....	14
Figure 2-6	Schématisation du projet Ligne verte de la STO.....	15
Figure 2-7	Localisation des mesures préférentielles et des abribus de la Ligne verte.....	16
Figure 2-8	Voies réservées dans le corridor Gréber.....	17
Figure 2-9	Localisation des feux de circulation avec priorisation.....	18
Figure 2-10	Stationnement incitatif de la Cité.....	19
Figure 2-11	Arrêts réaménagés aux couleurs de la Ligne verte.....	19
Figure 2-12	Localisation des comptages classifiés.....	21
Figure 2-13	Localisation du tronçon analysé pour l'enquête de temps de parcours.....	22
Figure 3-1	Consommation de carburant des autobus de la STM – Résultats des essais aux laboratoires d'Environnement Canada.....	25
Figure 3-2	Consommation de carburant des autobus de la STO – Résultats des essais aux laboratoires d'Environnement Canada.....	25
Figure 3-3	Consommation de carburant des autobus en fonction de la vitesse moyenne – Autobus Nova Bus 2008 (la consommation du système de chauffage d'appoint n'est pas incluse).....	27
Figure 3-4	Consommation de carburant en fonction du nombre d'arrêts par kilomètre – Autobus Nova 2008.....	28
Figure 3-5	Consommation de carburant de l'autobus et du chauffage d'appoint en fonction de la vitesse moyenne et de la température extérieure – Autobus sans air climatisé hybride et témoin Nova 2008.....	29
Figure 3-6	Consommation de carburant en fonction de la vitesse moyenne et du taux moyen d'accélération – Autobus hybride et témoin.....	30
Figure 3-7	Utilisation du chauffage auxiliaire en fonction de la température extérieure - Autobus Nova 2008.....	32
Figure 3-8	Consommation de carburant en fonction de la vitesse moyenne pour des vitesses variant de 5 à 30 km/h – Autobus hybride et témoin modèle NOVA 2008, sans climatisation.....	34
Figure 3-9	Consommation de carburant en fonction du nombre d'arrêts par kilomètre pour un nombre d'arrêts variant de 0 à 10 – Autobus hybride et témoin modèle NOVA 2008, sans climatisation.....	35
Figure 3-10	Effet de la ventilation électrique et de la programmation de la transmission (Topodyn) sur la consommation de carburant.....	38
Figure 4-1	Impacts fonctionnels de l'implantation des mesures prioritaires.....	42
Figure 4-2	Nombre de véhicules particuliers <sup>1</sup> sur la ligne écran, périodes de pointe du matin et de l'après-midi – Journée moyenne de semaine.....	44
Figure 4-3	Taux d'occupation sur la ligne écran, périodes de pointe du matin et de l'après-midi – Journée moyenne de semaine.....	45
Figure 4-4	Nombre de véhicules particuliers <sup>1</sup> sur le pont Lady-Aberdeen, période de pointe du matin – Journée moyenne de semaine.....	46



Figure 4-5	Taux d'occupation sur le pont Lady-Aberdeen, période de pointe du matin – Journée moyenne de semaine.....	47
Figure 4-6	Degré de satisfaction de la Ligne verte .....	49
Figure 4-7	Principaux avantages de la Ligne verte .....	49
Figure 6-1	Montant de participation (en millions de \$) .....	55

## **ANNEXES**

### **RAPPORT TECHNIQUE – TECHNOLOGIE HYBRIDE**

### **RAPPORT TECHNIQUE – LIGNE VERTE**

### **RAPPORT FINANCIER ET SUIVI DE PROJET**

## Liste des acronymes

ECM	<i>Electronic Control Module</i> , ordinateur de contrôle sur les moteurs ou transmissions
COV	Composé organique volatil
cv	Cheval vapeur équivalent à l'unité britannique horsepower (hp)
GES	Gaz à effet de serre
IR	Infrarouge
PAC	Polluants atmosphériques communs (COV, NOX, SO, particules)
PDTU	Programme de démonstration en transport urbain
PPAM	Période de pointe du matin
PPPM	Période de pointe de l'après-midi
PMV	Panneau à messages variables
STI	Système de transport intelligent
STM	Société de transport de Montréal
STO	Société de transport de l'Outaouais
TCM	<i>Transmission Control Module</i> , ordinateur de contrôle de la transmission hybride Allison
VCM	<i>Vehicle Control Module</i> , ordinateur de contrôle des paramètres liés au fonctionnement du véhicule, dans le cas d'un autobus muni du système Allison hybride

## Définitions

Hybride	Autobus à propulsion hybride diesel-électrique, soit la combinaison d'un moteur diesel à combustion interne et de moteur et générateur électriques.
Témoin	Autobus témoins : autobus à propulsions diesel standard aussi appelé autobus standard dans le cadre du projet, dont les paramètres enregistrés sont comparés à ceux de l'autobus hybride.
Topodyn	Logiciel servant à la programmation de la transmission ZF des autobus standard.

## Sommaire

Dans le cadre du Programme de démonstration en transport urbain (PDTU), les sociétés de transport de l'Outaouais (STO) et de Montréal (STM) se sont associées afin d'élaborer un projet conjoint de transport en commun dont l'objectif premier est de mettre à l'essai une série de mesures visant à réduire les émissions de gaz à effet de serre.

Le premier volet, mené par la **STM**, consiste à mesurer l'impact environnemental des **autobus à propulsion hybride diesel-électrique** en les comparant à des autobus à propulsion diesel standard. Pour ce faire, la STM a mis en service, sur les mêmes lignes, huit autobus à propulsion hybride et six autobus à propulsion diesel standard de même modèle, pendant une année complète. De nombreuses données ont été récoltées afin de mesurer de manière exhaustive la réduction de consommation de carburant générée par l'exploitation d'autobus hybrides et, conséquemment la réduction des gaz à effet de serre.

La technologie hybride sur les autobus Nova Bus 2008 utilisés par la STM a permis de réduire la consommation de carburant de 30 % en moyenne par rapport à la propulsion standard. La vitesse commerciale moyenne des autobus suivis dans le cadre du projet a été d'environ 18 km/h, tandis que le nombre d'arrêts moyen a été de 3,8 par kilomètre. La moyenne des températures pendant l'année qu'a duré le projet a été de 6,6 °C (de -29 °C à +33 °C). La technologie hybride est particulièrement avantageuse lorsque la vitesse d'opération moyenne est relativement basse et que la distance entre les arrêts demeure courte.

Le pourcentage de réduction de la consommation de carburant obtenu avec les autobus hybrides se traduit en une réduction des émissions des gaz à effet de serre de près de 36 tonnes annuellement pour un autobus qui parcourt environ 70 000 km par an.

Grâce aux outils d'analyses qui ont été développés au cours de cette étude, il est possible pour un gestionnaire d'une société de transport de déterminer l'impact qu'aurait l'utilisation d'autobus hybrides sur la consommation de carburant de son parc d'autobus. Il lui suffit de connaître la vitesse totale moyenne, ainsi que la consommation totale moyenne<sup>1</sup> pour utiliser les tableaux présentés dans ce rapport. Le gestionnaire pourra ainsi déterminer si la propulsion hybride serait adaptable à ses conditions opérationnelles.

Par le biais de cette étude, d'autres technologies ont été testées et se sont montrées prometteuses. Le remplacement du système de ventilation hydraulique par un système électrique à bas voltage permet de réduire les émissions de GES des autobus hybrides et standard, alors que l'optimisation de la programmation des transmissions standard permet de réduire les émissions de GES des autobus réguliers. Ces modifications nécessitent un investissement minimal.

Le second volet, nommé **Ligne verte** et mené par la **STO**, consiste à étudier l'impact environnemental de l'intégration de différentes mesures dans un corridor de transport collectif afin d'accroître la part modale et ainsi réduire les GES. Ce projet réalisé dans la ville de Gatineau inclut la mise en place de voies réservées et de mesures prioritaires aux intersections, la modernisation des abribus, l'ajout d'espaces de stationnement incitatif, l'installation d'un panneau à messages variables ainsi que la mise en service de deux autobus à propulsion hybride.

---

<sup>1</sup> La vitesse totale moyenne et la consommation totale moyenne sont des données disponibles à partir de l'ECM du moteur Cummins

L'objectif de ce volet vise à mesurer les changements de comportements en matière de déplacement suivant la mise en place des mesures de la Ligne verte. La réduction des émissions de GES résulte du transfert modal du véhicule particulier à un mode moins polluant, soit l'autobus ou le covoiturage. Des mesures d'évaluation de la Ligne verte, faisant partie intégrante de ce volet ont été développées pour analyser et constater :

- Des gains en temps de parcours;
- Une meilleure adhérence aux horaires d'autobus;
- Une amélioration de l'image du transport en commun auprès du public, entre autres par l'utilisation de la technologie hybride;
- Une augmentation de l'achalandage des autobus;
- Un transfert modal sensible des véhicules privés vers le transport en commun et le covoiturage sur le corridor concerné.

Le projet de la Ligne verte a permis d'accroître l'achalandage du corridor de la Ligne verte de 7,7 % durant les périodes de pointe, soit 5,5 % de plus que la moyenne du réseau qui a connu une hausse de 2,2 % durant la même période. De plus, entre l'hiver 2008 et l'hiver 2009, on a constaté une réduction de 380 véhicules dans le corridor de la Ligne verte (sur le pont Lady-Aberdeen) durant la période de pointe du matin ainsi qu'une hausse du taux d'occupation passant de 1,18 à 1,28 personnes par véhicule.

La croissance de l'achalandage des autobus de la Ligne verte jumelée à la diminution du nombre de véhicules privés sur le pont Lady-Aberdeen suggère un certain transfert modal de l'automobile vers le transport collectif. Ces changements de comportement ont engendré une réduction annuelle des émissions de GES d'environ 245 tonnes, selon les hypothèses posées. Selon un scénario plus optimiste, la réduction annuelle de GES pourrait atteindre 935 tonnes de GES.

À ceci viennent s'ajouter 30 tonnes de GES réduites directement par l'utilisation de deux autobus hybrides. La réduction de carburant des autobus hybrides à la STO a été de 14 % comparativement à 30 % à la STM. Ceci s'explique par la technologie hybride employée à la STO qui diffère de celle de la STM ainsi que les variantes dans les conditions d'utilisations, soit une vitesse moyenne plus élevée à la STO et utilisation de l'air climatisé.

Toutefois, les bénéfices obtenus dans le cadre de la Ligne verte ou de la technologie hybride, dans un cadre restreint, doivent être mis en perspective aussi bien à une échelle plus large que sur une période de temps plus longue. C'est alors que ces projets présentent des perspectives extrêmement encourageantes :

1. La mise en service d'autobus hybrides dans plusieurs grandes villes canadiennes pourrait générer des réductions de GES de l'ordre de kilotonnes au Canada.
2. Les projets du type de la Ligne verte contribuent à valoriser de manière générale l'image des transports en commun auprès de la population. Ceci ne se concrétise pas nécessairement immédiatement par une augmentation de l'achalandage des autobus, mais participe à poser des bases solides et durables pour un changement des comportements à long terme. C'est la multiplication de ce type de projets qui assurera des changements profonds dans les habitudes de déplacements de la population.



# 1 Introduction

## 1.1 Mise en contexte



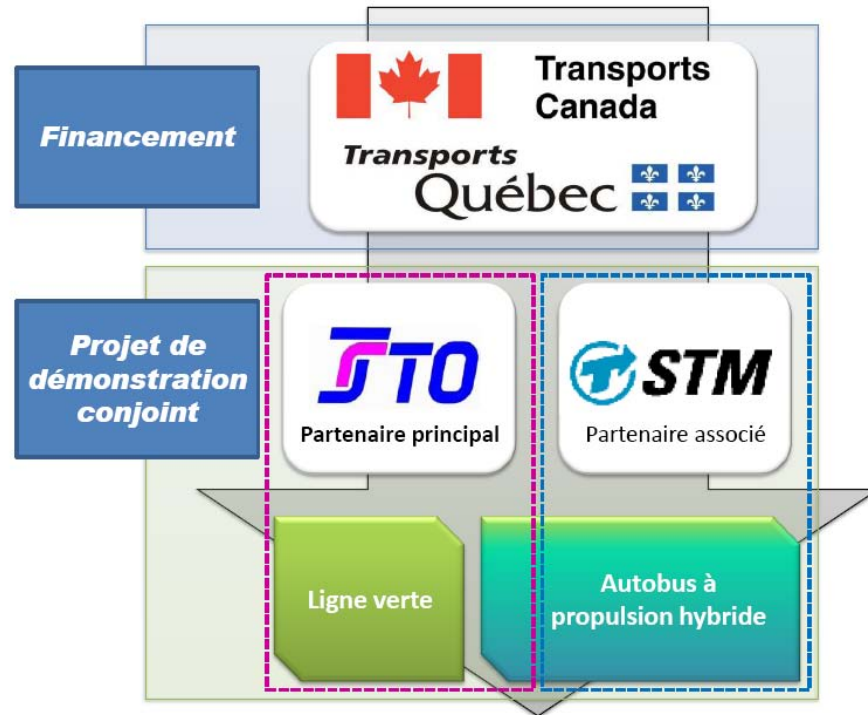
Les sociétés de transport de l'Outaouais (STO) et de Montréal (STM) se sont associées afin d'élaborer un projet conjoint de transport en commun dans le cadre du Programme de démonstration en transport urbain (PDTU).

Ce programme est une initiative de Transports Canada qui fait partie du Plan d'action 2000 du gouvernement du Canada sur le changement climatique. Il poursuit quatre objectifs :

- Supporter le développement et l'intégration d'initiatives, d'outils de planification des transports et de pratiques exemplaires en vue de réduire les émissions de GES;
- Démontrer, mesurer et suivre l'efficacité d'une série d'initiatives intégrées de réduction des GES en milieu urbain;
- Évaluer l'effet de ces initiatives dans le contexte d'objectifs politiques importants afin de construire des villes fortes (diminution du smog, allègement de la congestion, amélioration des infrastructures de transport en commun, etc.);
- Établir un réseau national polyvalent et proactif de dissémination d'information sur des stratégies gagnantes en matière de réduction des GES et de transport urbain durable.

Le PDTU touchant à sa fin en mars 2009, ce rapport présente les résultats des activités effectuées dans le cadre du projet de démonstration conjoint STO-STM.

Figure 1-1 Présentation du projet de démonstration commun STO-STM dans le cadre du PDTU



## 1.2 Objectifs

Les sociétés de transport de l’Outaouais (STO) et de Montréal (STM) se sont associées afin d’élaborer un projet conjoint de transport en commun dont l’objectif premier est de mettre à l’essai une série de mesures visant à réduire les émissions de gaz à effet de serre.

D’une part, ces mesures visent à améliorer la qualité du service offert afin de rendre le transport en commun plus convivial et confortable pour les clients, ce qui aurait comme impact de stimuler le transfert modal de la voiture individuelle vers le transport en commun.

D’autre part, la propulsion hybride diesel-électrique sera mise à l’essai afin de valider l’impact qu’elle pourrait avoir sur l’environnement.

## 1.3 Partenaires

En plus de Transports Canada, qui est l’initiateur de ce projet, divers intervenants ont participé à ce projet, soit en tant que partenaires financiers, partenaires de réalisation ou encore en tant que fournisseurs.

### 1.3.1 Partenaires financiers

Le **ministère des Transports du Québec** (MTQ) participe au financement de ce programme.

La STO, par le biais de la convention de mandat entre la STO et la STM, rembourse à la STM certaines dépenses que celle-ci doit engager pour la réalisation du PDTU. Par sa compétence au niveau de l'ingénierie mécanique et son expertise à évaluer la performance de véhicule, la STM contribue aux recherches faites par la STO.

### 1.3.2 Partenaires de réalisation

Les mesures mises à l'essai par la STO et la STM sont complémentaires. Leurs impacts sont documentés dans un rapport conjoint.

La compagnie **Nova Bus** a fabriqué les dix autobus à propulsion hybride et les treize autobus témoins qui seront utilisés par la STO et la STM dans le cadre du projet PDTU. Elle a fait des investissements importants dans des travaux d'ingénierie pour préparer ses autobus à propulsion diesel standard à recevoir les systèmes de propulsion hybride. Elle a fabriqué puis livré la majorité des autobus requis par le PDTU sans avoir obtenu l'engagement formel de la STM pour l'achat des systèmes de comptage et des systèmes de propulsion hybride.

### 1.3.3 Fournisseurs principaux

Dans le cadre du projet de la **technologie hybride**, les firmes suivantes ont participé à l'étude :

- Le **CEVEQ**, un organisme à but non lucratif, a apporté au projet PDTU son expertise en véhicules et systèmes de propulsion électrique et hybride;
- La compagnie **ISAAC** a apporté son expertise en collecte et analyse de données sur des véhicules;
- La compagnie **MARCON** a réalisé l'analyse des coûts de cycle de vie et d'entretien des autobus hybrides et standard de la STM et de la STO.

Les professionnels des firmes suivantes ont participé au projet de la **Ligne verte** :

- La firme de génie-conseil **Tecsult Inc.** s'est chargée de l'organisation des comptages classifiés sur les ponts de la rivière Gatineau et de l'analyse des résultats;
- La firme de génie-conseil **Génivar** a été mandatée pour les études de circulation dans le corridor du boulevard Gréber à Gatineau;
- La firme de génie-conseil **CIMA** a contribué au projet par l'aménagement et la construction des voies réservées dans le corridor du boulevard Gréber;
- La compagnie **Infodev** a fourni le matériel de comptages automatiques dans les autobus de la STO ainsi que le logiciel d'analyse;
- La compagnie **Electroméga** a fourni le système de priorisation (préemption) des feux de circulation;
- La compagnie **Enseicom** a fourni les aribus de la Ligne verte.

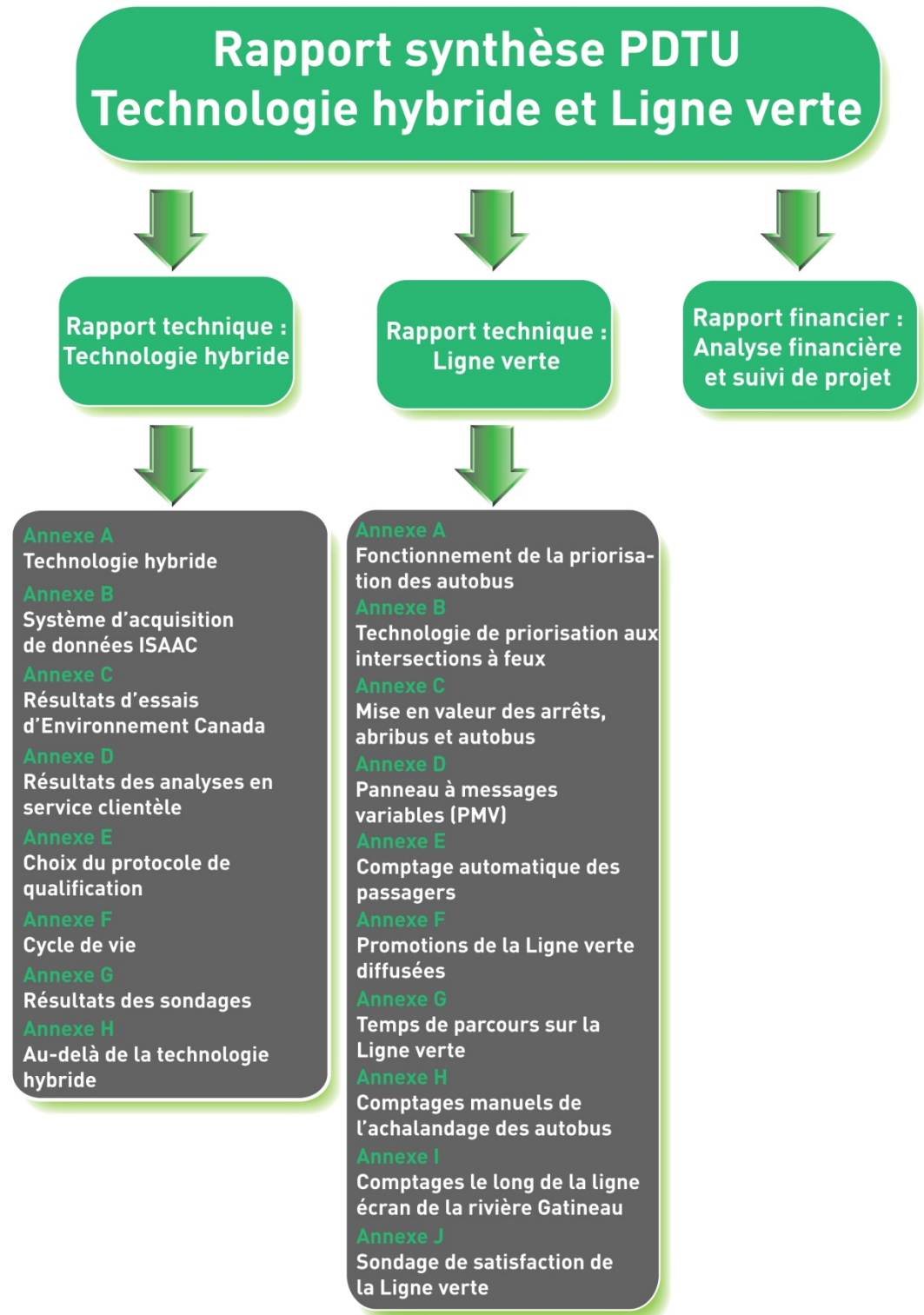
## 1.4 Structure du document

Ce rapport synthèse est accompagné de trois rapports plus techniques et plus détaillés :

- Rapport technique sur la technologie hybride;
- Rapport technique sur la Ligne verte;
- Rapport financier et suivi de projet.

Toute l'information concernant la technologie hybride et le projet de la Ligne verte est documentée dans les deux rapports techniques qui sont accompagnés d'un bon nombre d'annexes, comme présenté à la Figure 1-2.

Figure 1-2 Structure du document





## 2 Description du projet

Ce projet se divise en deux volets. Un premier volet concerne la **technologie hybride**. Cette étude, menée par la STM, consiste à comparer l'impact environnemental d'un autobus hybride par rapport à un autobus à moteur diesel standard. Un second volet, le projet de la **Ligne verte**, étudie l'impact environnemental de l'intégration de mesures préférentielles et de systèmes de transport intelligents, notamment dans un corridor bien identifié. Ce second volet a été réalisé à Gatineau et dirigé par la STO.

L'approche méthodologique employée pour chacune de ces études est décrite dans les sections qui suivent.

