



*Démonstration et évaluation du biodiésel
à la Société de transport de Montréal (STM)*

Rapport de fin de projet



*Démonstration et évaluation du biodiésel
à la Société de transport de Montréal (STM)*

Rapport de fin de projet

Avant-propos

Le présent rapport a été élaboré par l'équipe du projet **BIOBUS** sous l'autorité du comité directeur. Il résulte des efforts concertés des représentants des quatre partenaires responsables de sa réalisation — l'Association canadienne des carburants renouvelables (ACCR), la Fédération des producteurs de cultures commerciales du Québec (FPCCQ), la Société de transport de Montréal (STM) ainsi que l'entreprise Rothsay – Laurenc (Groupe Aliments Maple Leaf) —, des gouvernements du Canada et du Québec, qui en ont assuré le financement, de même que des membres des différents comités. Tous les représentants ont pris part aux différentes étapes de validation du contenu.

Le projet **BIOBUS** a fait l'objet d'un programme de mesures réalisées dans des conditions normales d'exploitation. Les conclusions qui en découlent n'ont donc qu'une portée prescriptive et n'engagent d'aucune façon que ce soit la responsabilité des décideurs du transport en commun, ni celle des gouvernements et des organisations participantes.

Membres des comités du projet *BIOBUS*

Comité directeur

Bliss Baker
Association canadienne des carburants renouvelables (ACCR)

Claude Barraud
Ressources naturelles Canada

Luc Beaudin
Ministère des Transports du Québec

Claude Bourgault
Rothsay – Laurenc
(Groupe Aliments Maple Leaf)

Daniel Collin
Société de transport de Montréal (STM)

Michel Goulet
Ministère de l'Environnement du Québec

Louise Hamel
Ministère de l'Environnement du Québec,
Responsable du volet communicationnel

Pierre Hosatte
Équipe de projet (ACCR – FPCCQ),
Responsable du volet technique

Camil Lagacé
Équipe de projet (ACCR – FPCCQ),
Directeur du projet

Armand Mousseau
Fédération des producteurs de cultures commerciales du Québec (FPCCQ)

Anne-Marie Phan Lan
Développement économique Canada

Pierre Sylvestre
Environnement Canada

Luc Y. Tremblay
Société de transport de Montréal (STM),
Président du comité directeur

Comité technique et de logistique

Sarah Babès
Ministère des Transports du Québec

Raynald Archambault
Ministère des Ressources naturelles du Québec

Luc Beaudin
Ministère des Transports du Québec

Claude Bourgault
Rothsay – Laurenc
(Groupe Aliments Maple Leaf)

Philippe Coutu
Société de transport de Montréal (STM)

Pierre Hosatte
Équipe de projet (ACCR – FPCCQ),
Président du comité

Jacques Jobin
Ultramar

Douglas Labelle
Agence de l'efficacité énergétique du Québec

Camil Lagacé
Équipe de projet (ACCR – FPCCQ)

Denis Lamothe
SGS Canada

Georges Lè
Ministère des Ressources naturelles du Québec

Johnny Mulfati
Cummins Canada

John Patitsas
TWD Technologies

René Pigeon
Ressources naturelles Canada

Jean-Claude Raymond
Ministère de l'Environnement du Québec

Martin Roberge
Ministère de l'Industrie et du Commerce du Québec

Denis Soucy
Société de transport de Montréal (STM)

Michel Souigny
Centre de technologie environnementale (CTE)
Environnement Canada

Pierre Sylvestre
Environnement Canada

Comité de communication

Maxime-Pierre Ayotte
Ministère des Transports du Québec

Claude Bourgault
Rothsay – Laurenc
(Groupe Aliments Maple Leaf)

Sylvie Bussièrès
Société de transport de Montréal (STM)

Thérèse Drapeau
Environnement Canada

Louise Hamel
Ministère de l'Environnement du Québec,
Présidente du comité

Camil Lagacé
Équipe de projet (ACCR – FPCCQ)

Hélène Saint-Pierre
Développement économique Canada

Kathleen Smith
Ressources naturelles Canada

Comité de pilotage – STM

Pierre Bellemare
Denis Bissonnette
Richard Boyer
Sylvie Bussières
Daniel Collin
Philippe Coutu
Jacques Durocher
Roger Gagnon
Serge Jolin
Gaston Larouche
Jacques Légaré
William Mance
Luc Martin
Serge Savard
Denis Soucy
Robert Stafford
N vine Tadro
Luc Y. Tremblay