### 2.1 Technologie hybride – Approche méthodologique

Des études concernant l'impact des autobus hybrides sur la réduction des gaz à effet de serre ont déjà été effectuées dans quelques villes nord-américaines et européennes. Toutefois, la variabilité des conditions dans lesquelles ces études ont été effectuées rendait les résultats difficilement comparables. Par exemple, l'autobus hybride n'était pas de même modèle que l'autobus témoin, ou encore, le nombre d'arrêts par kilomètre ou les vitesses pratiquées n'étaient pas les mêmes dans les deux cas. Ces résultats, qui sont parfois contradictoires quant aux bienfaits de la technologie hybride, compliquent la tâche pour un opérateur qui voudrait s'équiper d'un parc d'autobus hybrides.

La particularité de l'approche méthodologique utilisée dans cette étude est, d'une part, la compatibilité entre les autobus hybrides et standard et, d'autre part, l'envergure de la collecte de données. Cette approche a l'avantage de produire des résultats précis, cohérents ainsi que d'une très grande applicabilité et l'ampleur des données rend la marge d'erreur très faible. L'approche méthodologique employée est décrite dans les sections qui suivent. **Pour de plus amples détails, consultez le rapport technique sur la technologie hybride.**

#### 2.1.1 Type d'autobus

Dans cette étude, les performances d'autobus hybrides sont comparées à celles d'autobus réguliers diesel. Pour ce faire, la STM s'est équipée de huit autobus hybrides et de six autobus standard diesel. Ces derniers sont nommés autobus témoins. Les autobus hybrides et les autobus témoins sont identiques, car ils sont du même modèle et de même année de fabrication. Seules les composantes spécifiques aux systèmes de propulsion diffèrent. Dans le cas de la STO, neuf autobus ont fait partie de l'étude, soit deux à propulsion hybride et sept à propulsion diesel standard.

Les autobus hybrides et témoins de la STO et de la STM sont de marque Nova Bus, de modèle Nova LFS. Les autobus hybrides sont équipés du système hybride électrique EP40, de type parallèle, de la compagnie Allison Transmission. Les caractéristiques générales des autobus de cette étude sont données à la Figure 2-1.

**Figure 2-1** Caractéristiques générales de l'autobus Nova LFS



Structure	Acier inoxydable
Habillage extérieur	Fibre de verre et panneaux de bas de caisse en thermoplastique
Longueur	12,2 m (40 pi)
Largeur	2,6 m (102 po)
Hauteur	3,1 m (123 po)
Empattement	6,2 m (244 po)
Rayon de braquage extérieur	12,2 m (40,1 pi)
Système électrique	Système électrique par multiplexage Volvo Bus (VBEA)
Système HVAC	MCC de série - Climatisation Thermo King ou Carrier
Moteur	Cummins ISL 250 cv de série - Cummins ISL 280 cv
Transmission	ZF 6HP554C de série - Voith ou Allison disponible
Freins à disques essieu avant	ZF RL85 - Essieu rigide
Freins à disques essieu arrière	ZF AV-132
Freins	ABS à disques avec antipatinage
Capacité du réservoir à carburant	454 litres (120 gallons US)

Les caractéristiques générales s'appliquent aux autobus hybrides et témoins de la STM et de la STO. Toutefois, quelques caractéristiques sont spécifiques à certains autobus. Par exemple, les autobus de la STO sont équipés de climatisation alors que les autobus de la STM ne sont pas climatisés.

Aussi, les moteurs des autobus de la STM et de la STO assignés au PDTU ne répondent pas tous aux mêmes normes. Alors que les moteurs des autobus hybrides et de certains autobus témoins de la STO sont conformes aux exigences de la norme 2002 du EPA, les moteurs des autobus de la STM sont conformes aux exigences de la norme 2007 du EPA. Les moteurs sont tous de marque CUMMINS et de type ISL. Les moteurs des

autobus de la STO assignés au PDTU ont tous une puissance de 280 cv<sup>2</sup>. En ce qui concerne les quatorze autobus de la STM assignés au PDTU, les huit autobus hybrides et trois des autobus témoins ont une puissance de 280 cv, alors que les trois autres autobus témoins ont une puissance de 250 cv. Il faut noter que tous les autobus du parc de la STM sont équipés de moteur 250 cv. Lorsque les propulsions hybrides ont été commandées pour le projet, elles étaient offertes uniquement avec des moteurs 280 cv. Ainsi, la STM a décidé de s'équiper d'autobus témoins de 280 cv et de 250 cv afin de pouvoir faire des analyses de résultats croisées. Les caractéristiques spécifiques des autobus hybrides et témoins de la STM et de la STO sont montrées au Tableau 2-1.

**Tableau 2-1 Caractéristiques des autobus hybrides et témoins de la STM et de la STO**

Société/ Identifications	STO-témoins 2006	STO-témoins 2007	STO-hybride 2006	STM-témoins 250 cv 2008	STM-témoins 280 cv 2008	STM-Hybride 280 cv 2008
<b>Date de livraison</b>	2006-avril	2007-mai	2007-mai	2008-jan	2008-jan	2008-avril
<b>Km moyen total par autobus au 31 mars 2009</b>	185 000	88 000	87 000	82 000	82 000	52 000
<b>Modèle</b>	Nova LFS	Nova LFS	Nova LFS HEV	Nova LFS	Nova LFS	Nova LFS HEV
<b>Moteur</b>	Cummins ISL 8,3 l	Cummins ISL 8,9 l	Cummins ISL 8,3 l	Cummins ISL 8,9 l	Cummins ISL 8,9 l	Cummins ISL 8,9 l
<b>Programmation</b>	280 cv	280 cv	280 cv	250 cv	280 cv	280 cv
<b>Norme/EPA</b>	<b>2002</b>	2007	<b>2002</b>	2007	2007	2007
<b>Transmission</b>	ZF-Ecomat	Voith	Allison EP40	ZF-Ecomat	ZF-Ecomat	Allison EP40
<b>Climatisation</b>	Carrier	Carrier	Thermo King	N/A	N/A	N/A
<b>Masse totale (kg)</b>	12 670	12 100	13 560	12 200	12 200	13 383

### 2.1.2 Mise en service des autobus hybrides et témoins

Les premiers autobus témoins de la STM ont été livrés à la fin du mois de janvier 2008. Le premier autobus hybride a été livré le 13 février 2008, alors que les autres autobus hybrides de la STM ont été livrés entre la mi-mars et le début du mois d'avril 2008 et ont été mis en service pour la clientèle le 21 avril 2008. Les autobus témoins étaient déjà en service clientèle depuis le mois de février 2008.

Les lignes sur lesquelles les autobus hybrides et témoins ont circulé ont été choisies en fonction de l'information disponible dans la documentation concernant la performance des autobus hybrides. En effet, la documentation suggérait une meilleure performance de la technologie hybride dans des conditions où la vitesse moyenne est relativement faible et où les arrêts sont fréquents. Pour cette raison, des lignes du centre-ville de Montréal ont été choisies. Aussi, afin d'évaluer l'impact de la topographie, des lignes circulant près du Mont-Royal ont été sélectionnées. Finalement, afin d'avoir une grande variabilité en termes de vitesse commerciale et de nombre d'arrêts, certains autobus ont circulé sur des lignes en milieu moins dense.

<sup>2</sup> L'abréviation « cv » signifie cheval-vapeur qui est dans ce cas-ci équivalent à l'unité britannique, horsepower (hp)

Les deux autobus hybrides de la STO ont été acquis près d'une année avant ceux de la STM. Leur service clientèle a débuté le 23 mars 2007. L'acquisition de données sur les autobus hybrides et témoins a débuté à la fin février 2008, soit en même temps que pour les autobus de la STM. Le corridor choisi par la STO est celui de l'axe des boulevards Gréber/Fournier/Maisonnette/du Portage/Ottawa, nommé « Ligne verte ». Ce corridor possède une longueur de 9 kilomètres et comporte 49 arrêts. Sur ce corridor, on compte environ 50 voyages à l'heure durant la période de pointe du matin qui sont effectués par trois lignes régulières et sept lignes express. Environ 10 000 déplacements s'effectuent quotidiennement sur cet axe.

Dans le cas des autobus de la STM, le carburant utilisé était du biodiesel, composé de 95 % de pétrodiesel et de 5 % de biodiesel fabriqué à partir de graisse animale et d'huile végétale recyclée. Dans le cas de la STO, le carburant utilisé était du pétrodiesel seulement.

### 2.1.3 Paramètres mesurables

Afin de mesurer les performances des autobus hybrides et des autobus témoins et de bien saisir ce qui influence la performance, un grand nombre de données a été récolté. La performance des autobus est mesurée principalement par la consommation de carburant. Certains facteurs faisant varier la consommation de carburant sont bien connus tels que la vitesse moyenne, la distance parcourue et le taux moyen d'accélération. Aussi, afin de bien comprendre le fonctionnement du moteur diesel et de la batterie du système hybride, la quantité d'énergie de ces deux systèmes a été comptabilisée. En tout, plus de 30 paramètres ont été mesurés. Voici la liste des principaux paramètres mesurés :

- La consommation en litres/100 km;
- La vitesse moyenne de l'autobus;
- La distance parcourue;
- Le taux moyen d'accélération;
- La température moyenne extérieure;
- Le temps en arrêt;
- Le temps de fonctionnement du chauffage d'appoint diesel;
- La vitesse de rotation moyenne du moteur diesel;
- La quantité d'énergie électrique provenant du système hybride;
- Le temps de fonctionnement du compresseur du système pneumatique;
- La demande sur l'accélérateur et le frein;
- Le courant sur le système de charge 24 volts standard.





### 2.1.4 Instrumentation

En tout, plus de 30 paramètres ont été mesurés en continu pendant une année sur les autobus hybrides et témoins. Plus de **20 milliards de données brutes** ont été colligées. Pour enregistrer toutes ces données, un système avancé d'acquisition de données de la compagnie québécoise ISAAC Instruments Inc. et a été mis en place dans les autobus hybrides et témoins de la STM et de la STO. Ce système enregistre en continu les données concernant le fonctionnement du groupe motopropulseur ainsi que tout ce qui a trait aux conditions d'utilisation des autobus.



La boîte d'acquisition de données sur les autobus de la STM se trouve à l'arrière de l'autobus sous le panneau d'information indicateur lumineux externe. Les données sont transférées par modem sans fil lorsque les autobus arrivent au centre de transport. Chaque autobus accumule ainsi plus de 14 Mo de données par jour.

La collecte d'un très grand nombre de données, au moyen du système ISAAC, a toutefois rendu l'analyse complexe. Pour faciliter l'analyse, le logiciel Matlab<sup>3</sup> a été utilisé et une série de commandes et d'interactions logiques a été programmée. Le résultat est une matrice d'information de tous les paramètres liés à un bond (cycle départ-arrêt de l'autobus). Cette matrice a été développée avec la participation du Centre National de Transport Avancé (CNTA). Elle inclut pour chacun des bonds des résultats calculés sur divers paramètres mesurés. L'analyse des informations contenues dans cette matrice permet de faire des prédictions de la consommation des deux types d'autobus évalués en fonction de conditions opérationnelles variables.

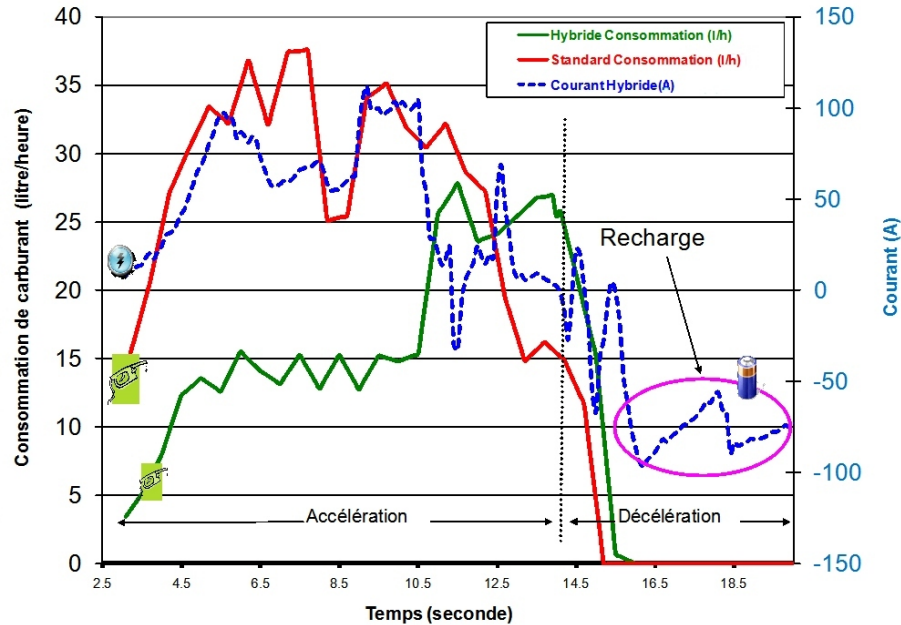
La Figure 2-2 présente, pour un bond typique, la consommation de carburant d'un autobus hybride et d'un autobus témoin (en litres par heure) ainsi que le courant utilisé par la batterie du véhicule hybride (en ampères). On y observe certaines caractéristiques d'un arrêt-départ typique, similaire aux 5 millions d'arrêts documentés au cours du projet. Elle présente une accélération jusqu'à 50 km/h d'un autobus témoin et d'un autobus hybride. On peut en tirer les informations suivantes :

- La consommation de carburant de l'autobus témoin atteint une valeur de pointe de 37 litres par heure (0,01 litre/seconde) durant cette accélération;
- La consommation de pointe pour l'autobus hybride est de l'ordre de 27 litres par heure (0,007 litre/seconde);
- La consommation totale pour l'autobus témoin durant cette phase a été de 1,3 litre et pour l'hybride de 0,35 litre.

On peut observer que l'énergie de remplacement pour le véhicule hybride lors de cette accélération provient de la batterie. Lors de la décélération, l'ampérage au niveau de la batterie est de signe inverse, cela indique qu'elle est en phase de régénération. Les deux moteurs électriques dans la transmission deviennent une génératrice, tout en ralentissant le véhicule.

<sup>3</sup> Logiciel de calcul matriciel produit par Mathworks inc.

**Figure 2-2 Comparaison de la consommation de carburant et de flux de courant électrique – Autobus hybride et témoin Nova 2008**



### 2.1.5 Formation du personnel

Le personnel d'entretien mécanique et électrique des autobus hybrides à la STM ainsi que le personnel du service de l'ingénierie ont reçu une formation d'une semaine, donnée par un spécialiste de la compagnie Allison Transmission. Cette formation couvrait autant les points d'entretien de base et les mesures de sécurité en lien avec le système haute tension électrique que les méthodes de diagnostic et de réparation en cas de panne.

Les chauffeurs du Centre de transport LaSalle, où se trouvent les autobus hybrides, ont reçu une formation de trois heures qui incluait la théorie du système hybride et la pratique de conduite. Cette formation a été élaborée par le personnel de formation de la STM.

Dans le cas de la STO, tous les chauffeurs ont reçu une formation théorique et pratique d'une durée de 1 h 15. À noter que tous les nouveaux chauffeurs à la STO reçoivent cette formation.

### 2.1.6 Essais aux laboratoires d'Environnement Canada

Une série d'essais en laboratoire a été réalisée pour analyser en conditions contrôlées la performance des autobus hybrides et témoins. La consommation de carburant et les émissions polluantes ont été mesurées et comparées. Ces essais ont également servi à calibrer le système d'acquisition de données ISAAC en termes de consommation de carburant pour ainsi établir de manière précise le lien entre la consommation de carburant et les émissions de polluants. Le diesel utilisé lors de ces essais pour les autobus de la STO et de la STM, était du biodiesel composé de 95 % de pétro diesel et de 5 % de biodiesel fabriqué à partir de graisse animale et d'huile végétale recyclée. La Figure 2-3 illustre ces essais en laboratoire.

**Figure 2-3 Essais aux laboratoires d'Environnement Canada**

	<p>Système de réfrigération qui a servi à maintenir la salle à -20 °C pour certains parcours spécifiques.</p>
	<p>Les gaz d'échappement sont aspirés et l'analyse chimique permet de mesurer et quantifier les polluants émis lors des essais ainsi que la consommation de carburant.</p>
	<p>L'autobus doit être solidement fixé à l'arrière comme à l'avant pour éviter tout risque de déplacement en cours d'essais.</p>
	<p>Le type et la qualité du carburant sont contrôlés durant les essais. Dans ce cas-ci, le carburant provient d'un contenant externe au lieu du réservoir de l'autobus.</p>
<p>Les efforts de traction sont imposés autant pour l'accélération que pour le ralentissement, tout comme pour le maintien de la vitesse.</p>	
<p>La puissance transmise aux roues varie continuellement au cours d'un essai en fonction de la simulation. Le système guide le chauffeur qui doit suivre la vitesse cible constamment indiquée sur un écran.</p>	

Le parcours « Manhattan » a servi de comparaison de base, car il est bien connu dans l'industrie des transports en commun en milieu urbain. Ainsi, pour un parcours type, l'autobus doit rouler sur les rouleaux du dynamomètre à une vitesse contrôlée et mesurée avec le même nombre d'arrêts et de départs. Cette approche permet de comparer avec beaucoup de fiabilité la distance parcourue, les accélérations, les vitesses maximales et

moyennes de même que les temps en arrêt. Tous les gaz d'échappement sont aspirés et traités par un système complexe d'analyse chimique. Ceci permet d'établir la concentration des divers polluants ainsi que la consommation moyenne de carburant de chaque autobus pour le type de parcours effectué.

En tout, dix essais ont été réalisés. Dans le but de mesurer l'impact des températures estivales et hivernales sur les performances des autobus hybrides et réguliers, des tests à +20 °C et à -20 °C ont été réalisés. Enfin, puisque les autobus de la STO sont équipés d'un système de climatisation réfrigérante, des essais où la climatisation était éteinte et où elle était à pleine capacité ont été effectués. L'énumération des conditions de ces dix essais en laboratoire est donnée au Tableau 2-2.

**Tableau 2-2 Liste des essais aux laboratoires d'Environnement Canada**

Température	Autobus	Climatisation
+20 °C	STM hybride	
+20 °C	STM témoin 280 cv	
+20 °C	STM témoin 250 cv	
+20 °C	STO hybride	Sans climatisation
+20 °C	STO hybride	Avec climatisation
+20 °C	STO témoin 280 cv	Sans climatisation
+20 °C	STO témoin 280 cv	Avec climatisation
-20 °C	STM hybride	
-20 °C	STM témoin 280 cv	
-20 °C	STM témoin 250 cv	

### 2.1.7 Essais contrôlés sur piste

À la fin du mois d'août 2008, la piste extérieure du centre d'essais PMG à Blainville au Québec a été utilisée pour des essais contrôlés de consommation de carburant sur des autobus hybrides et témoins de la STM (voir Figure 2-4). L'utilisation de la piste en circuit fermé est un outil qui permet de rouler en toute sécurité sans égard à la circulation automobile courante sur la voie publique. De cette façon, il est possible de rouler sur des distances déterminées à des vitesses contrôlées, tout comme d'avoir deux autobus qui se suivent en roulant de la même manière sans qu'il y ait d'interruption causée par la signalisation, des intersections ou l'interaction avec les autres véhicules.

Ces essais sur piste évaluaient les points suivants :

- Établir des tendances de consommation en fonction du nombre d'arrêts par kilomètre;
- Établir des tendances de consommation en fonction de la charge transportée;
- Mesurer l'effet combiné de la charge et du nombre d'arrêts par kilomètre;
- Obtenir des résultats comparables pour les autobus hybrides et témoins;
- Identifier tout autre aspect significatif qui pourrait être observé au cours des essais.

La vitesse maximale visée entre les arrêts est de 50 km/h. Lorsque le nombre d'arrêts par kilomètre augmente, la vitesse maximale atteinte entre les arrêts diminue, ce qui est similaire à ce que l'on observe en service régulier. Des essais ont été réalisés avec des variantes en termes de nombre d'arrêts par kilomètre, avec un maximum de dix. Une série réduite d'essais a également été réalisée avec une vitesse limite de 70 km/h pour laquelle il n'y avait pas plus de deux arrêts par kilomètre.



**Figure 2-4 Essais contrôlés sur piste à Blainville, Québec**

	<p>Les essais sur la piste sont réalisés simultanément sur un autobus témoin et hybride.</p>
	<p>L'instrumentation du système d'acquisition de données permet d'avoir un écran d'ordinateur qui indique en temps réel au chauffeur la distance précise (à 0,01 km) entre les arrêts, la vitesse atteinte et l'accélération mesurée par un des accéléromètres.</p>
	<p>Au cours des essais sur la piste PMG, la charge de passagers est simulée à l'aide de sacs de sable. Les essais ont été faits sur plusieurs jours avec une charge soit à vide ou équivalente à 20, 40 ou 60 passagers.</p>

### 2.1.8 Cycle de vie

En plus de mesurer la consommation de carburant des autobus hybrides et témoins, les coûts d'acquisition et d'entretien ont été estimés afin de comparer les cycles de vie de ces deux types d'autobus. Cette partie de l'étude a été réalisée avec la participation du groupe Marcon. L'analyse des coûts a été effectuée en deux temps :

- Les coûts d'acquisition, d'opération et d'entretien des autobus;
- Les coûts d'introduction et d'intégration.

Les principales composantes pour lesquelles il faut prévoir des différences de coûts d'entretien préventif et de remplacement entre les autobus hybrides et diesel sont le démarreur, la transmission, le système d'emmagasinement d'énergie, le moteur, l'inverseur de courant et le refroidisseur.

De plus, il est possible que certaines installations requièrent des modifications, notamment parce que l'autobus hybride est plus lourd et plus haut que l'autobus standard. Si tel est le cas, il faudra prendre en compte le coût de ces modifications, telles que la capacité des vérins, la hauteur des portes, la hauteur des laveurs d'autobus, l'espace libre entre les vérins et la structure du toit...).

### 2.1.9 Sondage auprès des chauffeurs et de la clientèle

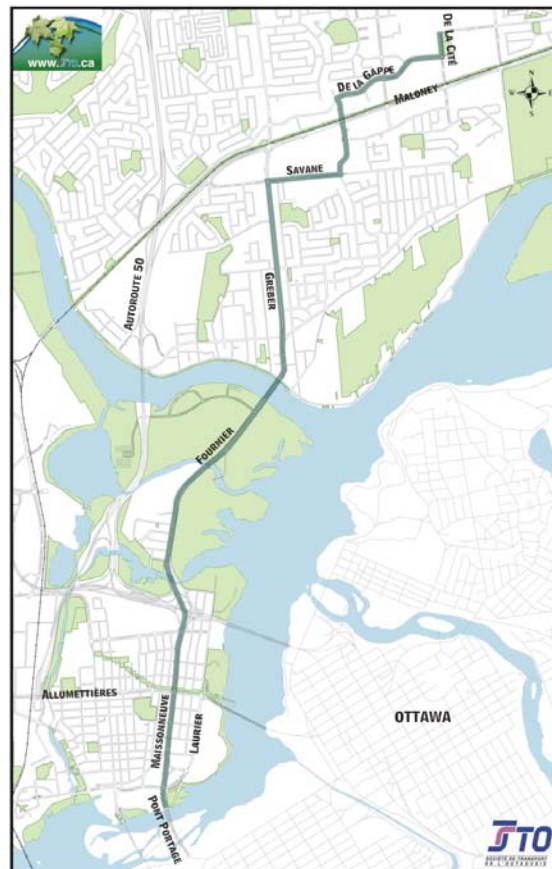
Un sondage a été effectué auprès des chauffeurs du CT LaSalle afin d'obtenir leurs réactions au sujet de leurs expériences de conduite sur les autobus hybrides.

La clientèle des autobus hybrides de la STM a également été sondée. Cette enquête a été réalisée au cours de l'hiver 2009.

## 2.2 Ligne verte – Approche méthodologique

Le projet de la **Ligne verte** consiste à étudier, dans un corridor de la ville de Gatineau, l'impact environnemental de l'intégration de mesures préférentielles et de systèmes de transport intelligents ainsi que l'application de la technologie à propulsion hybride diesel-électrique. Toutes ces mesures visent un transfert modal de l'automobile vers le transport collectif pour ainsi réduire les émissions de GES.

**Figure 2-5 Plan corridor de la Ligne verte**



Le corridor choisi par la STO pour mettre en œuvre ces mesures est celui de l'axe des boulevards Gréber / Fournier / Maisonneuve / Pont Portage / Ottawa, appelé également « corridor Gréber ». Ce corridor, d'une longueur de 9 kilomètres, est illustré à la Figure 2-5. Il comporte 49 arrêts et neuf approches d'intersection étaient déjà munies, avant de débiter cette étude, de mesures prioritaires pour autobus. Il est desservi par trois lignes régulières et sept lignes express qui effectuent environ 50 voyages à l'heure durant la période de pointe du matin. On compte environ 10 000 déplacements par jour sur cet axe.

Dans le cadre du PDTU, différentes mesures ont été mises en œuvre sur ce corridor afin d'accroître la part modale du transport en commun. Ces mesures comprennent :

- Des voies réservées pour autobus;
- Des mesures prioritaires aux feux de circulation;
- La mise en valeur des abribus et arrêts;
- Un panneau à messages variables;
- Des places de stationnement incitatif;
- Des autobus à propulsion hybride.

En plus des mesures prioritaires pour autobus, la technologie hybride était également à l'essai sur ce corridor. En effet, deux autobus à propulsion hybride et sept à propulsion diesel standard de même modèle, tous équipés d'un système d'acquisition de données, circulaient sur ce corridor. Les sociétés de transport collectif sont à la base des organismes prônant le développement durable en offrant à la population un mode de transport ayant moins d'impact sur l'environnement que l'automobile. L'ensemble des mesures mises en place dans le cadre du PDTU contribue à propager une image encore plus « verte » de la STO. Il va sans dire que les autobus hybrides jouent un rôle primordial dans la mise en valeur générale de l'image des transports en commun auprès de la population.

Les mesures clés du projet de la Ligne verte et l'évaluation des performances de ces mesures sont identifiées à la Figure 2-6 qui suit. La localisation des voies réservées, des feux prioritaires et des abribus est montrée à la Figure 2-7.

**Figure 2-6 Schématisation du projet Ligne verte de la STO**

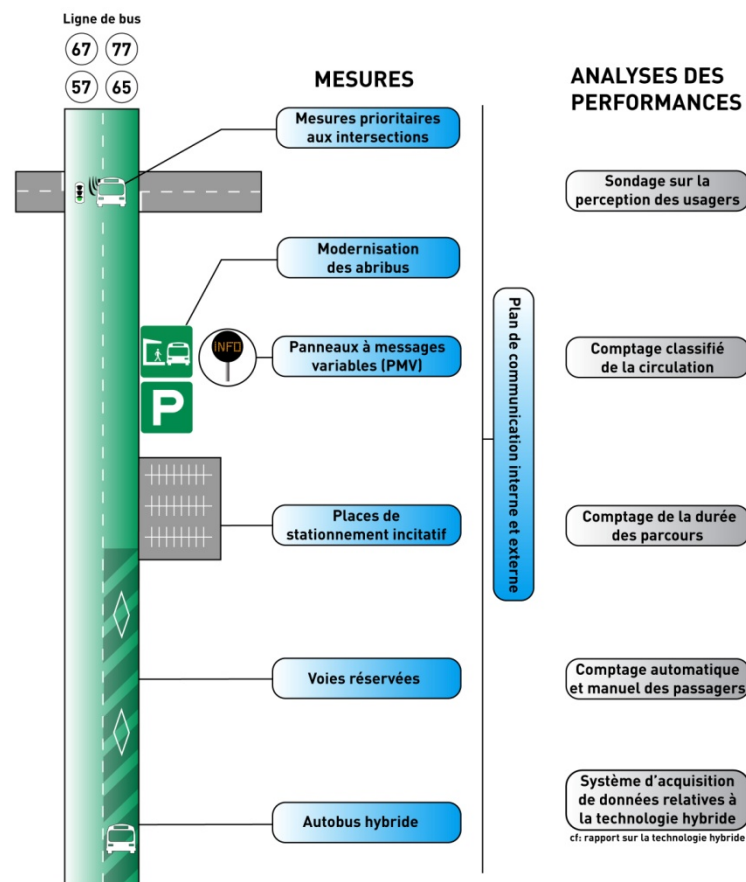


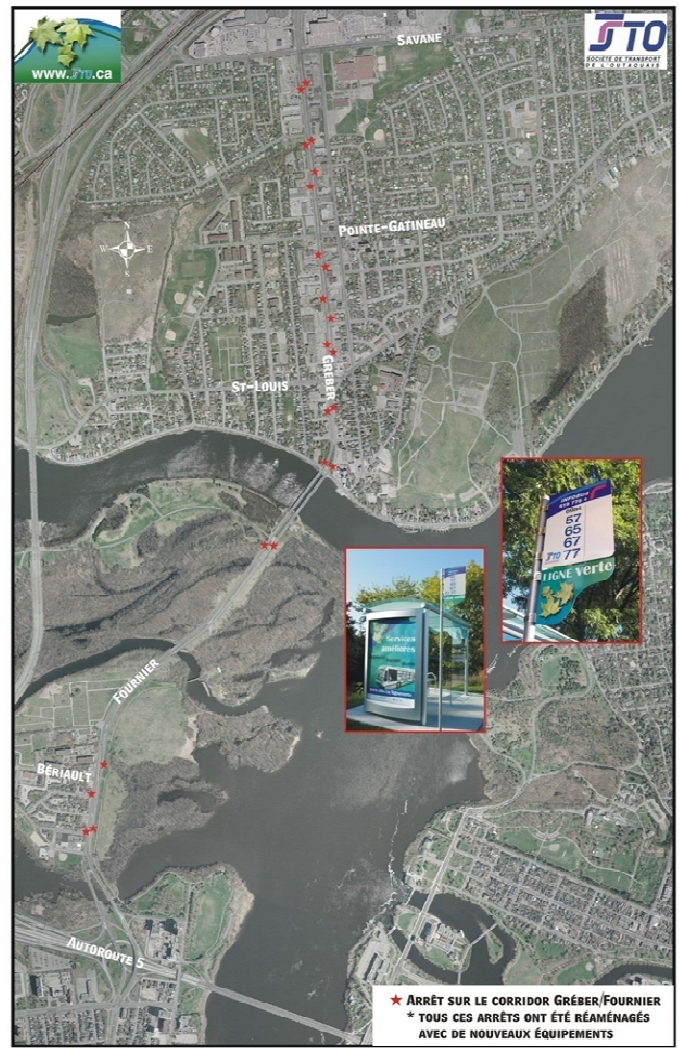


Figure 2-7 Localisation des mesures préférentielles et des abribus de la Ligne verte

Mesures prioritaires



Arrêts d'autobus sur le corridor



Les différentes mesures mises en place par la STO pour accroître la part modale du transport collectif sont décrites ci-après. Par la suite, les moyens d'évaluation de la performance de la Ligne verte sont expliqués. **Pour de plus amples détails, consultez le rapport technique sur la Ligne verte.**

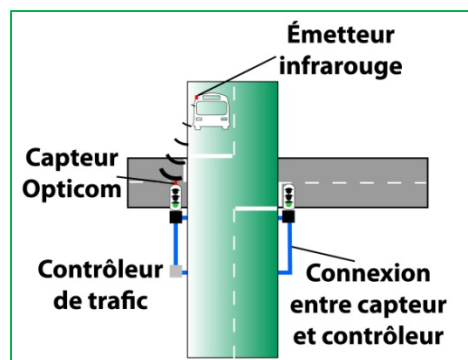
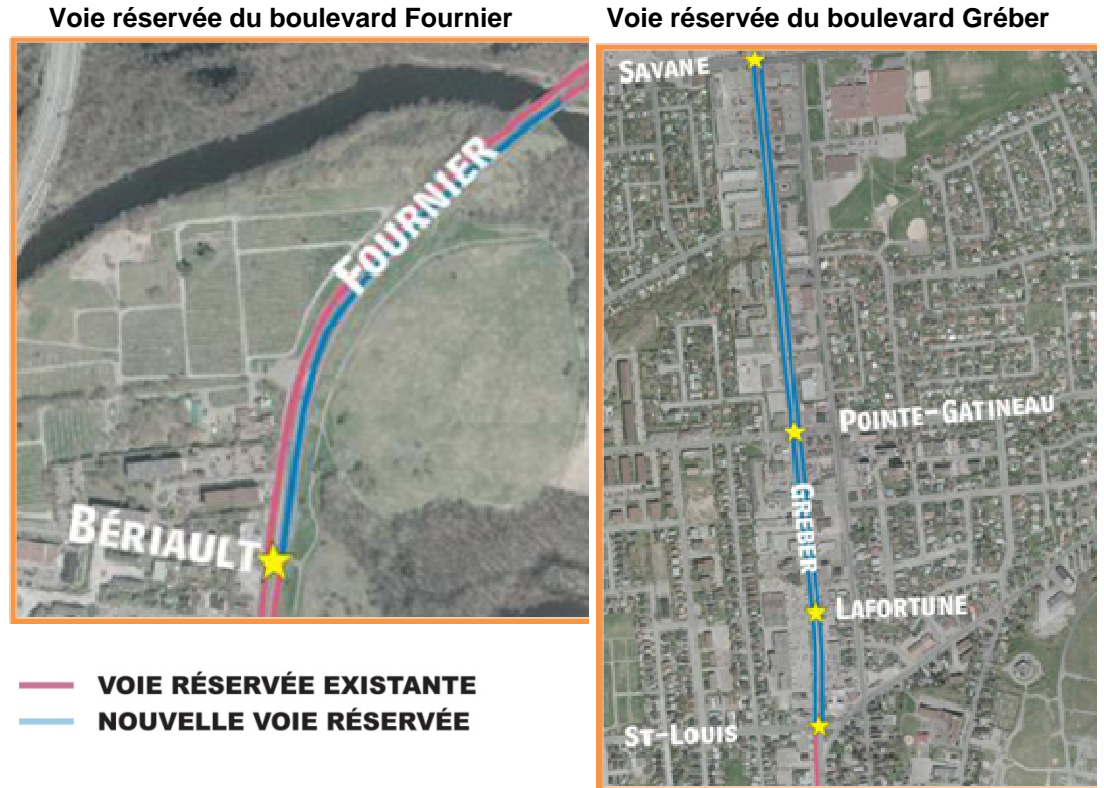
**2.2.1 Implantation de la voie réservée et des mesures prioritaires pour autobus**

Dans le cadre du projet de la Ligne verte, la STO a implanté des voies réservées pour autobus, taxis et véhicules particuliers de trois occupants ou plus, suivies de mesures prioritaires pour autobus aux carrefours à feux entre les rues de la Savane et Bériault (Figure 2-7). Le but poursuivi par ces mesures est d'assurer un service plus régulier et plus rapide pour une incitation au transfert modal dans une perspective finale de réduction des émissions de GES.

Les voies réservées permettent de fiabiliser les horaires des autobus et de réduire les temps de parcours. Une voie réservée a ainsi été créée sur l'accotement du boulevard

Fournier entre deux sections de voies réservées existantes. La voie réservée sur le boulevard Gréber correspond à la conversion de la voie de rive dans chaque direction. (Voir Figure 2-8).

**Figure 2-8 Voies réservées dans le corridor Gréber**



La priorisation active des feux de circulation correspond à un système de détection à distance des autobus dans la circulation, par l'ajout d'émetteurs et de récepteurs dans les autobus et dans les contrôleurs.

**Dans le corridor Gréber, sept feux de circulation ont été équipés de ce système, tel qu'il est illustré à la**

Figure 2-9. Cette mesure conduit à une modification de la programmation des contrôleurs de feux pour prioriser le passage des autobus afin de faciliter le déplacement des autobus à travers les carrefours à feux. Cette priorisation a été mise en place de façon à être la plus conciliante possible entre la priorité du transport en commun et la fluidité de la circulation. La coordination des feux de circulation est respectée afin de minimiser les impacts sur les automobilistes.



**Figure 2-9 Localisation des feux de circulation avec priorisation**



### 2.2.2 Mise en place de stationnement incitatif et mise en valeur des abribus

La création de places de stationnement incitatif et l'amélioration des arrêts d'autobus permettent de répondre à une demande exprimée par la clientèle et de plus, favorisent le transfert modal en assurant un niveau de confort plus important lors de la période d'attente de l'autobus.

L'aménagement de places de stationnement incitatif vise l'utilisation des terrains de stationnement existants sous-utilisés durant le jour (tels que des parcs de stationnement municipaux, commerciaux et institutionnels) pouvant servir aux usagers du transport collectif. Ainsi, des ententes avec les propriétaires du stationnement ont été réalisées et une signalisation adéquate a été installée. Quelque 160 nouveaux espaces de stationnement incitatif pour les usagers du transport en commun ont ainsi été créés dans le secteur de la Cité (voir Figure 2-10).

La mise en valeur des abribus consiste à valoriser le corridor de la Ligne verte auprès de la clientèle afin de promouvoir l'image corporative de la STO et l'image des transports en commun en général. L'éclairage a été rehaussé et le confort des abribus a été amélioré par la mise en place de nouveaux bancs. Tous les arrêts le long du corridor ont été maquillés aux couleurs de la Ligne verte par l'installation de poteaux, de module d'information, de panneau d'arrêt d'autobus particulier. La localisation de ces arrêts est indiquée à la Figure 2-11.

Figure 2-10 Stationnement incitatif de la Cité



Figure 2-11 Arrêts réaménagés aux couleurs de la Ligne verte



De plus, un panneau à messages variables a été mis en place au terminus des Promenades afin d'offrir à l'ensemble de la clientèle une information en temps réel. Ce panneau indique l'heure de passage des deux prochains autobus et l'heure réelle. La **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** illustre la localisation du panneau à messages variables.

À la suite des mesures qui viennent d'être présentées, la STO a procédé à l'évaluation de l'atteinte des objectifs de réduction des émissions de GES. Il s'agit ici d'être en mesure d'évaluer le transfert modal de l'automobile vers le transport collectif. Pour ce faire, des analyses des performances ont été réalisées au moyen de comptages, d'une enquête de temps de parcours et d'un sondage auprès de la clientèle. Ces moyens d'évaluation sont décrits ci-après.

### 2.2.3 Comptages automatiques de passagers

Le premier mode d'évaluation consiste en la mise en place d'un système automatisé de comptage des passagers. Cet outil technologique a été installé à bord de dix-huit autobus en novembre 2008, soit sur les neuf autobus circulant sur la Ligne verte (lignes 57, 65, 67 et 77) ainsi que sur neuf autres autobus circulant sur divers circuits de la STO.

Antérieurement, les montées et les descentes étaient évaluées une fois par année pour l'ensemble du réseau. Ce comptage était effectué à l'aide d'employés (pointeurs) à bord des autobus.

Le système de comptage automatique des passagers permet d'« **assurer un suivi périodique sur les charges** » en mesurant au moins une fois par mois l'achalandage de chacun des voyages offerts par la STO à sa clientèle. Ces informations permettent ainsi un ajustement encore plus précis de l'offre de service. Le système de comptage de passagers comprend des équipements à bord des autobus ainsi qu'un logiciel de traitement de données.

Après un essai en août 2008 sur trois autobus, les compteurs ont été installés en novembre 2008 sur quinze nouveaux véhicules et fonctionnent adéquatement. Ils permettent de mesurer :

- Le profil de ligne;
- La charge maximum des voyages;
- Le point de saturation des voyages;
- Les voitures effectuées et restantes à relever;
- La proportion du nombre d'arrêts rencontrés sur le parcours relevé;
- La vitesse commerciale entre chaque arrêt ou par tronçon.

Les résultats sont représentés sous forme de tableaux et graphiques. Le logiciel permet l'impression des résultats ainsi que l'exportation des données vers l'application de cartographie (logiciel Arc GIS).

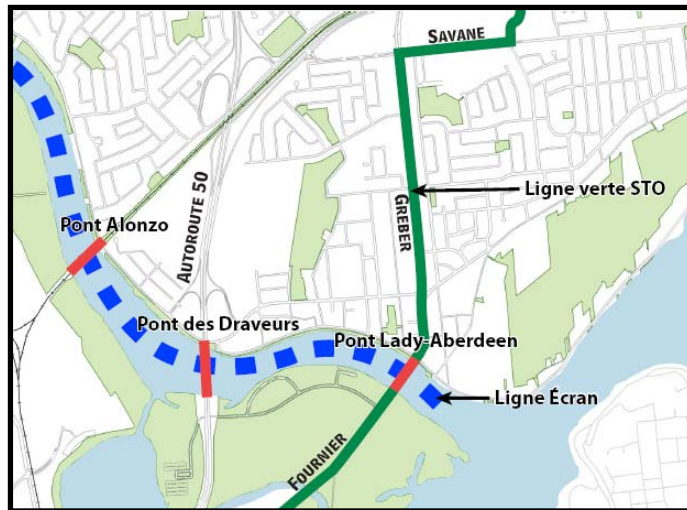
Cependant, il est à noter que l'analyse des résultats liée à l'extraction des données n'a pas encore atteint un stade opérationnel. Cela devrait être le cas d'ici début 2010.

Les comptages automatiques de passagers ont donc été validés par des comptages manuels. Un comptage spécifique a en effet été entrepris durant l'été 2008 sur le corridor de la Ligne verte dans un objectif précis de validation des comptages automatiques. De plus, les comptages annuels habituels du réseau de la STO au cours des hivers 2008 et 2009, qui incluent donc le corridor de la Ligne verte, ont également servi à la validation.

### 2.2.4 Comptages manuels classifiés

Des comptages manuels classifiés de véhicules ont été effectués sur la ligne écran de la rivière Gatineau, soit aux trois ponts identifiés sur la Figure 2-12. Ces comptages ont permis d'évaluer les variations des débits par type de véhicule et les taux d'occupation avant et après l'implantation des aménagements sur la Ligne verte.

**Figure 2-12 Localisation des comptages classifiés**



Les objectifs des comptages classifiés étaient les suivants :

- Obtenir le nombre de déplacements entre le secteur de Gatineau et les centres-villes (secteurs de Hull et d'Ottawa) pour les différentes périodes d'analyse;
- Obtenir le mode de déplacements et les parts modales entre le secteur de Gatineau et les centres-villes pour les différentes périodes d'analyse;
- Évaluer l'évolution des déplacements et voir si la mise en place des mesures prioritaires a permis d'augmenter la part modale du transport en commun;
- Estimer la réduction des GES attribuable aux interventions réalisées.

### 2.2.5 Enquête de temps de parcours

Une enquête de temps de parcours a été réalisée sur les boulevards Gréber et Fournier (voir Figure 2-13) au moyen de données GPS compilées par des systèmes à bord des autobus. Les temps de parcours ont été mesurés avant et après l'implantation des voies réservées et des mesures prioritaires aux feux de circulation afin d'évaluer l'impact de ces mesures sur la vitesse pratiquée.

**Figure 2-13 Localisation du tronçon analysé pour l'enquête de temps de parcours**



### 2.2.6 Stratégie de communication

Afin d'attirer la clientèle au projet de la Ligne verte, une stratégie de communication s'imposait. Les objectifs poursuivis par la stratégie de communication sont les suivants :

- Produire une image, une identité au projet et la faire connaître : autobus hybrides, Ligne verte, « Une primeur au Québec », « Vert une ville toujours plus propre »;
- Faire connaître les objectifs du PDTU tout en expliquant le projet et ses avantages pour les usagers et la population (recours aux relations avec les médias, efforts publicitaires, création du site Web);
- Influencer la réceptivité des avantages du projet auprès des clientèles précises.

Un **plan de communication** a été mis en place. Il fournit de l'information à la population et à la clientèle sur la nature et l'évolution du projet au moyen d'activités de communication externe telles que :

- Organisation d'une conférence de presse afin d'inaugurer les infrastructures aménagées dans le cadre du PDTU;



- Coordination des relations avec les partenaires gouvernementaux et d'affaires;
- Réalisation des activités de communication consistant à faire connaître le projet et la mise en service des autobus hybrides;
- Production d'un DVD interactif relatant les grandes lignes du projet STO-STM;
- Réalisation d'un vidéoclip présentant les activités du projet et dévoilant les résultats obtenus.

De plus, un **plan marketing** a été réalisé afin de donner une visibilité et une signature positive et attrayante au projet. Les activités réalisées en ce sens sont les suivantes :

- Planification des activités de marketing et des activités d'affaires publiques;
- Participation à divers événements publics à Gatineau;
- Tenue de kiosque d'information et présentation du véhicule;
- Promotion des aménagements dans le corridor pour provoquer le transfert modal escompté (concours, publicité journaux et télé);
- Concours visant à promouvoir le transport en commun auprès de la population et des commerçants le long du corridor de la Ligne verte.

Finalement, un **plan de communication interne** à la STO a aussi été élaboré. Tout au long du projet PDTU, les employés de la STO ont été informés de l'avancement du projet par les communications internes ainsi que le journal corporatif.

### 2.2.7 Sondage auprès des usagers

La perception de la clientèle sur les mesures mises en place dans le cadre du Programme de démonstration en transport urbain a un impact important sur la portée des mesures visant la réduction des émissions de GES du réseau de la STO. Dans un souci d'amélioration continue de son service, de rétention de sa nouvelle clientèle et de mesure de satisfaction de sa clientèle, la STO a fait l'évaluation de cette perception par le biais d'un sondage adressé aux usagers de la Ligne verte. Cette enquête d'usage et d'attitude a eu lieu en automne 2008.

Le but du sondage est de connaître l'opinion des usagers face au transport en commun ainsi que des améliorations mises en place dans le cadre du PDTU. Cette évaluation permet à la STO d'identifier le niveau de satisfaction de la clientèle et de s'assurer que les mesures implantées contribuent à augmenter la qualité de son service, à attirer une nouvelle clientèle et à fidéliser la clientèle existante.