Participation directe du CT Frontenac

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

Collaboration spéciale – STM

Claude Beaudry
Robert Collin
Claude Dauphin
Jacques Deslauriers
Yves Devin
Charles Dubois
Miville Dupuis
Jacques Fortin
Alain Fraser
Robert Gagné
Michel Gagnon
Anne-Marie Giuliani
Renée Halley
Michel Lauzier
Michel Lavallée
Daniel Maillé
Robert Olivier
Gilline Pageau
Odile Paradis
Pierre Pelletier
Pierre Raby
Pierre Rocray
Roger Saint-Hilaire
André Therrien
Sylvie Tremblay
Denise Vaillancourt
Marc Vandecastel
Pierre Vandelac

Remerciements

Aux représentants des
organisations suivantes :
Marcel Ayoub
Ministère des Transports du Québec
Jean Colpron
Transport Colpron Itée
Benoît Drolet
Ministère des Ressources naturelles
du Québec
Marc Labelle
Fédération des producteurs de cultures
commerciales du Québec (FPCCQ)
Denis Couture
Fédération des producteurs de cultures
commerciales du Québec (FPCCQ)

  tout le personnel de :
Rothsay – Laurence
(Groupe Aliments Maple Leaf)

 quipe de production du rapport

Coordonnateur
Camil Lagacé
Rédacteurs
Pierre Hosatte
Hélène Michon
Traducteur
Andy Lauriston – PluriVox
Conception et réalisation graphique
Langevin Turcotte
Photographies
Camil Lagacé
Impression
Lithographie G. Monette inc.
Groupe de soutien
Luc Beaudin
Claude Bourgault
Michel Goulet
Michel Souigny
Pierre Sylvestre
Luc Y. Tremblay

Table des matières

Avant-propos	I
Membres des comités du projet <i>BIOBUS</i>	II
Sommaire	VII
1 Mise en contexte	1
Le transport urbain et l'environnement	1
L'intérêt du biodiésel	2
La rigueur de l'hiver québécois	3
Les promoteurs	4
La participation de la STM et la crédibilité du projet	5
Résultats et perspectives	5
2 Approvisionnement en biodiésel à la STM	7
Procédure de mélange et de livraison	7
Quantité de biodiésel utilisée	7
Constats	9
Caractérisation initiale des carburants	10
Caractérisation physicochimique des mélanges de biodiésel	10
Recommandations	13
Coût du biodiésel	13
3 Mesures des émissions	15
Résultats des mesures des émissions	15
Émissions directes de dioxyde de carbone (CO ₂) et de gaz à effet de serre (GES)	17
Utilisation du biodiésel par les sociétés de transport urbain et impact sur les émissions annuelles de CO ₂	17
Impact sur le smog urbain	18
Impacts spécifiques	19
4 Exploitation et entretien du parc de la STM	21
Essais et vérifications préliminaires	21
Impact du biodiésel sur l'exploitation du parc d'autobus	22
Impact du biodiésel sur l'entretien du parc d'autobus	22
Impact du biodiésel sur l'entretien des infrastructures du CT Frontenac	23
Constats	24
Recommandations	24
5 Communication	27
À l'interne	27
À l'externe	27
L'équipe mise à l'honneur	28
Une porte ouverte sur le futur	28
6 Synthèse des constats et des recommandations	31
Recommandations liées à l'approvisionnement	31
Constats liés aux mesures des émissions	31
Constats liés à l'entretien	32
Constats liés à l'exploitation	33
Recommandations liées à l'entretien	33

Liste des annexes

Résultats des mesures des émissions	37
Émissions de monoxyde de carbone (CO)	38
Émissions d'hydrocarbures totaux (HCT)	40
Émissions d'oxydes d'azote (NO _x)	42
Émissions totales de particules (PM)	44
Émissions de particules fines de moins de 2,5 µm (PM _{2,5})	46
Analyse des particules fines de moins de 2,5 µm (PM _{2,5})	48
Émissions de sulfates (SO ₄)	50
Émissions d'hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)	52
Émissions de dioxyde de carbone (CO ₂)	56
Mesures comparées des émissions de différents mélanges de biodiésel	58
Caractérisation des carburants utilisés aux fins du projet BIOBUS	59
Impact du biodiésel sur le rendement des moteurs diésels	60