## 3 Analyse des résultats - Technologie hybride

Les résultats d'analyse sont généralement présentés en termes de consommation de carburant. Cette donnée a été mesurée durant tous les essais afin de comparer la performance des véhicules hybrides aux véhicules à diesel standard. Les émissions de GES sont directement proportionnelles à la consommation de carburant. Dans le cas du diesel, un litre de diesel consommé par un autobus émet environ 2,7 kg de GES. Une diminution de consommation de carburant représente donc une réduction des GES dans des proportions similaires. **Pour plus de détails sur les résultats, consultez le rapport technique sur la technologie hybride.**

La technologie hybride a été comparée à la technologie diesel standard selon trois types d'essais :

- Les essais aux laboratoires d'Environnement Canada;
- Les essais contrôlés sur piste;
- Les essais en service clientèle comptabilisés durant une année.

Les résultats sont présentés dans les sections qui suivent.

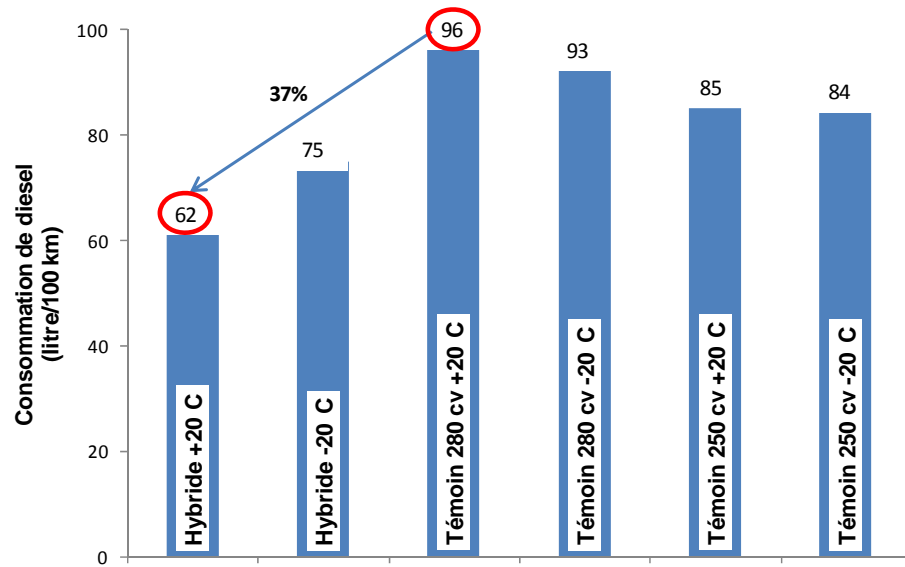
### 3.1 Résultats des essais aux laboratoires d'Environnement Canada

Les résultats obtenus aux laboratoires d'Environnement Canada ont été les premières données de comparaison obtenues au cours du projet PDTU. Ces essais ont permis de mesurer les concentrations de gaz polluants des autobus hybrides et témoins de la STM et de la STO.

Dix essais ont été réalisés sur le parcours normalisé « Manhattan » selon des conditions de température et de configuration d'autobus variables. Ces essais se sont déroulés à une vitesse moyenne d'environ 10 km/h et la vitesse maximale atteinte est d'environ 41 km/h. Le nombre d'arrêts moyen s'établit à sept par kilomètre parcouru. Il est important de noter que c'est un employé d'Environnement Canada qui opère l'autobus; bien que ce dernier tente de reproduire les mêmes accélérations et les mêmes conditions d'un autobus à l'autre, il en découle une légère erreur dans les résultats. Les valeurs obtenues ne sont donc pas des valeurs absolues.

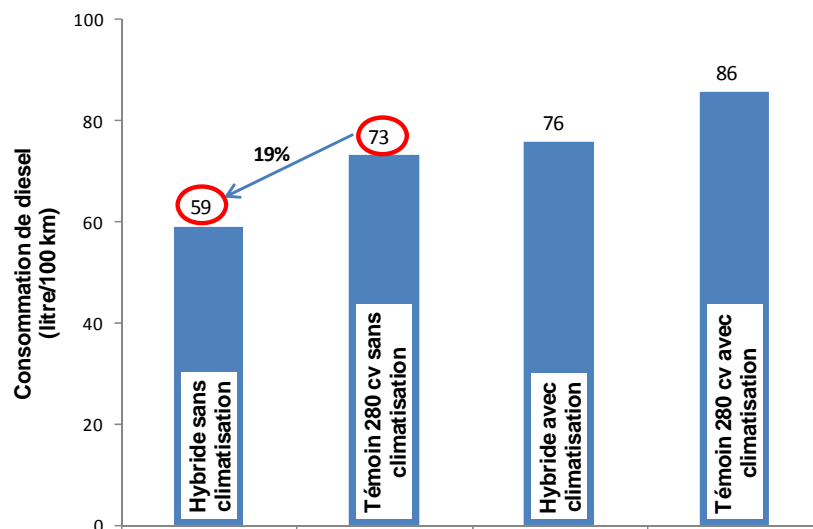
La comparaison de la consommation de carburant entre les autobus hybrides et témoins de la STM est présentée à la Figure 3-1 alors que les résultats des autobus de la STO sont exposés à la Figure 3-2.

**Figure 3-1 Consommation de carburant des autobus de la STM – Résultats des essais aux laboratoires d’Environnement Canada**



On peut remarquer qu’à une température de +20 °C, l’autobus hybride de la STM a consommé 37 % moins de carburant que l’autobus témoin, soit 62 litres/100 km comparativement à 96 litres/100 km. On observe également que la température extérieure joue un rôle sur la performance des autobus hybrides. La consommation de carburant de l’autobus hybride passe de 62 litres/100 km à +20 C à 75 litres/100 km à -20 C. Cette variation est beaucoup plus faible pour les autobus témoins. La différence du taux de consommation de carburant selon la température peut s’expliquer par une diminution potentielle de la performance de la batterie de l’autobus hybride, par le taux d’utilisation du ventilateur hydraulique et/ou par la performance même du moteur<sup>4</sup>.

**Figure 3-2 Consommation de carburant des autobus de la STO – Résultats des essais aux laboratoires d’Environnement Canada**



<sup>4</sup> Pour les essais, le système de chauffage d’appoint est désactivé afin de ne pas fausser les valeurs de consommation de carburant.

Dans le cas des autobus de la STO, l'autobus hybride a consommé 59 litres/100 km (sans climatisation) comparativement à 73 litres/100 km dans le cas de l'autobus témoin, soit une réduction de 19 %. On constate que cette économie de carburant est plus faible que dans le cas des autobus de la STM où l'autobus hybride a consommé 37 % moins de carburant que l'autobus témoin. Cette différence importante entre les économies de carburant réalisées par les autobus hybrides de la STM, comparativement aux autobus hybrides de la STO, est le résultat de la calibration des tandems moteurs Cummins et transmission Allison EP40.

En effet, puisque les moteurs de génération EPA 2002 sont relativement polluants par rapport aux moteurs de la génération EPA 2007, les compagnies Allison et Cummins ont choisi de calibrer le système hybride de cette génération pour optimiser la réduction des PAC. Par ailleurs, puisque les moteurs de génération EPA 2007 ont été conçus pour réduire de façon significative les émissions de PAC, les compagnies Allison et Cummins ont choisi de calibrer cette génération de système hybride de façon à optimiser les économies de carburant et la réduction conséquente des GES.

Les essais avec les autobus de la STO ont également permis de mesurer l'impact de la climatisation sur la consommation de carburant des autobus hybrides et témoins. Dans le cas des autobus hybrides de la STO, l'activation de la climatisation a résulté en une augmentation de 12 % de la consommation de carburant, alors que cette augmentation était de 17 % dans le cas des autobus réguliers de la STO. Il est important de mentionner que lors de ces essais, la climatisation était à pleine capacité, soit à 100 % durant toute la période de l'essai. Ceci n'est pas représentatif des conditions réelles, où la climatisation est plutôt intermittente, répondant au taux de refroidissement demandé.

Cette démarche a aussi permis de mesurer la consommation de carburant sur un long trajet avec une vitesse moyenne élevée et peu d'arrêts. Par exemple, pour le trajet Montréal-Ottawa, une distance de 230 km, en saison froide et à une vitesse moyenne de 100 km/h, la consommation des autobus a été d'environ 30 litres/100 km sans égard au type hybride ou témoin. Ceci confirme ce que l'on retrouve dans la documentation au sujet des systèmes de propulsion hybride :

- Ils procurent une réduction de la consommation en carburant lorsque la vitesse est faible et les arrêts sont fréquents;
- Ils ont peu d'impacts à vitesse élevée sur de longs trajets avec peu ou pas d'arrêts.

## 3.2 Résultats des essais contrôlés sur piste

Des essais contrôlés sur piste ont été effectués au Centre d'essais PMG à Blainville, en août 2008, avec les autobus de la STM seulement. Lors de ces essais, il a été constaté que la consommation de carburant de l'autobus hybride augmentait graduellement en fonction du nombre d'arrêts par kilomètre et de la charge embarquée.

Bien que les résultats obtenus avec l'autobus témoin présentent les mêmes tendances, ils démontrent que le niveau d'accélération exercé par le conducteur avait beaucoup plus d'impact sur un autobus standard que sur un autobus hybride. Cette variation a faussé les données recueillies sur l'autobus standard et rendu impossible l'analyse des données relatives aux différents facteurs étudiés. Par ailleurs, les essais permettent de conclure que l'impact du niveau d'accélération sur la consommation de carburant est plus important dans le cas des autobus standard que des autobus hybrides.

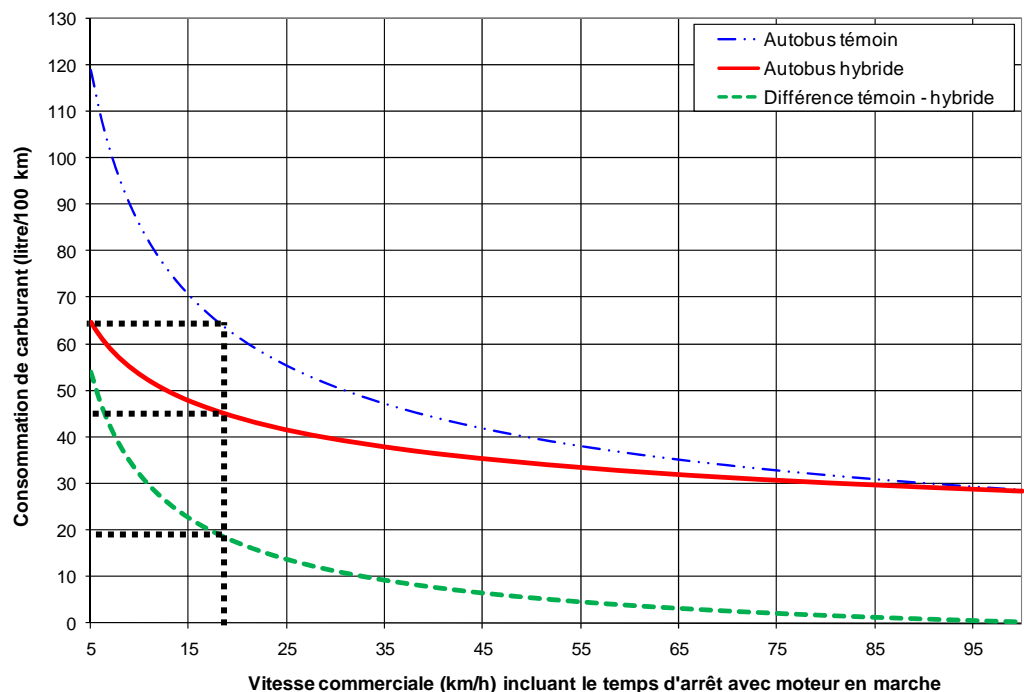
### 3.3 Analyse de la technologie hybride en service clientèle

Plusieurs paramètres tels que la vitesse moyenne, le nombre d'arrêts par kilomètre, la température extérieure et le taux d'accélération ont été observés à l'aide des outils d'acquisition des données. La variation de ces paramètres a été analysée en fonction de la consommation de carburant. Les graphiques qui suivent montrent les principaux résultats obtenus après un an d'essai en service clientèle.

La Figure 3-3 illustre la consommation de carburant en fonction de la vitesse moyenne pour les autobus hybrides et témoins de la STM. On peut remarquer qu'à une vitesse de **18 km/h** :

- La consommation de carburant est de 65 litres/100 km pour l'autobus témoin, alors qu'elle est de 45 litres/100 km pour l'autobus hybride;
- La réduction de la consommation de carburant est substantielle : une réduction de 20 litres/100 km, soit **de 30 %**;
- En contrepartie, lorsque la vitesse tend vers 100 km/h, les deux types d'autobus affichent une consommation très similaire. Cette situation représente les conditions de déplacement sur autoroute où les avantages de l'autobus hybride sont beaucoup moins significatifs qu'en milieu urbain.

**Figure 3-3 Consommation de carburant des autobus en fonction de la vitesse moyenne – Autobus Nova Bus 2008 (la consommation du système de chauffage d'appoint n'est pas incluse)**



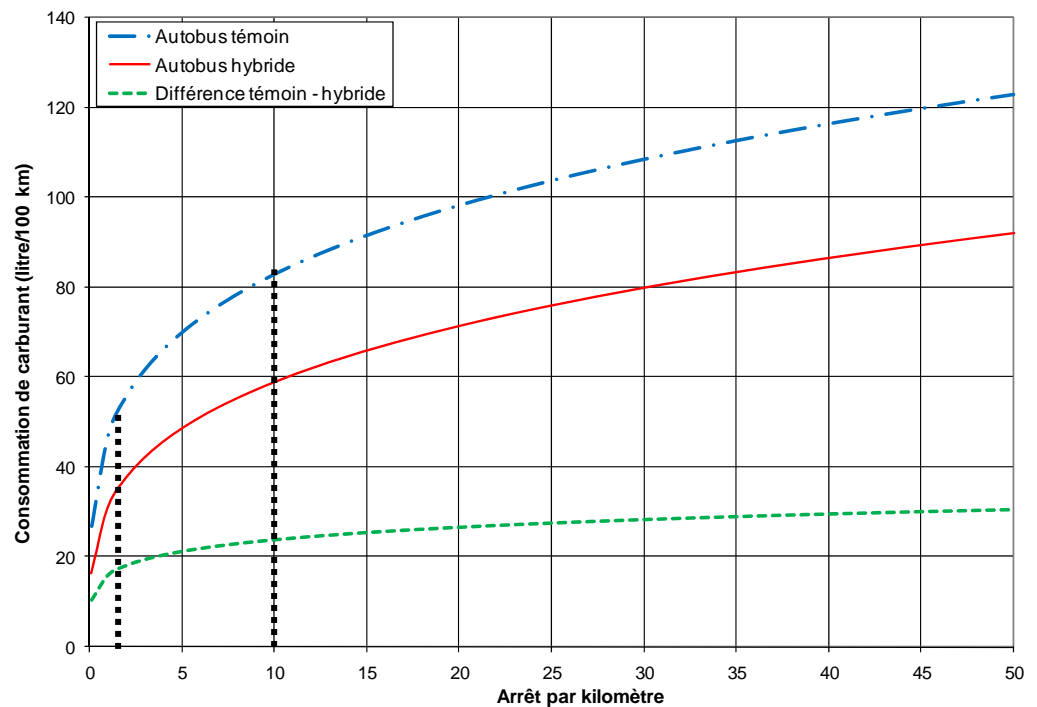
**Note :** Moyenne des résultats récoltés sur une année, avec une vitesse moyenne d'environ 18 km/h, une température minimale de -28,5 °C, une température maximale de 33,4 °C et une température moyenne de 6,6 °C ainsi que 34 % de temps ralenti. Cette courbe s'applique pour des autobus sans air climatisé et avec transmission ZF sur les témoins. Les valeurs présentées sont des moyennes et non des valeurs absolues.

Notons que la consommation de carburant inclut seulement le carburant utilisé par le moteur à combustion interne de propulsion. Elle fait exclusion de la consommation de carburant du système de chauffage d'appoint au diesel, laquelle est incluse à la Figure 3-5.

La Figure 3-4 montre la consommation de carburant en fonction du nombre d'arrêts par kilomètre pour les véhicules hybrides et standard de la STM. L'économie de carburant de l'autobus hybride par rapport à l'autobus témoin est très faible lorsqu'il n'y a aucun arrêt, mais augmente très rapidement lorsque le nombre d'arrêts augmente. Pour un nombre d'arrêts par kilomètre variant entre deux et dix, soit ce qui est généralement observé pour des circuits de transport collectif en milieu urbain, l'autobus hybride consomme aux alentours de 20 litres/100 km de moins que l'autobus témoin.

De manière générale, le service de passagers ne fait habituellement pas plus de dix arrêts par kilomètre pour les embarquements et débarquements de clients. Ce graphique indique tous les arrêts comptabilisés, même lorsque l'autobus se déplace seulement de quelques mètres à la fois, comme il le fait parfois en condition de congestion ou dans les voies de stationnement.

**Figure 3-4 Consommation de carburant en fonction du nombre d'arrêts par kilomètre – Autobus Nova 2008**



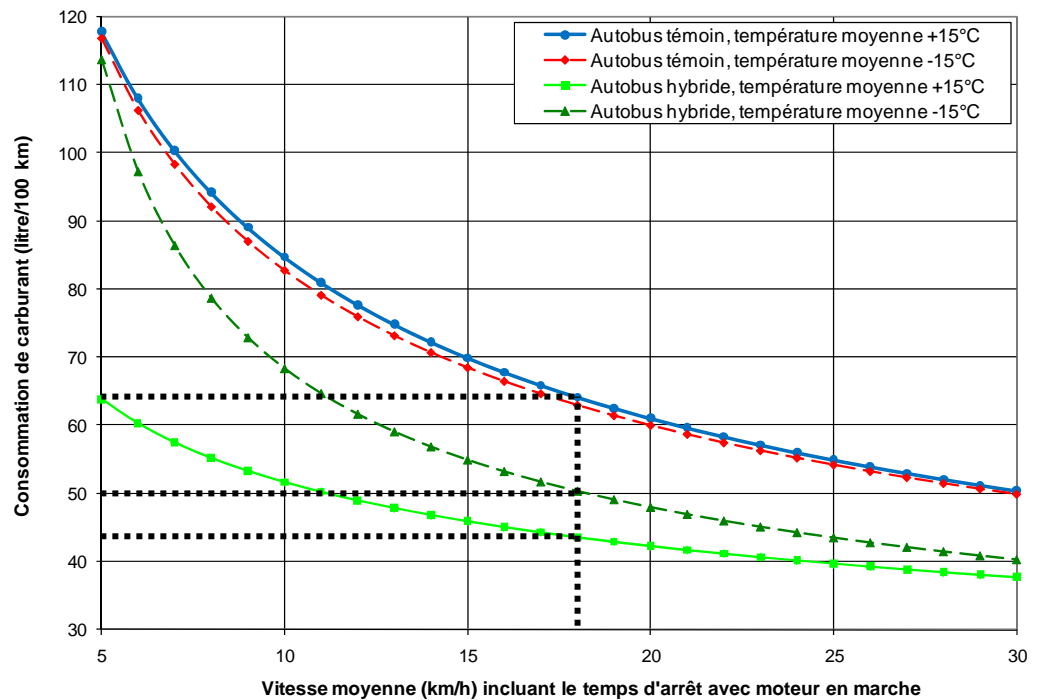


La Figure 3-5 présente la consommation de carburant en fonction de la vitesse moyenne à des températures de +15 °C et -15 °C pour les autobus hybrides et témoins de la STM.

On peut observer que la variation de la consommation de carburant selon la température extérieure est plus importante pour l'autobus hybride que pour l'autobus témoin. Par exemple, à une vitesse de 18 km/h, l'autobus hybride consomme 43 litres/100 km à +15 °C alors qu'il consomme 50 litres/100 km à -15 °C, soit une augmentation de 7 litres/100 km. Dans le cas des autobus témoins, la consommation de carburant est pratiquement identique à ces deux températures, soit 64 litres/100 km.

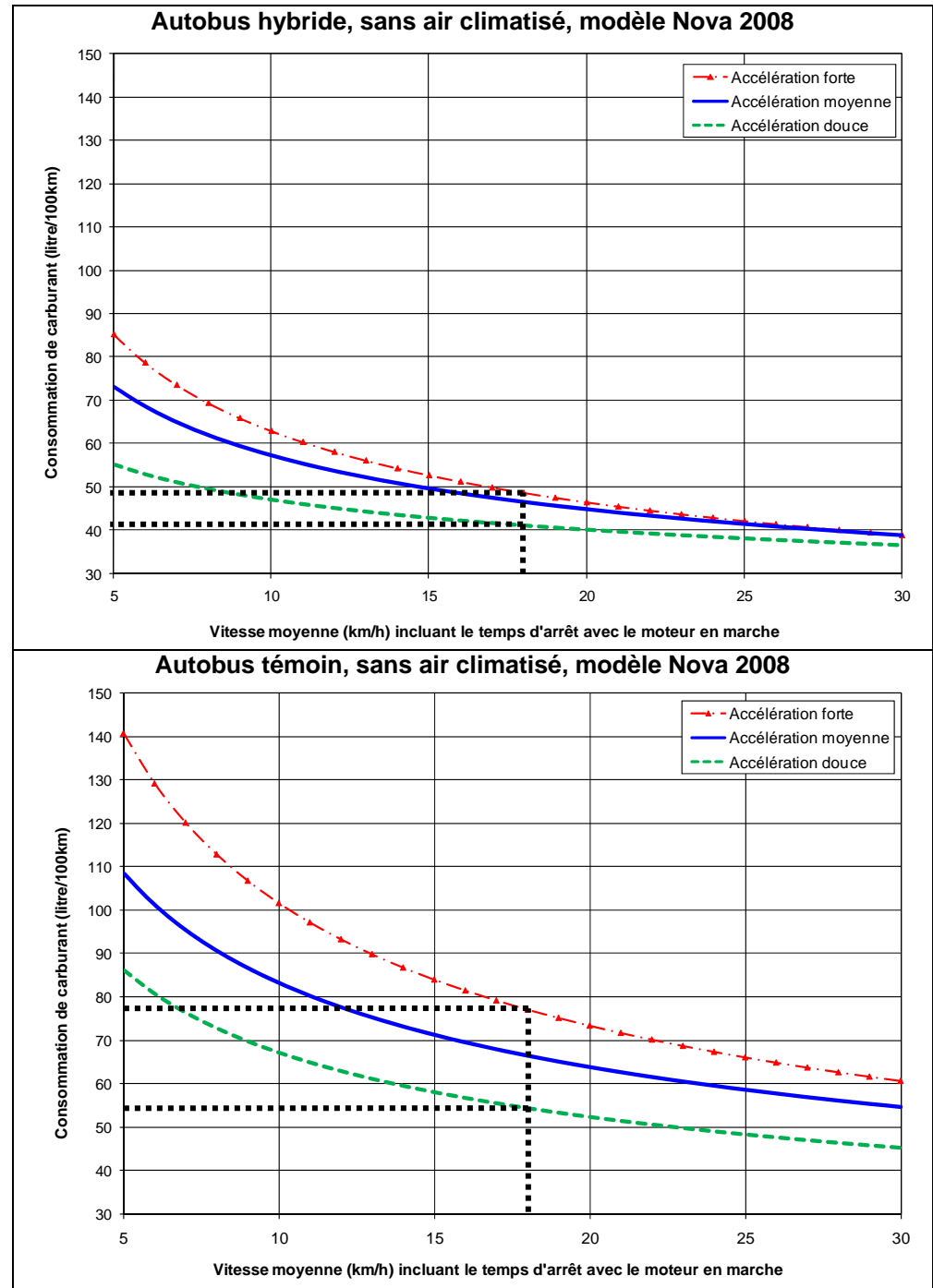
Sur cette différence de 7 litres/100 km observée pour les autobus hybrides, la consommation du chauffage d'appoint à elle seule compte pour environ 3 litres/100 km. Cela s'explique par le fait que le moteur thermique de l'autobus hybride est beaucoup moins sollicité à basse vitesse que celui opéré dans un autobus standard, ce qui génère moins de chaleur et sollicite plus le chauffage d'appoint. De plus, l'efficacité des batteries de l'hybride est diminuée par les basses températures, ce qui fait en sorte qu'à -15 °C, le moteur thermique de l'hybride travaille plus qu'à +15 °C; il compense ainsi la baisse de performance du système hybride en température plus froide. Cet aspect explique le reste de l'augmentation totale de consommation.