Liste des tableaux

Potentiel de réduction des émissions de GES de la STM pour l'année 2002	5
Périodes d'utilisation des biodiésels de différentes origines	8
Impact de l'utilisation du B20 par les sociétés de transport urbain sur la réduction des émissions annuelles de CO ₂	17
Composition du parc d'autobus du CT Frontenac aux fins du projet BIOBUS	21
Sommaire des activités de communication	27

Liste des graphiques

Évolution des émissions de CO ₂ par habitant	1
Émissions de GES par habitant liées aux transports	2
Températures minimales et maximales hebdomadaires – 1	3
Quantité de biodiésel utilisée au cours du projet BIOBUS	7
Livraisons hebdomadaires de carburant au CT Frontenac	8
Températures minimales et maximales hebdomadaires – 2	9
Onctuosité des différents carburants	11
Température limite de filtrabilité	11
Point de trouble	12
Indice de cétane mesuré	12
Variations des émissions du B20 par rapport au pétrodiesel de référence utilisé par la STM	15
Émissions de précurseurs d'ozone (NMOG)	18



Ce véhicule roule au biodiesel

BIOBUS

Canada Québec

Sommaire

Un partenariat solide

Le projet **BIOBUS** a été réalisé conjointement par l'Association canadienne des carburants renouvelables (ACCR), la Fédération des producteurs de cultures commerciales du Québec (FPCCQ), la société Rothsay – Laurencio et la Société de transport de Montréal (STM). Fabricant du biodiésel pur, la société Rothsay – Laurencio a approvisionné en biodiésel le Centre de transport (CT) Frontenac de la STM, qui a fourni les 155 autobus ainsi que l'ensemble des infrastructures aux fins de l'expérimentation du carburant. Pour leur part, les gouvernements du Canada et du Québec ont alloué une contribution majeure au financement du projet.

Trois grands objectifs

Échelonné sur une année, soit de mars 2002 à mars 2003, le projet **BIOBUS** poursuivait les objectifs suivants :

- expérimenter l'utilisation du biodiésel comme source d'approvisionnement pour le transport en commun ;
- en évaluer la viabilité dans le cadre de l'exploitation courante des activités de transport, notamment par temps froid ;
- en mesurer les impacts économiques et environnementaux.

Pourquoi le biodiésel ?

Le biodiésel est un ester de méthyle obtenu par la réaction chimique du méthanol avec des matières grasses végétales (huiles végétales ou de friture) ou animales. Il peut s'avérer un carburant de remplacement de premier choix pour le transport en commun car :

- il favorise le développement du transport durable parce qu'il est produit à partir de ressources locales et renouvelables ;
- il contribue de façon significative à la réduction des émissions polluantes et de gaz à effet de serre (GES), ce qui s'inscrit dans l'atteinte des objectifs visés par le Protocole de Kyoto ;
- il est facile d'utilisation, puisqu'il n'exige pas de modifications aux infrastructures existantes de livraison et de distribution du carburant, ni au moteur diésel des autobus.

L'approvisionnement en biodiésel à la STM

Pendant toute la durée du projet **BIOBUS**, les véhicules du CT Frontenac ont consommé 550 000 litres de biodiésel pur — 24 % d'origine végétale, 28 % d'origine animale et 48 % à base d'huiles de friture — mélangés à des concentrations de 5 et de 20 % (soit le B5 et le B20) dans du pétrodiesel. La STM n'a connu aucun problème majeur ni du point de vue de l'entretien, ni du point de vue du service à la clientèle. Au contraire, l'utilisation du biodiésel s'est avérée fort concluante.

Caractérisation physicochimique des mélanges de biodiésel

La norme ASTM D 6751-02 — la seule actuellement reconnue en Amérique du Nord — s'applique exclusivement au biodiésel pur (B100). Pour s'assurer de la qualité du produit, il a donc fallu évaluer les propriétés physicochimiques des mélanges de biodiésel avec le pétrodiesel de référence utilisé par la STM.

Les biodiésels des trois origines (végétale, animale et à base d'huiles de friture) à des concentrations de 5 et de 20 % ont ainsi fait l'objet d'une caractérisation par un laboratoire indépendant. Les résultats obtenus confirment que le biodiésel pur produit par Rothsay – Laurencio respecte la norme ASTM D 6751-02. Il s'en dégage les constats suivants :

Onctuosité

- Même à faible concentration, l'onctuosité (pouvoir lubrifiant des mélanges de biodiésel) est de beaucoup supérieure à celle du pétrodiesel. L'usure du moteur est par conséquent réduite et sa durée de vie, prolongée. Le biodiésel pourrait donc s'avérer un additif intéressant pour les futurs carburants diésels à très basse teneur en soufre (< 15 ppm).

Point de trouble et filtrabilité

- L'utilisation du biodiésel par temps froid avec un point de trouble de - 15 °C ou plus est sécuritaire. Une fois le biodiésel mélangé au pétrodiesel, le mélange doit être refiltré avant la livraison, même si les produits ont été séparément filtrés au préalable. Cette seconde filtration vise à éliminer tout problème potentiel découlant d'une floculation d'esters de certains acides gras si le pétrodiesel est plus froid que le point de trouble du biodiésel au moment du mélange.

Indice de cétane

- Ayant un indice de cétane plus élevé que le pétrodiesel de référence utilisé par la STM, le biodiesel pur améliore l'aptitude à l'allumage des mélanges et réduit les émissions de NO_x.

Rendement énergétique

- Le rendement énergétique des divers mélanges de biodiesel se compare à celui du pétrodiesel. De plus, leur impact sur la performance d'un moteur diesel à injection mécanique est non significatif quant à la puissance, au couple maximal et à la consommation de carburant.

Mesures des émissions

Les mesures ne concernaient que les émissions à la sortie du tuyau d'échappement du moteur. Les résultats permettent de conclure de façon globale que le biodiesel réduit les émissions polluantes et de GES — qu'il s'agisse des émissions réglementées (PM, CO, HCT et NO_x) ou non réglementées (SO₄, HAP, CO₂, et PM_{2,5}) —, tout en contribuant à la diminution du smog urbain.

Émissions directes de dioxyde de carbone (CO₂) et de gaz à effet de serre (GES)

Les émissions directes de CO₂ mesurées pour les moteurs diesels étudiés s'établissent à 600 g par unité de travail produite (CV.h), alors que celles de N₂O et de CH₄ sont de l'ordre du milligramme. Même si elles étaient significatives, les variations de ces deux types d'émissions auraient un impact absolument négligeable sur les bilans des GES. Aussi, seul le CO₂ a été considéré comme un GES aux fins du présent rapport.

Le biodiesel permet de réduire les émissions de GES en raison du fait qu'il a pour origine la biomasse (animale ou végétale) produite selon un cycle de vie de quelques années. Contrairement au pétrodiesel, c'est une source d'énergie renouvelable. Les variations des émissions de CO₂ (mesurées au pot d'échappement) sont négligeables. Il en résulte que les variations de consommation de carburant par unité de travail produite sont non significatives et que l'efficacité énergétique des moteurs est toujours la même après avoir introduit du biodiesel.

Pour les deux types de moteurs, les « émissions de référence de GES » s'établissent à 2,59 kg de CO₂ par litre de pétrodiesel de référence utilisé par la STM. À titre d'hypothèse de travail, on peut avancer que chaque litre de biodiesel pur (B100), utilisé en remplacement d'un litre de pétrodiesel, permet une réduction des GES de 2,33 kg de CO₂. Cette valeur a été déterminée en supposant que le biodiesel évite 90 % des émissions produites par le pétrodiesel de référence parce qu'il contient 10 % de méthanol utilisé pour l'estérification et obtenu à partir du gaz naturel (énergie fossile non renouvelable).