**Figure 3-5 Consommation de carburant de l'autobus et du chauffage d'appoint en fonction de la vitesse moyenne et de la température extérieure – Autobus sans air climatisé hybride et témoin Nova 2008**



La Figure 3-6 illustre la consommation de carburant en fonction de la vitesse moyenne et du niveau moyen d'accélération pour les autobus hybrides et témoins de la STM. Ces courbes démontrent que le niveau d'accélération a un impact sur la consommation de carburant, et ce, pour les autobus hybrides et témoins. Une accélération forte de la part du chauffeur génère une plus grande consommation de carburant.

**Figure 3-6 Consommation de carburant en fonction de la vitesse moyenne et du taux moyen d'accélération – Autobus hybride et témoin**



Note : Moyenne des résultats récoltés sur une année, avec une vitesse moyenne d'environ 18 km/h

Par exemple, à une vitesse de 18 km/h, une accélération forte génère une consommation de carburant d'environ 18 % plus élevée qu'une accélération douce, dans le cas de l'autobus hybride. Cette variation est d'environ 42 % plus élevée dans le cas de l'autobus témoin. L'impact est beaucoup moins prononcé dans le cas des véhicules hybrides, car une grande partie de l'énergie requise pour l'accélération provient de l'énergie récupérée lors de la décélération précédente. De plus, la demande de puissance et la révolution du moteur diesel sont contrôlées par l'ordinateur du système hybride afin d'optimiser la consommation de carburant.

En résumé :

- Le niveau d'accélération a beaucoup moins d'influence sur la consommation de carburant de l'autobus hybride que sur celle du véhicule témoin;
- Lorsque le niveau d'accélération est grand, la réduction de consommation de l'autobus hybride par rapport au véhicule témoin est à son meilleur;
- Tous les autobus voient leur consommation réduite lorsque le niveau d'accélération est faible, ce qui réduit l'écart entre l'autobus hybride et l'autobus témoin, mais le véhicule hybride garde tout de même l'avantage.

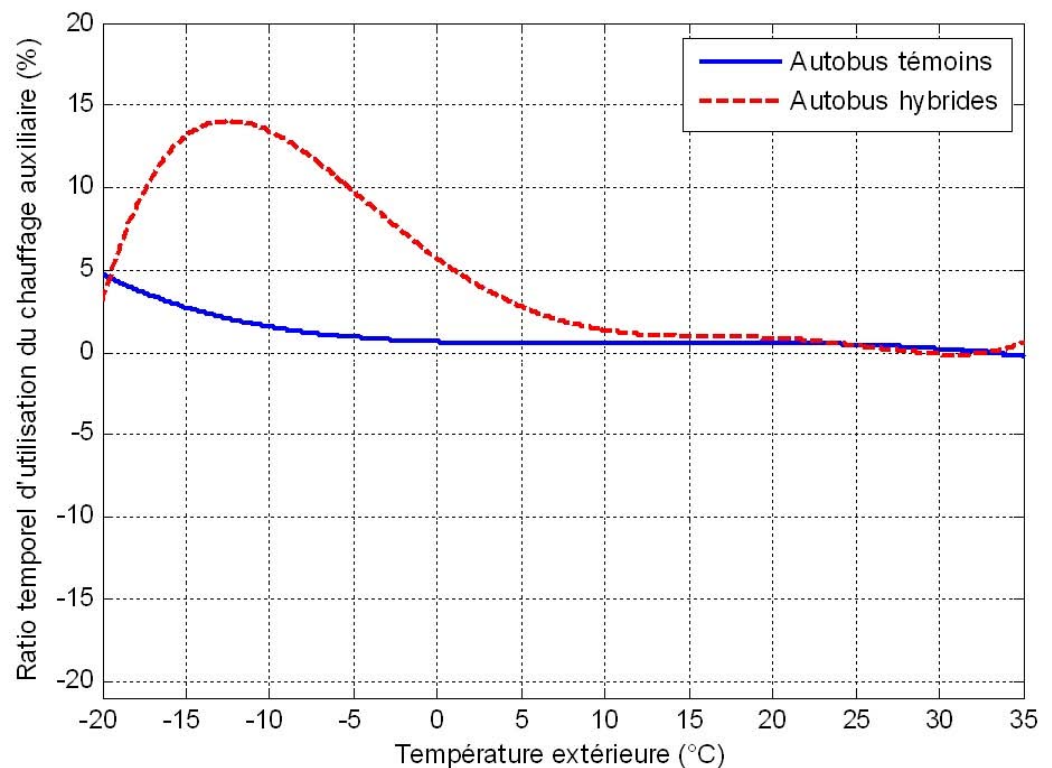
### 3.4 Cycle de vie

En plus de la différence du coût d'achat entre un autobus hybride et un autobus standard, les coûts d'entretien et d'opération diffèrent également pour ces deux types de véhicules. Les principales différences sont expliquées ci-après.

- Les coûts **d'entretien du moteur à combustion interne** devraient être moins élevés pour l'autobus hybride que pour l'autobus standard, puisqu'il est beaucoup moins sollicité en configuration hybride.
- Les coûts **d'entretien des freins** des autobus standard STM et STO devraient être très similaires aux coûts d'entretien des autobus hybride, contrairement à ce que plusieurs exploitants d'autobus hybrides ont noté après avoir mis de tels autobus en service. Ceci s'explique par le mode de fonctionnement du ralentisseur de la transmission des autobus standard dont sont équipés les autobus de la STM et de la STO.
  - Les autobus standard disposent d'un système mécanique interne de ralentisseur dans la transmission. Ils sont configurés pour utiliser ce ralentisseur dès le relâchement de l'accélérateur. Ainsi, les freins sont peu sollicités.
  - Les autobus hybrides sont configurés pour faire ralentir fortement l'autobus dès le relâchement de l'accélérateur afin de récupérer un maximum d'énergie cinétique. La conception du système hybride permet aux moteurs électriques intégrés à la transmission de se transformer en génératrices dès que l'accélérateur est relâché. Ce faisant, ces moteurs créent une force de ralentissement sur les roues motrices. Cette force ralentit l'autobus.
- Coût d'utilisation du **système de chauffage d'appoint**. Une différence notable a été observée concernant l'opération des autobus hybrides et témoins : le taux d'utilisation du chauffage d'appoint est plus élevé entre 0 °C et -15 °C pour les autobus hybrides que les autobus témoins.

La Figure 3-7 illustre le ratio du temps en service pour lequel le chauffage d'appoint au diesel est en utilisation sur les autobus de la STM, en fonction de la température extérieure. On remarque que pour l'autobus témoin, la courbe augmente graduellement à partir d'environ -10 °C alors que l'augmentation commence à partir de +10 °C pour l'autobus hybride. Ce comportement est causé par le fait que le moteur à combustion interne, lorsqu'il est utilisé dans un système de propulsion hybride, est beaucoup moins sollicité que lorsqu'il est utilisé dans une configuration de propulsion standard ; ainsi, dès que la température externe descend sous les -10<sup>0</sup> C, il ne génère pas suffisamment de chaleur pour réchauffer l'habitacle des passagers. Il faut noter que le système de propulsion hybride est calibré afin d'assurer que le moteur à combustion interne fonctionne aux régimes les plus efficaces possible ; son fonctionnement est contrôlé par l'ordinateur de contrôle du système hybride.

**Figure 3-7 Utilisation du chauffage auxiliaire en fonction de la température extérieure - Autobus Nova 2008**



### 3.5 Satisfaction des usagers et des employés

La satisfaction de la clientèle est un facteur non négligeable qui peut favoriser l'utilisation du transport collectif. Dans ce cas-ci, la réduction sonore et la douceur de roulement des autobus hybrides sont deux aspects qui peuvent favoriser le transfert modal de l'automobile vers les transports en commun, conduisant à une réduction importante des GES.

Les réactions des chauffeurs de la STM face à la technologie hybride sont généralement positives. Presque la totalité (94 %) des chauffeurs interrogés croient que les autobus hybrides contribuent à protéger l'environnement. Ils se sentent à l'aise de les conduire

(92 % des cas) et ils sont 86 % à souhaiter qu'il y en ait plus dans le parc de la STM. L'avantage le plus apprécié des autobus hybrides de la part des chauffeurs est la réduction du niveau de bruit, suivie de la douceur de roulement.

Parmi la clientèle interrogée, la très grande majorité (94 %) croit que les autobus hybrides contribuent à protéger l'environnement et la plupart d'entre eux (88 %) souhaitent qu'il y en ait plus dans les parcs d'autobus de la STM. Parmi ceux qui sont montés à bord d'un autobus hybride, 63 % les trouvent plus silencieux que les autobus standard et 54 % trouvent qu'ils roulent plus en douceur.

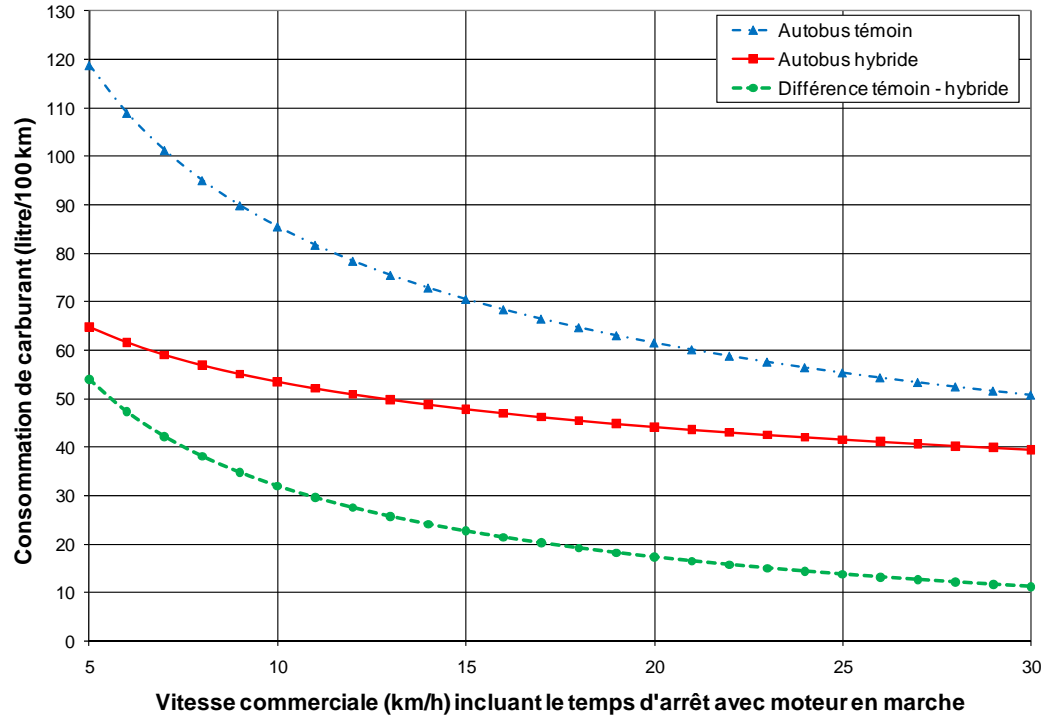
### 3.6 Outil décisionnel

Un gestionnaire de société de transport collectif qui souhaite réduire les émissions de GES produites par les véhicules de son parc d'autobus peut, à l'aide des graphiques présentés dans cette section, estimer le potentiel que lui offrirait la propulsion hybride. Pour ce faire il n'a besoin de connaître que la vitesse moyenne et la consommation totale moyenne des autobus de son parc.

Cette étude a tout d'abord montré qu'à une vitesse de 18 km/h, l'autobus hybride a consommé 30 % moins de carburant que l'autobus standard, tandis qu'à des vitesses de plus de 80 km/h avec peu ou pas d'arrêts, la consommation de carburant de l'autobus hybride est très similaire à celle d'un autobus standard. Les graphiques qui suivent représentent des moyennes des résultats colligés durant sur une année selon les conditions rencontrées à la STM, soit des températures extérieures variant de -28 °C à +33 °C, avec une température moyenne de 6,6 °C, une vitesse commerciale d'environ 18 km/h, une moyenne de 3,8 arrêts/km et 34 % de temps ralenti.

La Figure 3-8 présente la consommation de carburant pour les véhicules hybrides et témoins de type Nova 2008 en fonction de la vitesse moyenne. Dans un milieu fortement congestionné, soit pour une vitesse moyenne de 10 km/h, l'autobus hybride consomme environ 32 litres/100 km de moins que l'autobus standard. À une vitesse moyenne de 30 km/h, soit la vitesse moyenne dans des villes moyennement denses ou dans des banlieues, l'autobus hybride consomme environ 11 litres/100 km de moins que l'autobus standard.

**Figure 3-8 Consommation de carburant en fonction de la vitesse moyenne pour des vitesses variant de 5 à 30 km/h – Autobus hybride et témoin modèle NOVA 2008, sans climatisation**

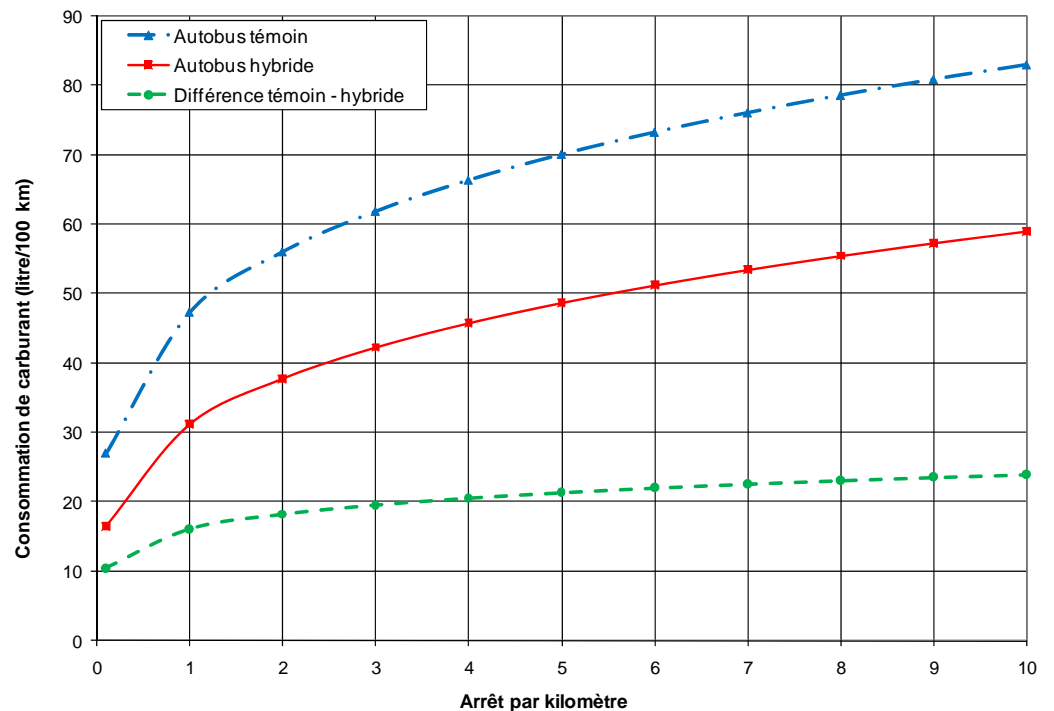


Note : Moyenne des résultats récoltés sur une année, avec une vitesse moyenne d'environ 18 km/h, une température minimale de -28,5 °C, une température maximale de 33,4 °C et une température moyenne de 6,6 °C ainsi que 34 % de temps ralenti. Cette courbe s'applique pour des autobus sans air climatisé et avec transmission ZF sur les témoins.



La Figure 3-9 présente la consommation de carburant pour les véhicules hybrides et témoins de type Nova 2008 en fonction du nombre d'arrêts par kilomètre.<sup>5</sup> Lorsque les autobus effectuent un arrêt par kilomètre, le véhicule hybride consomme en moyenne 16 litres de moins par 100 km que le véhicule standard. Les bienfaits de l'autobus hybride s'accroissent à mesure que le nombre d'arrêts par kilomètre augmente. À dix arrêts par kilomètre, le véhicule hybride consomme en moyenne 24 litres/100 km de moins que le véhicule standard.

**Figure 3-9 Consommation de carburant en fonction du nombre d'arrêts par kilomètre pour un nombre d'arrêts variant de 0 à 10 – Autobus hybride et témoin modèle NOVA 2008, sans climatisation**



Il a été démontré que le système de propulsion hybride est moins performant à très basse température; les résultats obtenus dans un climat plus tempéré ne peuvent être que plus bénéfiques. Finalement, ces résultats reposent sur la technologie hybride en vigueur au moment de l'étude. Le perfectionnement de la technologie hybride fera en sorte qu'elle sera vraisemblablement plus performante dans les années à venir.

Un exploitant de transport collectif peut valider la pertinence de ces courbes par rapport à ses propres opérations. Il peut obtenir avec précision la consommation de carburant de ses moteurs diesel, temps de marche, en se branchant sur les ports de données de l'ordinateur de contrôle des moteurs. Une fois la vitesse moyenne et la consommation moyenne calculées, il peut transposer ces données sur la courbe « consommation témoin » afin de valider l'applicabilité de la courbe à ses opérations.

<sup>5</sup> Le terme « arrêt » inclut non seulement les arrêts lorsque l'autobus s'immobilise pour faire débarquer ou embarquer les clients, mais aussi lorsqu'il s'immobilise dans le trafic.

La vitesse moyenne « V » résultante des conditions opérationnelles d'autobus est déterminée à l'aide des informations enregistrées dans l'ordinateur ECM du moteur Cummins des autobus avec moteur ISL de la norme EPA 2007 et transmission ZF.

Les informations qu'il faut noter sont :

- Le nombre total de kilomètres parcourus;
- Le nombre total d'heures en marche du moteur;
- Le nombre total de litres consommés.

On peut ainsi calculer la vitesse moyenne, V en km/h, selon l'équation suivante :

$$V = \frac{\text{nombre total de kilomètres parcourus}}{\text{nombre total d'heures en marche}}$$

La consommation totale moyenne, en litres/100 km, est obtenue selon l'équation suivante :

$$\text{Consommation totale moyenne} = \frac{\text{nombre total de litres consommés}}{\text{nombre total de kilomètres parcourus}/100}$$

## 3.7 Au-delà de la technologie hybride

Bien que l'objectif premier du volet STM du PDTU ait été d'évaluer l'impact environnemental de la propulsion hybride, ce projet a créé des opportunités permettant d'aller un peu plus loin. L'instrumentation des autobus hybrides et témoins avec le système d'acquisition de données ISAAC a permis d'évaluer et de quantifier les impacts environnementaux de deux autres solutions technologiques qui sont fréquemment mentionnées dans la documentation de l'industrie :

- L'utilisation d'une ventilation entièrement à moteur électrique à bas voltage (24 volts) plutôt qu'une ventilation à moteur hydraulique pour refroidir le moteur;
- L'optimisation de la programmation des transmissions standard selon les conditions spécifiques des utilisateurs d'autobus en transport urbain. Le logiciel de programmation se nomme « Topodyn ».

La documentation relative à la propulsion des véhicules routiers prône les potentiels de ces technologies à réduire la consommation de carburant et, par le fait même, à réduire les émissions de GES.

### 3.7.1 Ventilation électrique à bas voltage

La plupart des autobus urbains à plancher surbaissé disposent d'un système de ventilation du radiateur qui est mû par un moteur hydraulique, lequel reçoit sa puissance d'une pompe hydraulique entraînée par le moteur diesel. Les principaux inconvénients de tels systèmes sont :

- Efficacité énergétique relativement basse : la mise en mouvement du fluide hydraulique sous pression subit une perte de chaleur significative et donc une perte de rendement;
- Contrôle de la puissance difficile à optimiser : plusieurs zones du système ont des besoins différents en refroidissement. Un ventilateur unique couvre toutes les zones à la fois; il y a ainsi de la puissance gaspillée à refroidir par moment une partie du système qui n'en a pas besoin.

Ces deux aspects peuvent facilement être améliorés par la mise en place d'un système de ventilation électrique composé de plusieurs petits ventilateurs qui couvrent les zones séparément. Ce système améliore l'efficacité énergétique puisqu'il y a moins de perte de chaleur dans le transfert électrique, entre le moteur diesel et les ventilateurs, au moyen d'un alternateur 24 volts à haut rendement. Il est important de noter que cette modification peut être faite sur les autobus hybrides et les autobus standard.



Le système de ventilateurs électriques à bas voltage est installé sur le côté extérieur du radiateur des autobus de la STM, montré ici avec sa grille extérieure ouverte. Vu le manque d'espace près du radiateur du moteur et le temps limité pour réaliser cet essai, une section de refroidissement supplémentaire pour l'huile de la transmission hybride a été ajoutée sur le toit. Celle-ci, est faite en aluminium non peinte. Dans une version optimisée, la configuration de ce refroidisseur d'huile serait mieux intégrée à la carrosserie.