Impact de l'utilisation du biodiesel par les sociétés de transport urbain sur les émissions annuelles de CO₂

Le projet **BIOBUS** a démontré la viabilité de l'utilisation du biodiesel par les sociétés de transport en commun. Dans le cadre du projet, la consommation totale de biodiesel du CT Frontenac de mars 2002 à mars 2003 — soit 550 000 litres à des concentrations de 5 et de 20 % — a entraîné une réduction des émissions de CO₂ de l'ordre de 1 300 tonnes. Comme les résultats démontrent que les baisses des émissions polluantes et de GES sont significatives, on peut affirmer que le recours au biodiesel peut contribuer à les réduire encore davantage à l'échelle du Québec et du Canada.

À titre indicatif, le tableau suivant donne un ordre de grandeur de l'impact du B20 sur la réduction des émissions annuelles de CO₂ en supposant que le moteur Cummins à quatre temps à injection mécanique est représentatif des parcs d'autobus au Québec et au Canada.

Impact de l'utilisation du B20 par les sociétés de transport urbain sur la réduction des émissions annuelles de CO₂

	Unités	CT Frontenac	STM	Québec	Canada
Parc d'autobus		155	1 600	2 850	11 500
Parcours total	km	6,7 millions	70,5 millions	195,3 millions	800 millions
Consommation totale de carburant	litres	4,5 millions	47,2 millions	90 millions	368 millions
Réduction de CO ₂ prévue (B20)	tonnes	2 100	22 000	42 000	171 500

Sources : Répertoire statistique ACTU – Données d'exploitation de 2002 et Projet **BIOBUS**

Impacts spécifiques

L'impact de l'utilisation du biodiésel a aussi été étudié au regard du comportement des deux types de moteurs, de la concentration et de l'origine. On constate que le biodiésel réduit plusieurs émissions polluantes et ce, de manière plus sensible avec le moteur à injection électronique qu'avec le moteur à injection mécanique (notamment pour les NO_x et les PM). Toutefois, on ne peut pas conclure à un rapport de proportionnalité entre la réduction des émissions et la concentration de biodiésel dans le mélange, ni favoriser une origine en particulier.

Impact du biodiésel sur l'exploitation et l'entretien du parc d'autobus

Du point de vue de l'exploitation, l'utilisation du biodiésel n'a donné lieu à aucun incident ayant pu compromettre la continuité du service. L'analyse globale des données n'a pas permis de conclure à une variation de la consommation. En ce qui concerne l'entretien mécanique, la majorité des autobus — y compris les anciens modèles équipés de filtres de carburant de 25 µm et ceux plus récents à moteur à injection électronique — se sont bien comportés pendant et après la conversion au biodiésel. Même les deux véhicules avec moteurs Cummins à injection électronique ayant servi à expérimenter les biodiésels les plus à risque (à savoir les B20 à base d'huiles de friture et de graisses animales) pendant la période la plus froide de l'hiver ont parcouru près de 10 000 km chacun sans aucun problème.

Le biodiésel n'a causé aucun problème mécanique aux autobus (notamment en ce qui concerne le système d'injection de carburant) ni de dégradation des éléments d'élastomères en contact avec le carburant. La période de décrassage a été plus longue que prévue dans le cas des autobus équipés de filtres de 10 µm, entre autres parce qu'on a utilisé du B5 pendant plus de trois mois avant de passer au B20. Toutefois, les incidents sporadiques occasionnés par les filtres les plus fins (10 µm) n'ont pas eu d'impact réel sur les activités de la STM, ni engendré de coûts significatifs imprévus. De même, l'utilisation du biodiésel par temps très froid (à des températures atteignant entre - 20 °C et - 30 °C la nuit) n'a pas donné lieu à des complications particulières et ce, en dépit du point de trouble. Le problème pourrait être éliminé si les producteurs en viennent à utiliser des procédés leur permettant de contrôler le point de trouble du biodiésel pur.

Recommandations globales

Le projet **BIOBUS** a permis de démontrer, en conditions réelles d'exploitation, que l'utilisation du biodiésel est viable dans une région comme Montréal, où le climat peut atteindre jusqu'à - 30 °C en hiver et qu'il est possible d'approvisionner en continu une société de transport de la taille de la STM. Toutefois, il importe de prendre certaines précautions.