### 3.7.2 Programmation optimisée de la transmission standard (logiciel Topodyn)

La modification de la programmation de la transmission standard n'entraîne pas de modifications physiques sur les autobus, car elle se fait au moyen de l'ordinateur de contrôle de la compagnie ZF. Deux jours d'essais sur la route avec un autobus de la STM ont été requis pour calibrer et optimiser la programmation. Par la suite, la programmation optimisée a été mise en place sur des autobus en service. Elle s'effectue simplement en remplaçant le module électronique d'origine par un module reprogrammé. Seuls les autobus diesel témoins sont équipés de transmission standard.

Les effets de la programmation Topodyn sont les suivants :

- Elle crée des conditions similaires aux conditions inhérentes à la conduite écolo. Somme toute, elle assure une accélération en douceur :
  - Elle tempère l'accélération demandée lorsque la vitesse de l'autobus est sous les 40 km/h;
  - Elle maintient le niveau d'accélération quand l'autobus est dans une pente ou qu'il est chargé.
- Elle optimise les conditions de consommation de carburant en réduisant la vitesse de rotation du moteur au moment de changer de vitesse. Ceci augmente le couple produit, et cause une augmentation de la température et de la pression de combustion qui se traduit par une réduction de la consommation pour une même puissance produite.

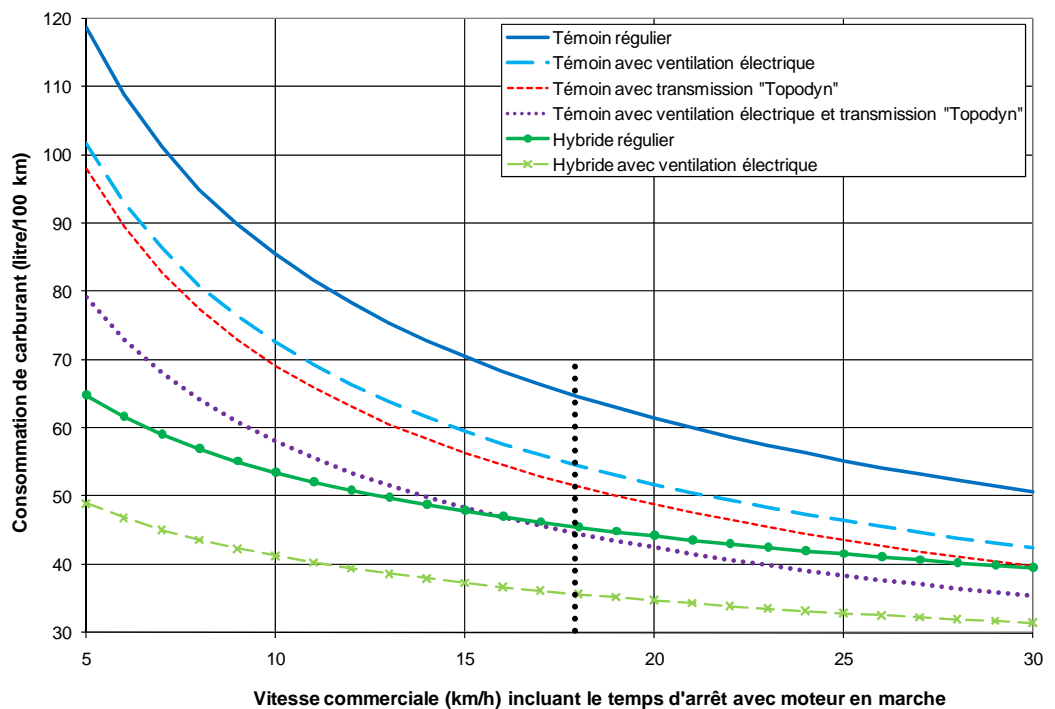
### 3.7.3 Impact sur la consommation en carburant

La Figure 3-10 présente, pour des vitesses variant de 5 à 30 km/h, la consommation de carburant en fonction de la technologie testée, et ce, sur des autobus hybrides et témoins de la STM. À une vitesse moyenne d'environ 18 km/h incluant les arrêts, on peut constater les points suivants :

- L'installation d'une ventilation électrique a permis de réduire la consommation de carburant d'environ 16 % (de 65 à 54 litres/100 km) sur un autobus standard et de 22 % (de 46 à 36 litres/100 km) sur un autobus hybride;

- La programmation de la transmission ZF (Topodyn) a permis de réduire la consommation de carburant d'environ 21 % (de 65 à 51 litres/100 km) sur un autobus standard;
- L'effet combiné de l'installation d'une ventilation électrique et de la programmation Topodyn a permis de réduire la consommation de carburant de 31 % (de 65 à 45 litres/100 km) sur un autobus standard.
- L'autobus hybride équipé de la ventilation électrique maintient une réduction de consommation de carburant d'environ 20 % (de 45 à 36 litres/100 km) par rapport au témoin qui combine la ventilation électrique et la programmation de la transmission. Notons que sans ces modifications, l'autobus hybride affiche une économie de carburant de 30 % (de 65 à 46 km/h) par rapport au témoin.

**Figure 3-10 Effet de la ventilation électrique et de la programmation de la transmission (Topodyn) sur la consommation de carburant**



Note : La vitesse moyenne de la STM est d'environ 18 km/h

## 4 Résultats de l'étude de la Ligne verte

L'approche méthodologique exposée dans la première partie présentait les mesures mises en place dans le cadre de la Ligne verte dans un objectif final de réduction des émissions de GES. Afin d'évaluer l'impact de ces mesures, les différents modes d'évaluation retenus ont été présentés.

La présente section fait le bilan de ces différentes évaluations. **Pour plus de détails sur les résultats, consultez le rapport technique sur la Ligne verte.**

### 4.1 Impact des mesures prioritaires

Un des objectifs principaux de la Ligne verte, par une priorisation des feux de circulation et l'aménagement des voies réservées, était la stabilisation et la réduction du temps de parcours. Celles-ci sont évaluées ici au moyen d'une analyse par comparaison des temps de parcours. Des impacts secondaires sont issus de la stabilisation et de la réduction des temps de parcours : ils touchent à l'organisation et au fonctionnement de l'organisation du service proposé par la STO.

L'impact de la mise en place de la voie réservée et des mesures prioritaires a été évalué par l'analyse des temps de parcours. Les temps de parcours mesurés avant et après l'implantation des mesures prioritaires sont présentés au Tableau 4-1 pour la période de pointe du matin et au Tableau 4-2 pour la période de pointe de l'après-midi.

Les observations suivantes portent sur **l'implantation de la voie réservée** en période de **pointe du matin** (Tableau 4-1) :

- Légère diminution du temps de parcours médian (-1,7 %);
- Légère diminution du temps de parcours moyen (-2,1 %);
- Diminution de l'écart-type (-18,1 %), c'est-à-dire service plus stable;
- Diminution de la valeur minimale (-3,0 %) et maximale (-20,8 %);
- Diminution du temps de parcours moyen entre 6 h et 8 h;
- Augmentation du temps de parcours moyen entre 8 h et 9 h.

En ce qui concerne **l'implantation des mesures prioritaires**, les points suivants ont été relevés pour la période de pointe du matin (Tableau 4-1) :

- Légère augmentation du temps de parcours médian (+0,6 %);
- Légère diminution du temps de parcours moyen (-2,8 %);
- Diminution de l'écart-type (-16,7 %);
- Augmentation de la valeur minimale (14,4 %) et diminution de la valeur maximale (-26,8 %);
- Diminution du temps de parcours moyen seulement entre 6 h - 6 h 30 et 8 h 30 - 9 h.

Tableau 4-1 Temps de parcours pour la période de pointe du matin

PPAM (6 h à 9 h)	Avec et sans voie réservée			Avec et sans mesures prioritaires		
	Mai 08 <sup>1</sup>	Automne 08 <sup>2</sup>	Différence	Hiver 2009 <sup>3</sup>	Hiver 2009 <sup>4</sup>	Différence
<b>N<sup>bre</sup> enregistrements</b>	101	85		116	60	
<b>Min.</b>	00:06:07	00:05:56	-3,0 %	00:05:06	00:05:50	14,4 %
<b>Max.</b>	00:13:52	00:10:59	-20,8 %	00:14:38	00:10:43	-26,8 %
<b>Moyenne</b>	00:08:45	00:08:34	-2,1 %	00:08:37	00:08:22	-2,8 %
<b>Écart-type</b>	00:01:21	00:01:07	-18,1 %	00:01:35	00:01:19	-16,7 %
<b>Médiane</b>	00:08:40	00:08:31	-1,7 %	00:08:31	00:08:33	0,6 %
<b>Moyenne 6 h - 6 h 30</b>	00:07:50	00:07:14	-7,6 %	00:07:56	00:07:11	-9,5 %
<b>Moyenne 6 h 30 - 7 h</b>	00:09:09	00:08:41	-5,1 %	00:07:58	00:08:17	4,0 %
<b>Moyenne 7 h - 7 h 30</b>	00:09:01	00:08:56	-1,0 %	00:09:12	00:09:12	0,0 %
<b>Moyenne 7 h 30 - 8 h</b>	00:09:18	00:08:53	-4,5 %	00:09:03	00:09:08	1,1 %
<b>Moyenne 8 h - 8 h 30</b>	00:07:45	00:08:16	6,8 %	00:07:53	00:08:10	3,6 %
<b>Moyenne 8 h 30 - 9 h</b>	00:07:44	00:08:14	6,6 %	00:08:24	00:08:00	-4,7 %

<sup>1</sup> Sans voie réservée

<sup>2</sup> Avec voie réservée

<sup>3</sup> Avec voie réservée (hiver 2009 autobus non équipés d'émetteurs IR)

<sup>4</sup> Avec voie réservée et mesures prioritaires (hiver 2009 autobus équipés d'émetteurs IR)

Les observations suivantes portent sur **l'implantation de la voie réservée** en période de **pointe de l'après-midi** (voir Tableau 4-2) :

- Diminution du temps de parcours médian (-8,0 %);
- Diminution du temps de parcours moyen (-10,0 %);
- Importante diminution de l'écart-type (-43,1 %);
- Légère augmentation de la valeur minimale (2,1 %);
- Diminution de la valeur maximale (-36,8 %);
- Grande diminution des temps de parcours moyens entre 15 h - 15 h 30 et 16 h - 17 h.

Finalement, pour la même période, le nombre d'enregistrements était trop petit pour effectuer une analyse significative de **l'implantation des mesures prioritaires** (Tableau 4-2). En effet, le nombre d'autobus relativement réduit (dix) conduit à un nombre de données récoltées également limité. La taille réduite de cet échantillon conduit alors à une marge d'erreur trop importante pour établir une conclusion définitive. Ainsi, une analyse plus précise pourra être effectuée après le projet PDTU, quand de nouvelles données auront été récoltées.



**Tableau 4-2 Temps de parcours pour la période de pointe de l'après-midi**

PPPM (15 h à 18 h)	Avec et sans voie réservée			Avec et sans mesures prioritaires		
	Mai 08 <sup>1</sup>	Automne 08 <sup>2</sup>	Différence	Hiver 2009 <sup>3</sup>	Hiver 2009 <sup>4</sup>	Différence
<b>N<sup>bre</sup> enregistrements</b>	46	46		10	46	
<b>Min.</b>	00:05:27	00:05:34	2,1 %	00:05:41	00:04:14	-25,5 %
<b>Max.</b>	00:18:12	00:11:30	-36,8 %	00:08:53	00:11:54	34,0 %
<b>Moyenne</b>	00:08:12	00:07:23	-10,0 %	00:07:18	00:07:41	5,3 %
<b>Écart-type</b>	00:02:21	00:01:20	-43,1 %	00:01:17	00:01:40	28,7 %
<b>Médiane</b>	00:07:50	00:07:12	-8,0 %	00:07:15	00:07:34	4,2 %
<b>Moyenne 15 h - 15 h 30</b>	00:07:31	00:06:21	-15,5 %	n.d.	00:07:00	n.d.
<b>Moyenne 15 h 30 - 16 h</b>	00:07:04	00:07:10	1,4 %	00:08:28	00:08:42	2,8 %
<b>Moyenne 16 h - 16 h 30</b>	00:09:45	00:08:29	-13,1 %	00:08:48	00:07:21	-16,6 %
<b>Moyenne 16 h 30 - 17 h</b>	00:09:51	00:07:34	-23,1 %	00:08:09	00:08:44	7,2 %
<b>Moyenne 17 h - 17 h 30</b>	00:07:47	00:07:44	-0,7 %	00:06:19	00:07:54	25,0 %
<b>Moyenne 17 h 30 - 18 h</b>	00:06:43	00:06:51	1,9 %	00:05:51	00:06:54	17,9 %

<sup>1</sup> Sans voie réservée

<sup>2</sup> Avec voie réservée

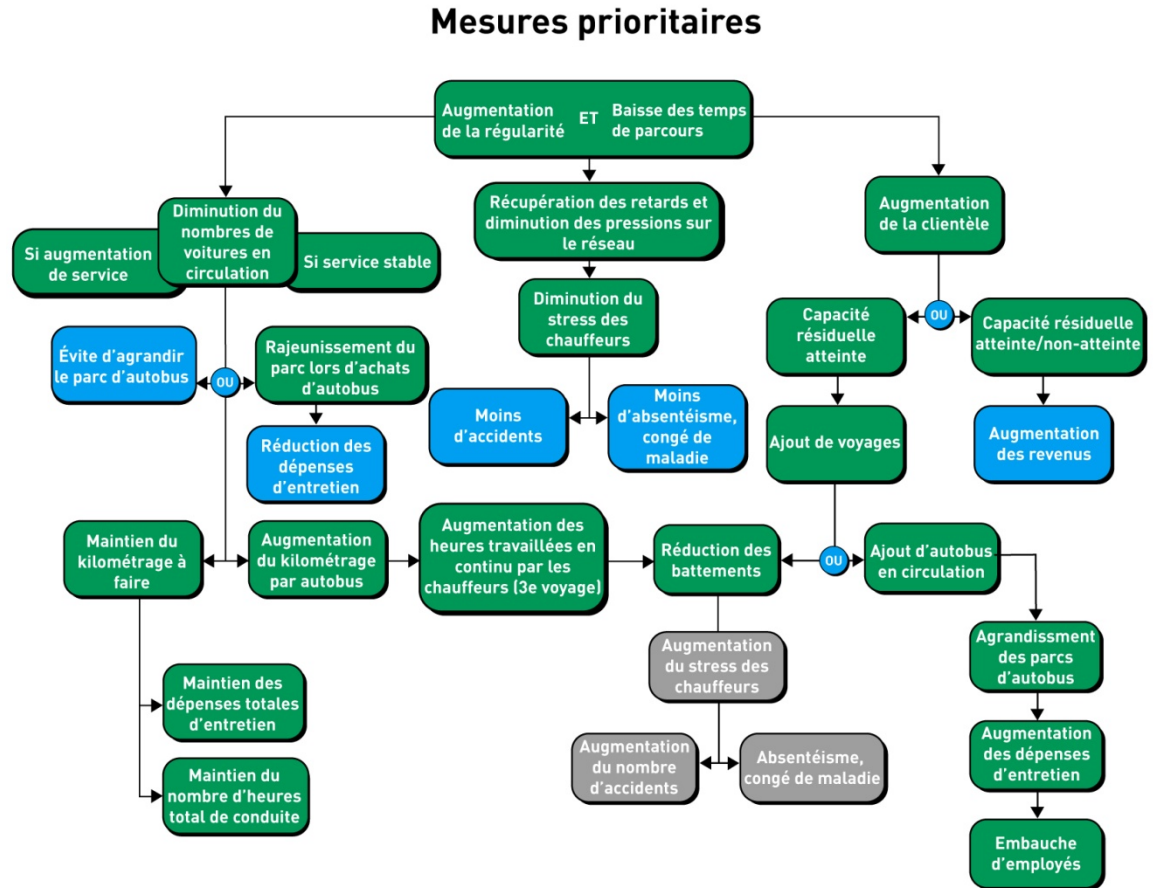
<sup>3</sup> Avec voie réservée (hiver 2009 autobus non équipés d'émetteurs IR)

<sup>4</sup> Avec voie réservée et mesures prioritaires (hiver 2009 autobus équipés d'émetteurs IR)

À partir des données présentées, certaines conclusions peuvent être établies concernant l'impact de la voie réservée et des mesures prioritaires aux feux de circulation. De façon générale, l'implantation des deux mesures a peu d'influence sur le temps de parcours moyen et médian des autobus. Cependant, l'étude démontre clairement qu'il y a une amélioration de la stabilité du service avec d'importantes diminutions de l'écart-type des temps de parcours, tant en période de pointe du matin qu'en période de pointe de l'après-midi. Aucune conclusion ne peut être tirée à partir des temps de parcours maximums, puisqu'ils peuvent être influencés par des événements imprévus (incidents, accidents, etc.). D'autre part, les temps de parcours minimums sont passablement similaires entre les différentes périodes, puisqu'il est fort probable qu'au moins un autobus à chaque période passe tous les carrefours sans devoir s'arrêter au feu rouge.

L'implantation des mesures prioritaires et de la voie réservée peut également avoir des répercussions sur le développement et la gestion du matériel et du personnel de la STO. Par exemple, la diminution du temps de parcours diminue les pressions sur le réseau, ce qui peut générer une diminution de stress des chauffeurs et ainsi réduire le nombre d'accidents et le taux d'absentéisme. La diminution du temps de parcours peut également générer une hausse de clientèle, ce qui peut contribuer à accroître les revenus de la STO. Ces impacts fonctionnels sont illustrés à la Figure 4-1.

Figure 4-1 Impacts fonctionnels de l'implantation des mesures prioritaires



## 4.2 Analyse de l'achalandage

La variation de l'achalandage sur le corridor de la Ligne verte à la suite de l'implantation de mesures préférentielles est évaluée en comparant les résultats de l'hiver 2008 (avant la mise en place des mesures) avec ceux de l'hiver 2009. Il a été possible de comparer cette évolution avec celle du réseau global de la STO afin de mesurer l'impact bénéfique des mesures mises en place (voies réservées, nouveaux abribus, nouvelle signalisation aux arrêts d'autobus).

Lors de l'entente avec Transports Canada dans le cadre du PDTU, la STO s'était fixé comme objectif d'augmenter son achalandage de 5 à 15 % sur le corridor identifié à partir de la situation initiale à l'automne 2007. Cette analyse permet de valider si les objectifs ont été atteints

Le principe d'analyse repose sur une comparaison des données disponibles à la suite des comptages annuels de passagers. Au début de l'année 2008, une situation initiale a été définie. Les résultats de l'année 2009 ont été comparés à ceux de l'année précédente afin de déterminer l'évolution de l'achalandage. Cette évolution de l'achalandage de la Ligne verte doit tenir compte, pour l'ensemble du réseau de la STO, d'une augmentation de l'achalandage constatée de 2,2 % sur une année entre l'hiver 2008 et l'hiver 2009.

Le Tableau 4-3 suivant récapitule l'ensemble des données obtenues entre les comptages des années 2008 et 2009. Ces comptages ont été effectués en période de pointe du

matin (AM) en direction sud, c'est-à-dire vers le générateur de déplacements que représente le centre-ville de Hull. La période de pointe de l'après-midi (PM) a été relevée en direction nord, vers le secteur de Gatineau, bassin de population du corridor.

Selon les relevés disponibles, on constate une augmentation de l'achalandage de 8,1 % en période de pointe du matin et de 7,5 % en période de pointe de l'après-midi sur le corridor de la Ligne verte. Cette augmentation représente une croissance moyenne de 7,7 % en période de pointe sur le corridor de la Ligne verte. Cette croissance est supérieure à la celle observée sur l'ensemble du réseau de 2,2 % et se situe dans l'éventail de croissance ciblé dans le cadre de projet, soit entre 5 et 15 %.

**Tableau 4-3 Comparatif des comptages des hivers 2008 et 2009**

Numéro de la ligne d'autobus	Direction	Charge 2008 <sup>1</sup>	Charge 2009 <sup>1</sup>	Écart de charge (passagers)	Croissance de la charge (%)
57	Sud	124	112	-	-
65	Sud	0	253		
67	Sud	927	1 021		
77	Sud	700	507		
<b>Total pour la période de pointe AM direction sud</b>		<b>1 751</b>	<b>1 893</b>	<b>142</b>	<b>8,1 %</b>
57	Nord	123	126	-	-
65	Nord	0	350		
67	Nord	1 053	1 025		
77	Nord	764	584		
<b>Total pour la période de pointe PM direction nord</b>		<b>1 940</b>	<b>2 085</b>	<b>145</b>	<b>7,5 %</b>

<sup>1</sup> Achalandage moyen total pour la période de pointe considérée, en nombre de passagers

Il a été observé que bien que la STO ait augmenté son offre de service par l'ajout de trois autobus en période de pointe de l'après-midi, la charge moyenne de ces ajouts reste importante et l'achalandage supplémentaire est ainsi absorbé par les nouveaux voyages établis (voir Tableau 4-4).

**Tableau 4-4 Charge moyenne en fonction de l'augmentation de l'offre de service**

Nombre d'autobus sur la Ligne verte	Période de pointe AM	Période de pointe PM
<b>2008</b>	45	48
<b>2009</b>	45	51
<b>Écart du nombre d'autobus</b>	0	3
<b>Augmentation d'achalandage</b>	142	145
<b>Charge moyenne des ajouts</b>	<b>N/D</b>	<b>48,3</b>

En période de pointe de l'après-midi, des voyages ont été ajoutés et leur charge moyenne serait de 48,3 passagers par voyage, si les usagers supplémentaires étaient répartis dans ces autobus.

En conclusion, la STO constate une augmentation moyenne de 7,7 % en période de pointe sur le corridor de la Ligne verte. Cette augmentation est 5,5 % de plus que la croissance d'achalandage sur le reste du réseau. Par conséquent, il est réaliste d'émettre l'hypothèse suivante :

La population est réceptive aux améliorations apportées sur le réseau de transport en commun et par de telles actions, les sociétés de transport en commun peuvent inciter davantage la population à utiliser l'autobus comme leur mode de déplacement privilégié.

## 4.3 Analyse de la part modale : comptage classifié

Après une analyse de l'achalandage du réseau STO sur la Ligne verte (en termes de passagers dans les autobus), cette section analyse la fréquentation du corridor de la Ligne verte par les différents types de véhicules.

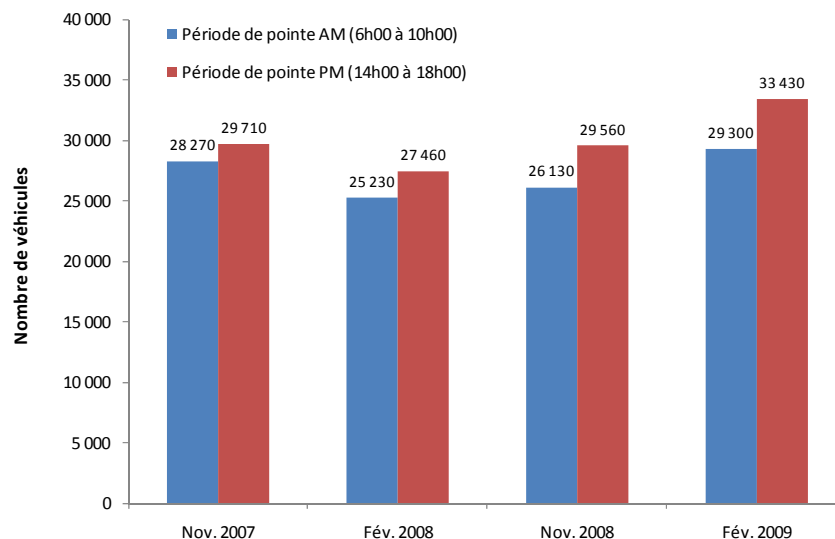
Les résultats analysés ici correspondent aux comptages relevés pour la ligne écran de la rivière Gatineau, comme présenté dans l'approche méthodologique. Pour ces analyses, si une voie n'avait pas été comptée ou présentait des anomalies, les résultats n'ont pas été pris en compte.

### 4.3.1 Ligne écran

Au niveau de la ligne écran, le nombre de véhicules particuliers (automobiles et camions légers) circulant sur les ponts est indiqué à la Figure 4-2 pour les périodes de pointe du matin et de l'après-midi pour les quatre sessions de comptage. Les points suivants sont à relever :

- Entre novembre 2007 et novembre 2008, les débits ont diminué durant la période de pointe du matin (-8 %) et durant la période de pointe de l'après-midi (-1 %);
- Toutefois, selon les comptages manuels, les débits auraient augmenté de 16 % le matin et de 22 % l'après-midi entre février 2008 et février 2009. Ces valeurs apparaissent cependant surestimées, dû à des lacunes dans les comptages au pont des Draveurs. Selon les relevés automatiques de Transports Québec, le débit journalier moyen annuel (DJMA) sur le pont des Draveurs a crû de 2 % seulement entre 2007 et 2008.

**Figure 4-2** Nombre de véhicules particuliers<sup>1</sup> sur la ligne écran, périodes de pointe du matin et de l'après-midi – Journée moyenne de semaine



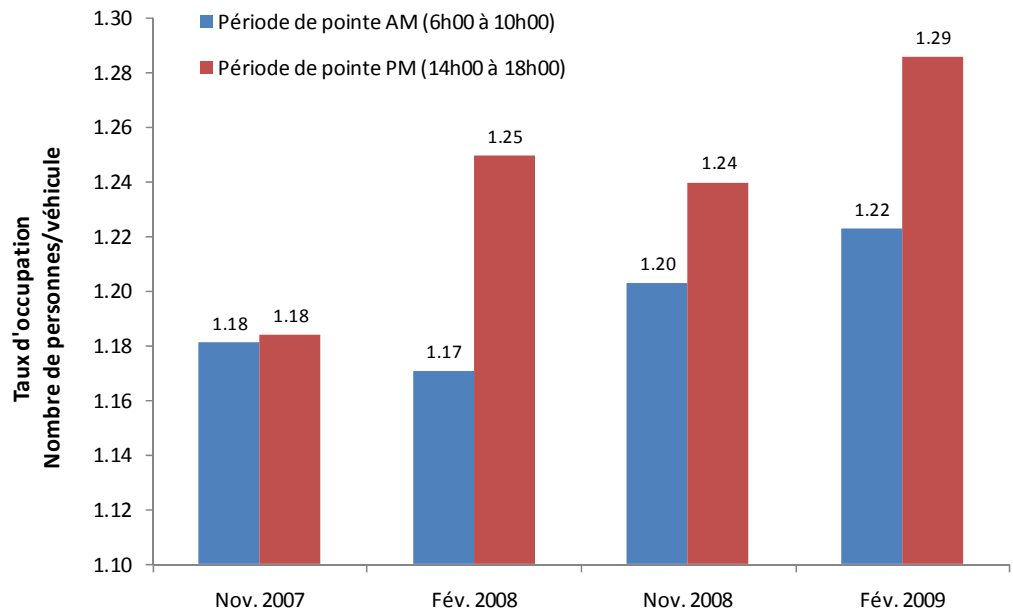
<sup>1</sup> Inclut les automobiles et les camions légers

Le pont des Draveurs supporte un peu plus de 60 % du trafic total de la ligne écran. Quelques séries de comptages automatiques ont été effectuées par Transports Québec au cours des années 2006 et 2008. Selon ces relevés de comptages automatiques, les débits en période de pointe du matin ont diminué de 4 % entre la période d’avril 2006 et avril 2008, alors qu’ils ont augmenté de 6 % durant la période de pointe de l’après-midi. Ces résultats semblent indiquer qu’une hausse de près de 20 % durant les périodes de pointe soit irréaliste sur l’ensemble de la ligne écran entre février 2008 et février 2009. On conviendra qu’une hausse de trafic a été observée sur la ligne écran, mais que la valeur précise n’est pas disponible.

Aux différentes heures de pointe, une analyse a été effectuée au niveau des taux d’occupation des véhicules particuliers de la ligne écran. Les résultats sont présentés à la Figure 4-3. Il en ressort que :

- Le taux d’occupation est beaucoup plus faible le matin que l’après-midi. Ceci s’explique possiblement par le fait que le matin, les déplacements sont en très grande partie des trajets entre le domicile et le travail qui sont souvent des déplacements en solo, alors qu’en après-midi, les motifs sont plus variés. Les déplacements de nature plus sociale en après-midi (magasinage, récréatif) font en sorte que le taux d’occupation est plus élevé;
- On remarque une croissance du taux d’occupation, le matin comme l’après-midi.

**Figure 4-3 Taux d’occupation sur la ligne écran, périodes de pointe du matin et de l’après-midi – Journée moyenne de semaine**



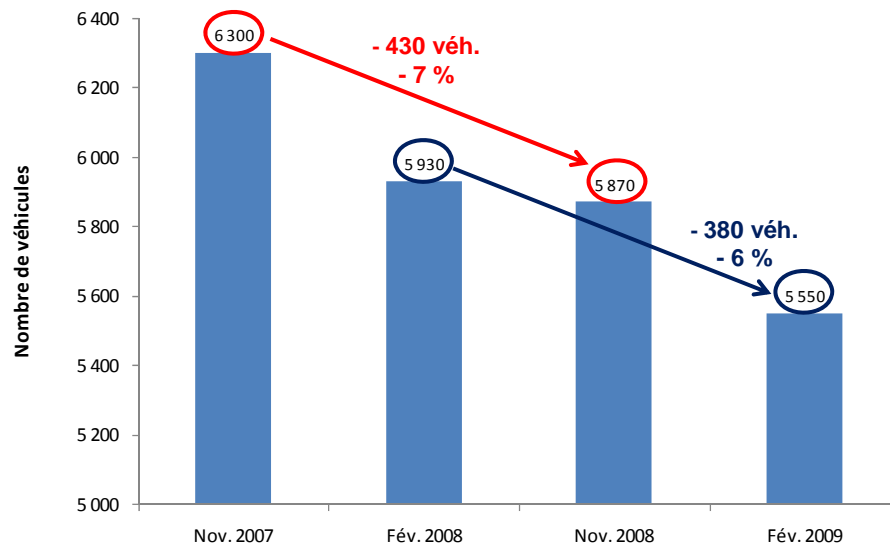
Il apparaît donc globalement que le nombre de véhicules augmente au niveau de la ligne écran ainsi que le taux d’occupation des véhicules. La part modale ne peut que difficilement être déduite globalement en raison du manque de données au niveau du pont des Draveurs et de l’achalandage précis des autobus de la STO.

### 4.3.2 Pont Lady-Aberdeen (pont traversé par la Ligne verte)

Au niveau du pont Lady-Aberdeen, le nombre de véhicules particuliers (automobiles et camions légers) passant sur le pont durant la période de pointe du matin pour une journée moyenne de semaine est montré à la Figure 4-4 pour les quatre sessions de comptages. Il en ressort les points suivants :

- Durant la période de pointe du matin, le nombre de véhicules particuliers sur le pont Lady-Aberdeen a diminué de 7 % entre novembre 2007 et novembre 2008 et de 6 % entre février 2008 et février 2009;
- En termes de nombre de véhicules particuliers, ceci représente 430 véhicules de moins pour les sessions de novembre et 380 véhicules de moins pour les sessions de février.

**Figure 4-4** Nombre de véhicules particuliers<sup>1</sup> sur le pont Lady-Aberdeen, période de pointe du matin – Journée moyenne de semaine



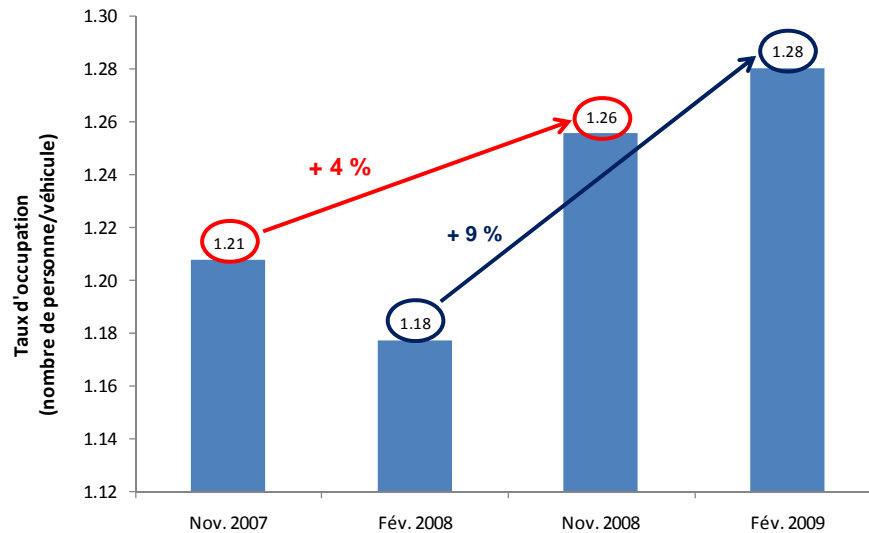
<sup>1</sup> Inclut les automobiles et les camions légers

Le taux d'occupation des véhicules particuliers traversant le pont Lady-Aberdeen durant la période de pointe du matin est présenté à la Figure 4-5 pour les quatre sessions de comptages. On observe les points suivants :

- Le taux d'occupation des véhicules est passé de 1,21 en novembre 2007 à 1,26 en novembre 2008, une hausse de 4 %;
- Entre février 2008 et février 2009, le taux d'occupation a augmenté de 9 %, passant de 1,18 à 1,28.



**Figure 4-5 Taux d'occupation sur le pont Lady-Aberdeen, période de pointe du matin – Journée moyenne de semaine**



#### 4.3.3 Comparaison de la période de pointe du matin

Le Tableau 4-5 compare les débits et les taux d'occupation de la ligne écran et du pont Lady-Aberdeen durant la période de pointe du matin de février 2008 et 2009. On remarque les points suivants :

- Les débits sur le pont Lady-Aberdeen ont diminué de 6 % alors qu'une croissance est observée sur la ligne écran;
- La croissance du taux d'occupation est plus forte sur le pont Lady-Aberdeen que sur la ligne écran (9 % vs 4 %);
- Le taux d'occupation est plus élevé sur le pont Lady-Aberdeen que sur l'ensemble des trois ponts (1,28 vs 1,22).

**Tableau 4-5 Comparaison des débits et des taux d'occupation de la ligne écran et du pont Lady-Aberdeen – Période de pointe du matin (6 h à 10 h) – Journée moyenne de semaine – Mois de février**

Pont	Nombre de véhicules particuliers			Taux d'occupation		
	2008	2009	Variation	2008	2009	Variation
Ligne écran	25 230	29 300	4 070 (+16 %)¹	1,17	1,22	4 %
Lady-Aberdeen	5 930	5 550	380 (-6 %)	1,18	1,28	9 %

¹ La croissance calculée est surestimée

La diminution des débits sur le pont Lady-Aberdeen combinée à une croissance du taux d'occupation laisse présager que la mise en place de la Ligne verte a eu des effets bénéfiques sur le transfert modal et le covoiturage. Alors que les débits ont augmenté sur l'ensemble des trois ponts entre 2008 et 2009, on compte **380 véhicules** de moins sur le pont Lady-Aberdeen durant la période de pointe du matin.

Sur ces véhicules en moins sur le pont Lady-Aberdeen, il est difficile de savoir s'il s'agit d'usagers qui ont choisi d'utiliser un autre pont ou s'il s'agit d'usagers qui ont opté pour le transport collectif. Il est important de mentionner qu'il y avait des travaux de réfection sur

le pont Lady-Aberdeen du 21 avril au 21 décembre 2007 et du 21 avril au 7 juin 2008. Durant ces périodes, seulement deux des quatre voies étaient disponibles. Le pont offrait alors deux voies dans la direction de la pointe durant les périodes de pointe, et une voie par direction le reste du temps. Il peut donc y avoir certains usagers qui ont modifié leur patron de déplacements, bien que la capacité du pont ait été la même durant les périodes de pointe.

Néanmoins, la croissance plus prononcée du taux d'occupation sur le pont Lady-Aberdeen suggère une augmentation du covoiturage. Si le taux d'occupation sur le pont Lady-Aberdeen en février 2009 avait été le même que celui de la ligne écran, soit de 1,22 plutôt que de 1,28, environ 270 véhicules de plus auraient été nécessaires pour déplacer le même nombre de personnes sur le pont Lady-Aberdeen durant la période de pointe du matin.

De plus, en juxtaposant ces résultats à l'accroissement de 8,1 % de l'achalandage des autobus de la Ligne verte le matin (Tableau 4-3), on peut supposer un certain transfert modal généré par la mise en place de la Ligne verte. Il a été estimé qu'il y avait en moyenne 142 passagers de plus dans les autobus de la Ligne verte entre l'hiver 2008 et l'hiver 2009, durant les quatre heures de la période de pointe du matin (5 h 15 à 9 h 15). Si la totalité de ces passagers avaient circulé en voiture privée, environ 110 véhicules de plus circuleraient sur le pont Lady-Aberdeen.

D'après ces résultats, un maximum de **380 véhicules** se trouve en moins dans le corridor de la Ligne verte durant la période de pointe du matin : un retrait de 110 véhicules pour cause de transfert modal vers l'autobus et un retrait de 270 véhicules à la suite de l'augmentation du covoiturage. Ceci constitue cependant un scénario optimiste. Dans un scénario plus réaliste, certains usagers ont quitté le pont Lady-Aberdeen pour un autre pont, et on pourrait estimer que l'impact de la Ligne verte serait d'environ **200 véhicules** de moins durant la période de pointe du matin.

## 4.4 Satisfaction des usagers

Un sondage a été effectué auprès des usagers des lignes 65, 67 et 77. Les données ont été recueillies par un sondage direct et téléphonique. Le recrutement s'est déroulé durant l'automne 2008 à proximité des lieux de passage des autobus de la Ligne verte, dont les principaux lieux sont :

- Stationnement incitatif Promenades de l'Outaouais;
- Intersection Gréber et de la Savane;
- Stationnement incitatif de la Cité.

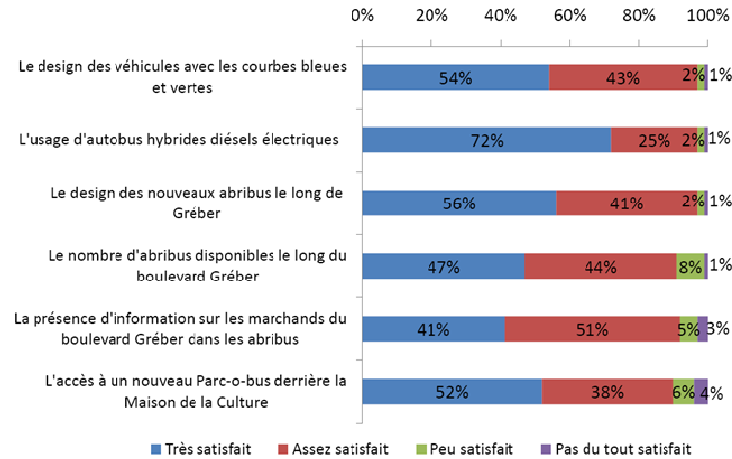
Deux cent deux répondants ont participé à ce sondage dont 79 % résident dans le secteur de Gatineau. L'intervalle de confiance de ce sondage est de 95 %. Les principaux résultats de ce sondage sont présentés ci-après.

De manière générale, les usagers de la Ligne verte sont satisfaits du service offert et sont très favorables à l'utilisation de technologie hybride (voir Figure 4-6) :

- Le design des autobus hybrides, l'usage d'autobus diesel-électrique et le design des nouveaux abribus le long du boulevard Gréber satisfont chacun 97 % des répondants;
- 87 % des répondants sont favorables à l'achat d'autobus hybrides, même s'ils coûtent une fois et demie plus cher à l'achat qu'un autobus standard;
- 91 % des répondants sont satisfaits du nombre d'abribus disponibles le long du

- boulevard Gréber;
- 90 % des répondants sont satisfaits de l'accès à un nouveau stationnement incitatif derrière la Maison de la culture.

**Figure 4-6 Degré de satisfaction de la Ligne verte**

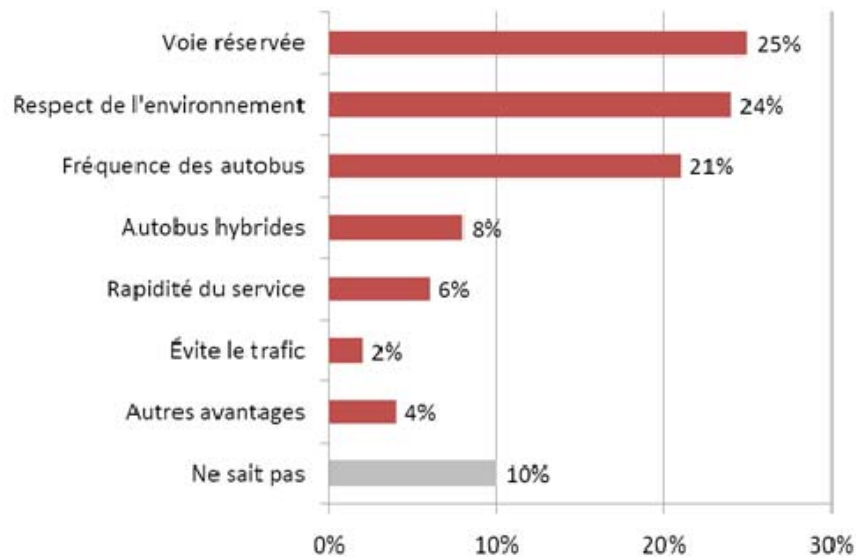


**Par ailleurs, les efforts d'aménagement de la Ligne verte incitent la majorité des répondants à monter davantage à bord des autobus (80 %).**

Les répondants trouvent plusieurs avantages à la Ligne verte de la STO. Les avantages les plus importants pour les usagers de la Ligne verte sont (voir Figure 4-7) :

- L'accès à une voie réservée (25 %);
- Le respect de l'environnement (24 %);
- La fréquence des autobus (21 %).

**Figure 4-7 Principaux avantages de la Ligne verte**



En comparant les résultats des sondages auprès des usagers de la Ligne verte et les autres usagers du transport en commun, on note que les usagers de la Ligne verte sont généralement plus en accord que les usagers du transport en commun avec les énoncés déclarant que :

- La STO offre un service rapide (89 % comparativement à 68 %);
- La STO contribue à l'essor économique de la ville de Gatineau (89 % comparativement à 80 %);
- La STO est un acteur majeur du développement durable (92 % comparativement à 84 %);
- La population est bien informée sur les produits et services de la STO (88 % comparativement à 77 %).

De plus, les usagers de la Ligne verte sont généralement plus satisfaits que les usagers de transport en commun en ce qui concerne :

- La disponibilité d'abribus et de bancs (79 % comparativement à 54 %);
- Le respect des horaires (78 % comparativement à 66 %);
- L'information à l'arrêt (77 % comparativement à 54 %);
- La fiabilité des temps de déplacement (82 % comparativement à 73 %).

Ce sondage a permis à la STO de constater que les usagers de la Ligne verte sont favorables et très satisfaits de l'usage d'autobus hybrides diesel-électrique, du design et du nombre d'abribus sur le boulevard Gréber ainsi que l'accès au nouveau stationnement incitatif de la Cité. L'accès à une voie réservée, le respect de l'environnement et la fréquence des autobus ressortent comme étant les avantages les plus importants du projet. La clientèle de la Ligne verte semble très fidèle au transport en commun, et ce, même si la moitié des usagers affirme pouvoir effectuer les déplacements en voiture.

Dans le but d'identifier la perception des usagers de la Ligne verte et les usagers de l'ensemble du réseau sur le service offert par la STO, les résultats des sondages Ligne verte et l'ensemble du réseau ont été comparés. Il est notable que les usagers de la Ligne verte ont une perception plus positive du service offert par la STO ainsi que son rôle dans le développement durable et l'essor économique de la ville de Gatineau.

## 5 Impacts environnementaux des mesures mises à l'essai

### 5.1 Technologie hybride

L'analyse des avantages des autobus hybrides par rapport aux autobus standard a été effectuée principalement en termes de réduction de consommation de carburant. Néanmoins, la réduction des GES est directement proportionnelle à la réduction de la consommation de carburant.

Selon les données recueillies, une représentation algébrique a été élaborée estimant la réduction de la consommation de carburant EC (en litres/100 km) de l'autobus hybride par rapport à l'autobus standard en fonction de la vitesse moyenne pour une température moyenne de 6,6 °C<sup>6</sup>.

$$EC = ((255.331 \times V^{-0.4753}) - (101.031 \times V^{-0.2761}))$$

Où : EC = Économie de carburant en litres/100 km  
V = Vitesse moyenne en km/h

Selon les calculs normalisés de la STM, la valeur suivante est utilisée dans le calcul des émissions de GES :

**2,7 kg de GES par litre de diesel consommé par les autobus de la STM**

La valeur de 2,7 kg de GES par litre de diesel est une valeur normalisée dans la documentation. Bien que des essais aux laboratoires d'Environnement Canada aient permis de mesurer de manière précise les émissions de GES pour les autobus faisant partie de cette étude, soit de 2,43 kg eq. CO<sub>2</sub> par litre, la valeur normalisée est utilisée dans les calculs dans un but d'uniformité avec les autres études à ce sujet.

Au moyen de ce taux d'émission et en connaissant la distance annuelle parcourue par les autobus, il est possible de transposer l'économie de carburant en réduction annuelle de GES par l'équation suivante :

$$RG = \frac{F_{GES} \times EC \times DA}{100\ 000}$$

Où RG = Réduction de GES en tonnes par année  
F<sub>GES</sub> = Facteur d'émission de GES en kg par litre de carburant  
= 2,7 kg/litre pour les autobus diesel  
EC = Économie de carburant en litres/100 km  
DA = Distance moyenne annuelle de l'autobus en kilomètre

<sup>6</sup> Autobus Nova sans air climatisé et transmission ZF sur l'autobus standard

Pour les autobus de la STM dont la vitesse commerciale est de **18 km/h**, l'économie de carburant de l'autobus hybride est d'environ **20 litres/100 km**. Avec une hypothèse de 70 000 km parcourus annuellement par autobus, on obtient une réduction de **36 tonnes de GES par autobus hybride annuellement**.

## 5.2 Ligne verte

Les impacts environnementaux des actions réalisées dans le cadre de la Ligne verte résident essentiellement dans les changements de comportements des usagers. À ceci s'ajoutent les bienfaits de la technologie hybride, qui est, à la STO, d'une génération moins récente que la technologie testée par les autobus de la STM et conséquemment moins performante.

Le fait d'enlever un certain nombre de véhicules sur le pont Lady-Aberdeen a un impact sur les émissions de GES. Un certain nombre de passagers qui se trouvaient à bord de leur voiture se trouvent maintenant à bord d'un autre véhicule (accroissement du taux d'occupation) ou à bord d'un autobus de la STO (transfert modal) à la suite de la mise en place des mesures de la Ligne verte. Dans un cas comme dans l'autre, le bilan de GES se calcule par la réduction du nombre de véhicules.

Plusieurs hypothèses ont dû être posées pour estimer la réduction des GES. Ces hypothèses sont indiquées pour deux scénarios au Tableau 5-1.

**Tableau 5-1 Hypothèses de calcul d'émanation de GES selon deux scénarios**

	Scénario réaliste	Scénario optimiste	Unité
Distance par déplacement (aller-retour)	20	30	km
Nombre de jours par an	240	320	jours
Kilomètres totaux	4 800	9 600	km/an
Nombre de véhicules en moins <sup>1</sup>	200	380	véhicules/jour
Consommation <sup>2</sup>	10,5	10,5	litres/100 km
Taux d'émission de GES <sup>2</sup>	2,44	2,44	kg/litre d'essence
<b>Bilan de GES</b>	<b>245</b>	<b>935</b>	<b>tonnes de GES/an</b>

<sup>1</sup> Estimé à la section 4.3

<sup>2</sup> Moyenne des véhicules particuliers au Québec, selon l'Office de l'efficacité énergétique (Ressources naturelles Canada)

Les véhicules en moins sur le réseau routier à la suite de l'implantation de la Ligne verte effectuent essentiellement des déplacements durant la période de pointe les jours ouvrables. Selon la STO, la distance moyenne à bord des autobus de la Ligne verte est de 7,6 km. Selon le modèle TRANS<sup>7</sup>, les déplacements sur le pont Lady-Aberdeen ont une distance moyenne de 18 km durant la période de pointe du matin.

Dans le scénario réaliste, il est supposé que les usagers qui ont laissé leur voiture pour faire du covoiturage ou pour prendre l'autobus font plutôt des déplacements de courte distance, qui s'apprennent mieux au transport collectif. La distance moyenne estimée pour

<sup>7</sup> Le modèle régional de planification des transports TRANS est exploité sur une plateforme EMME/3-ENIF. Il couvre toute la région de la capitale nationale et reflète les profils de déplacements existants et les choix exercés en la matière durant les périodes de pointe du matin et de l'après-midi.



un déplacement est d'environ 10 km, soit 20 km aller-retour. Ces déplacements sont effectués tous les jours ouvrables. En soustrayant quatre semaines de congé par an, on obtient 240 jours par année. Ceci correspond au retrait de 4 800 km par année effectués par un véhicule privé. Selon ce scénario, l'impact de la mise en place des mesures de la Ligne verte est le retrait de 200 véhicules.

Dans le scénario optimiste, il est supposé que les usagers laissant leur voiture font des déplacements similaires à la moyenne des usagers circulant sur le pont Lady-Aberdeen et que leur distance moyenne de déplacement est de 15 km, donc 30 km aller-retour<sup>8</sup>. De plus, ce scénario considère que les véhicules ne sont pas seulement retirés les jours ouvrables. Les usagers délaissant leur auto pour l'autobus et le covoiturage prennent des habitudes d'utilisation du transport collectif et emploient ces modes pour d'autres déplacements, les fins de semaine notamment. Selon ce scénario, le kilométrage moyen de 30 km est appliqué à 320 jours par année, pour un total de 9 600 km.

La consommation moyenne des véhicules particuliers, incluant les automobiles et les camions légers, est estimée à 10,5 litres/100 km selon les données de l'Office de l'efficacité énergétique de Ressources naturelles Canada pour la province de Québec en 2006. Cette même source a permis de calculer un taux d'émission moyen de 2,44 kg de GES par litre d'essence.

Selon le **scénario réaliste**, le retrait de **200 véhicules** sur le pont Lady-Aberdeen durant les périodes de pointe résulte en une réduction de **245 tonnes de GES par an**. Selon le **scénario optimiste**, le retrait de **380 véhicules** correspond à une baisse de **935 tonnes de GES par an**.

De plus, la mise en service d'autobus hybrides a contribué à réduire les GES. Selon les résultats des analyses, les autobus hybrides de la STO ont consommé en moyenne 50 litres/100 km alors que les autobus diesel standard ont consommé 58 litres/100 km. Pour une moyenne de 70 000 km par année, ceci représente une économie de 5 600 litres par année. En appliquant un taux d'émission de GES de 2,7 kg de GES par litre de diesel, on obtient une réduction de **15 tonnes de GES par année** pour chaque autobus hybride. Cette réduction est plus faible que celle obtenue par les autobus de la STM qui sont équipés d'un moteur à combustion interne de génération plus récente.

Au total, la réduction des émissions de GES obtenue grâce au projet de la Ligne verte, en tenant compte du retrait de 200 véhicules et de la mise en service de deux autobus hybrides, est d'environ 275 tonnes durant une année. Selon le scénario plus optimiste, cette réduction est de 965 tonnes de GES par an.

Notons qu'il s'avère complexe avec les données disponibles d'évaluer de manière précise la réduction des GES liée au transfert modal. Certes, on observe un changement de comportements dans les modes de déplacement dans le corridor de la Ligne verte. L'accroissement de l'achalandage des autobus dans le corridor de la Ligne verte, la réduction du trafic sur le pont Lady-Aberdeen et la croissance du taux d'occupation le confirment. Cependant, il n'est pas possible d'établir précisément le nombre d'usagers qui ont délaissé leur voiture pour le transport collectif et quelles sont leurs habitudes de déplacement sur une base annuelle.

---

<sup>8</sup> Ceci suppose que les 270 véhicules retirés pour du covoiturage parcouraient une distance de 18 km et les 110 véhicules retirés pour l'autobus parcouraient une distance de 8 km.

## 5.3 Application des résultats

Les résultats observés en termes de réduction des GES correspondent à deux projets très localisés sur un petit échantillon, soit dix autobus hybrides (huit à la STM et deux à la STO) et une ligne de transport collectif dans le cas de la Ligne verte. L'intérêt réside dans le développement des mesures mises en place dans le cadre de la Ligne verte ainsi que la technologie hybride à une échelle beaucoup plus grande.

Ainsi, si on appliquait les réductions de GES obtenues par la technologie hybride, telle qu'elle est testée par la STM, à une partie du parc d'autobus canadien, on obtiendrait des résultats de beaucoup plus grande envergure, de l'ordre de centaines de kilotonnes de réduction de GES. Bien que l'impact de cette technologie sur les autobus Nova 2008 utilisés à Montréal ne laisse aucun doute à cet effet, l'impact n'a pas été étudié sur d'autres types d'autobus.

Quant aux aménagements réalisés dans le cadre de la Ligne verte, les impacts précis sur les GES sont plus difficilement quantifiables, mais ne sont pas pour autant négligeables. L'application des mesures préférentielles contribue à améliorer le service de transport collectif tout en rehaussant l'image du transport en commun auprès de la population. Ceci favorise les changements d'habitude de déplacements des usagers pour des modes de transport durable. Ces modifications appliquées sur une longue période et sur un plus grand échantillon peuvent générer des réductions de GES substantielles.

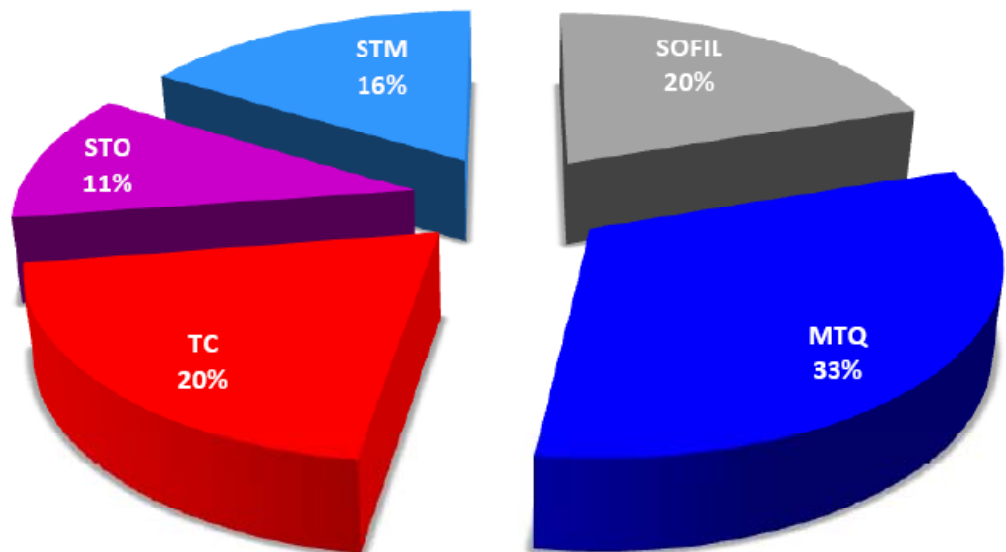
## 6 Bilan financier

Cette section établit le bilan financier des sommes investies dans le projet. Il s'agit de la source des investissements et des activités dans lesquelles ont été réalisées les dépenses.

### 6.1 Coûts du projet - planification budgétaire

Lors de la planification du projet, les coûts estimés représentaient un investissement totalisant 19,7 M\$ (Figure 6-1), soit 2,2 M\$ de la STO, 3,2 M\$ de la STM, 6,4 M\$ du gouvernement du Québec et 4 M\$ du gouvernement fédéral, en plus de 3,9 M\$ qui proviendront de la SOFIL issue du transfert de la taxe d'accise fédérale sur l'essence.

**Figure 6-1 Montant de participation (en millions de \$)**



Une entente de contribution est intervenue entre Transports Canada et la STO en mars 2008. Ce protocole comprenait différentes parties, dont :

- L'échéancier du projet;
- Le taux de participation de financement de Transports Canada;
- Les livrables du projet permettant de bénéficier des montants de remboursement planifiés.

La STO a pu réclamer jusqu'à 4 000 000 \$ pour le PDTU à Transports Canada. À la suite d'une entente de partenariat avec la STO, la STM a eu droit à 50 % du montant de cette subvention, soit 2 000 000 \$.

Les montants réclamés au gouvernement provincial s'inscrivent, eux, dans le cadre des programmes de subventions courants d'acquisition de nouveaux autobus SOFIL ainsi qu'aux infrastructures (programmes MTQ).

**Pour plus d'informations, veuillez consulter le rapport financier.**

## 6.2 Suivi périodique du projet

Le budget a été scindé sur trois années civiles : 2007, 2008 et 2009. Le Tableau 6-1 ci-dessous présente les montants investis au cours de chacune des périodes pour chacune des activités du projet.

**Tableau 6-1 Montants investis**

	2007		2008		2009		Cumulatif STO-STM + MTQ	Cumulatif TC	Cumulatif total
	STO, STM, MTQ	TC mars 2007	STO, STM, MTQ	TC mars 2008	STO, STM, MTQ	TC mars 2009			
<b>Matériels</b>	3 248 300 \$	108 500 \$	3 953 253 \$	1 976 330 \$	1 426 166 \$	261 605 \$	<b>8 627 719 \$</b>	<b>2 346 435 \$</b>	<b>10 974 154 \$</b>
<b>Infrastructures</b>	0 \$	0 \$	44 655 \$	22 324 \$	747 704 \$	249 235 \$	<b>1 041 593 \$</b>	<b>271 559 \$</b>	<b>1 313 152 \$</b>
<b>Logistique</b>	0 \$	0 \$	295 400 \$	147 678 \$	342 496 \$	386 298 \$	<b>1 024 194 \$</b>	<b>533 976 \$</b>	<b>1 558 170 \$</b>
<b>Exploitation</b>	0 \$	3 200 \$	75 657 \$	37 822 \$	0 \$	2 520 \$	<b>78 177 \$</b>	<b>43 542 \$</b>	<b>121 719 \$</b>
<b>Interligne (coûts des heures et de l'entretien supplémentaires)</b>	0 \$	0 \$	23 467 \$	11 732 \$	0 \$	414 617 \$	<b>438 084 \$</b>	<b>426 349 \$</b>	<b>864 433 \$</b>
<b>Entretien</b>	0 \$	5 350 \$	47 592 \$	23 792 \$	0 \$	28 450 \$	<b>76 042 \$</b>	<b>57 592 \$</b>	<b>133 634 \$</b>
<b>Sous-total</b>	<b>3 248 300 \$</b>	<b>117 050 \$</b>	<b>4 440 024 \$</b>	<b>2 219 678 \$</b>	<b>2 516 366 \$</b>	<b>1 342 724 \$</b>	<b>11 285 809 \$</b>	<b>3 679 452 \$</b>	<b>14 965 261 \$</b>
<b>Gestion et administration</b>	0 \$	0 \$	135 518 \$	67 748 \$	0 \$	252 800 \$	<b>135 518 \$</b>	<b>320 548 \$</b>	<b>456 066 \$</b>
<b>Coût total du projet</b>	<b>3 248 300 \$</b>	<b>117 050 \$</b>	<b>4 575 542 \$</b>	<b>2 287 426 \$</b>	<b>2 516 366 \$</b>	<b>1 595 524 \$</b>	<b>11 421 327 \$</b>	<b>4 000 000 \$</b>	<b>15 421 327 \$</b>

\*Les montants finaux sont inférieurs aux montants planifiés, le projet n'aura coûté que 15.4 M\$ au lieu de 19.7 M\$. Cela s'explique essentiellement par le fait que d'autres programmes ont notamment permis le financement des autobus standards de la STO.

La STO et la STM ont réalisé le projet PDTU en respectant l'enveloppe budgétaire disponible. Ces investissements ont permis de démontrer divers éléments liés à l'environnement et les actions que les sociétés de transport peuvent mettre en œuvre afin de réduire l'émission des GES. Grâce à l'investissement fait dans le cadre de ce projet, il a été possible d'identifier divers éléments qui pouvaient contribuer à la réduction de GES.

Par ailleurs, cette expérience dans le cadre du PDTU a été menée à petite échelle. Les éléments financiers présentés ici apparaissent alors comme un outil permettant d'envisager le déploiement sur des territoires plus importants de la totalité, ou plus vraisemblablement de parties du projet réalisé par la STO et la STM dans le cadre du PDTU. Ainsi, à l'échelle d'une ville, d'une province ou d'un pays, il serait possible d'implanter et de mettre en service des éléments similaires à ceux présentés ici pour multiplier les économies de carburant, accentuer le transfert modal vers le transport en commun et diminuer la réduction de GES.

**Pour plus d'informations, veuillez consulter le rapport financier.**

## 7 Conclusions

### 7.1 Les autobus hybrides

L'objectif principal de cette étude consistait à mesurer l'impact environnemental des autobus à propulsion hybride en les comparant à des autobus diesel standard. Les résultats des analyses, sur une période d'un an, ont permis de dresser un portrait détaillé et concluant sur les bienfaits environnementaux de la technologie hybride.

La technologie hybride (Nova 2008) a permis de réduire la consommation de carburant en moyenne de **30 %** par rapport à la propulsion standard. La vitesse commerciale moyenne des autobus suivis dans le cadre du projet a été d'environ **18 km/h**, tandis que le nombre d'arrêts moyen a été de 3,8 par kilomètre. La moyenne des températures pendant l'année qu'a duré le projet a été de 6,6 °C.

Les analyses des résultats ont montré que la technologie hybride est particulièrement avantageuse lorsque la vitesse d'opération moyenne est relativement basse et que la distance entre les arrêts demeure courte. Les principaux résultats obtenus après un an d'essai en service clientèle, selon les conditions en vigueur à la STM, sont les suivants :

- L'autobus hybride consomme environ 20 litres/100 km de moins que l'autobus témoin lorsque le nombre d'arrêts par kilomètre varie entre deux et dix;
- Par temps froid, la consommation de carburant de l'autobus hybride est plus grande. À 18 km/h, la consommation de carburant de l'autobus hybride augmente de 16 % lorsque la température extérieure passe de +15 °C à -15 °C. Cette variation est de 2 % pour l'autobus témoin;
- Le niveau d'accélération a un impact plus prononcé sur la consommation de carburant pour l'autobus témoin. À 18 km/h, une accélération agressive génère une consommation de carburant de 42 % plus élevée qu'une accélération douce dans le cas de l'autobus témoin. Cette variation est de 18 % dans le cas de l'autobus hybride.

**Les outils d'analyse** développés au cours de cette étude permettent à tout gestionnaire d'une société de transport d'évaluer les bienfaits escomptés de la technologie hybride à partir de facteurs facilement mesurables tels que la vitesse totale moyenne et la consommation totale. De plus, les données recueillies permettent d'établir les circonstances dans lesquelles la technologie hybride est optimale, entre autres, en termes de température extérieure ou de taux d'accélération.

Sans égard au prix de revient, la technologie hybride électrique alliée à un moteur thermique optimisé demeure pour le moment **le moyen le plus performant** pour réduire la consommation de carburant et conséquemment les émissions de GES pour les sociétés de transport où la vitesse commerciale et la distance entre les arrêts sont faibles. Par ailleurs, l'analyse des coûts du cycle de vie et l'évaluation des coûts d'implantation doivent être complétées afin de quantifier tous les impacts financiers à encourir si la propulsion hybride était intégrée au parc d'autobus. Finalement, il faut aussi tenir compte des attentes de la clientèle et de l'impact que l'introduction d'une telle technologie peut avoir sur l'image de la société de transport. Un impact positif pourrait engendrer une augmentation de l'achalandage et un transfert modal au bénéfice du transport en commun.

Notons que par le biais de cette étude, **d'autres technologies** ont pu être testées et se sont montrées prometteuses. Le remplacement du système de ventilation hydraulique par un système électrique à bas voltage permet de réduire les émissions de GES tant pour les autobus hybrides que les autobus standard, et ce, à un coût d'implantation avantageux. L'optimisation de la programmation des transmissions standard permet de réduire les émissions de GES des autobus réguliers tout en nécessitant un investissement minimal.

**Ainsi, c'est la multiplication des données récoltées dans le cadre de l'utilisation des autobus hybrides qui fait de cette expérience une base de référence extrêmement utile : elle permet ainsi de donner un outil servant à estimer les résultats prévisibles pour tout gestionnaire de société de transport en fonction de conditions d'utilisation très variées dans leur flotte respective.**

## 7.2 La Ligne verte

Grâce à la Ligne verte, une augmentation de l'achalandage de 7,7 % a été constatée durant les périodes de pointe, bien supérieure à la croissance moyenne observée sur l'ensemble du réseau de 2,2 %. De plus, le nombre de véhicules particuliers a diminué de 6 % sur le pont Lady-Aberdeen et le taux d'occupation est plus élevé que sur les autres ponts. Le transfert modal a été occasionné par la mise en place de mesures combinées. Ces mesures concernent la qualité et le confort des lignes de transport en commun et des zones d'arrêt, l'augmentation de la fiabilité des horaires des trajets et l'image des transports en commun rendus plus écologiques (autobus à propulsion hybride).

De plus, bien que les mesures prioritaires apportées améliorent peu le temps de parcours des autobus, en revanche, elles permettent une plus grande fiabilité et stabilité du service. Un tel constat contribue à la satisfaction des usagers qui sont alors assurés d'un service correspondant à leurs attentes.

**Le projet de la Ligne verte démontre ainsi avec beaucoup de pertinence dans quelle mesure la clientèle est sensible à l'amélioration du service de transport en commun. Ainsi, en plus de la seule performance des autobus, il importe de développer des mesures pertinentes pour faire de l'autobus un mode de transport moderne, convivial et confortable et de communiquer en ce sens.**

Le projet de la Ligne verte peut ainsi apporter une aide à la décision précieuse auprès des décideurs de sociétés de transport en commun, dans l'objectif de développer des stratégies apportant à la fois confort et performance au réseau d'autobus.

## 7.3 La réduction des GES

Selon l'étude de **la technologie hybride** sur les autobus de la STM, la réduction de la consommation de carburant obtenue avec les autobus hybrides se traduit en une réduction des émissions des gaz à effet de serre de près de **36 tonnes annuellement par autobus**, selon une hypothèse de 70 000 km parcourus par année. Plus spécifiquement, notons que :

- Les moteurs conformes à la norme EPA 2007 n'émettent pas de quantité significative de particules ni d'hydrocarbures totaux (HCT);
- Le système de propulsion hybride émet 5 % plus d'oxyde d'azote (NO<sub>x</sub>) que le système de propulsion standard et 36 % moins de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>).



L'impact précis des aménagements réalisés dans le cadre de la **Ligne verte** est plus difficilement quantifiable, mais n'est pas pour autant négligeable. Le projet de la Ligne verte a généré une réduction des émissions de GES estimée entre **245 et 935 tonnes** grâce à des **changements de comportements**, auxquelles viennent s'ajouter **30 tonnes** réduites directement par l'utilisation de **deux autobus hybrides**.

Toutefois, les bénéfices obtenus dans le cadre de la Ligne verte ou de la technologie hybride doivent être mis en perspective aussi bien à une échelle plus large que sur une période de temps plus longue. C'est alors que ces projets présentent des perspectives extrêmement encourageantes :

1. La mise en service de véhicules hybrides sur une partie du parc d'autobus intra-urbains recensé au Canada pourrait générer une réduction de l'ordre de centaines de kilotonnes de GES par année;
2. La mise en place de mesures préférentielles du type de la Ligne verte améliore l'efficacité et le confort du transport collectif pour le rendre plus concurrentiel à l'automobile. Ceci peut engendrer des changements de comportement favorisant l'utilisation de modes de transport durable. Ces modifications appliquées sur une longue période et sur un plus grand échantillon peuvent générer des réductions considérables de GES.