Tout problème lié aux infrastructures a un impact direct sur la suite du processus d'alimentation, d'où la nécessité de respecter l'uniformité de la chaîne de filtration en vue de préserver la qualité du mélange. Il est primordial d'exiger des fournisseurs des filtres dont les performances ont été fixées à la suite d'une procédure d'essai documentée. De plus, à l'étape d'introduction du biodiésel, il importe d'utiliser dès le départ la concentration souhaitée (par exemple, du B20) — plutôt que d'y arriver progressivement en passant par des concentrations intermédiaires — pour éviter de prolonger la période de décrassage. Enfin, il faut prévoir une formation adéquate du personnel technique afin de le sensibiliser à l'importance de bien identifier la source d'un problème pour être à même de poser un diagnostic juste, notamment au cours de la période de décrassage.

Des efforts porteurs

Le succès du projet est d'abord attribuable à la participation indéfectible des employés de la STM, notamment à ceux du CT Frontenac, qui ont été plus particulièrement engagés dans la grande aventure **BIOBUS**. Le soutien constant des divers partenaires a aussi été déterminant.

Le caractère novateur et la portée globale du projet ont par ailleurs été reconnus. En effet, l'Association québécoise du transport et des routes (AQTR) a décerné à l'équipe de projet le prix Environnement 2003 dans la catégorie « Réalisation technique » lors de son colloque annuel en avril 2003. Soulignons enfin que le projet a été retenu parmi les finalistes en lice pour le prix Phénix, dans la catégorie « Le savoir-faire en matière de développement durable ». Le nom du gagnant a été dévoilé après le dépôt du présent rapport.



BIO BUS

Ce véhicule roule au biodiesel

Canada Québec

Lancé à Montréal en mars 2002, le projet **BIOBUS** visait à expérimenter l'utilisation du biodiésel comme source d'approvisionnement pour le transport en commun, à en évaluer la viabilité dans le cadre de l'exploitation courante des activités de transport, notamment par temps froid et, à en mesurer les impacts économiques et environnementaux.

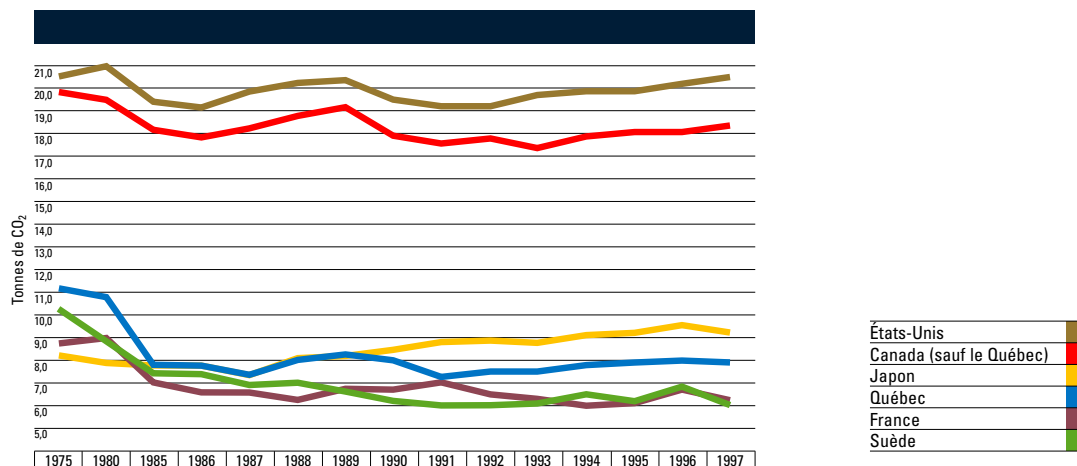
C'est grâce à l'initiative de l'Association canadienne des carburants renouvelables (ACCR), de la Fédération des producteurs de cultures commerciales du Québec (FPCCQ), de la société Rothsay – Laurenco et de la Société des transports de Montréal (STM) que le projet a vu le jour. La société Rothsay – Laurenco, le fabricant du biodiésel pur, et la STM, qui a fourni les 155 autobus ainsi que l'ensemble des infrastructures aux fins de l'expérimentation du carburant, ont joué un rôle clé tout au long de l'année durant laquelle s'est échelonné le projet. Il faut aussi souligner que le projet **BIOBUS** a été soutenu dès le départ par les gouvernements du Canada et du Québec.

Le transport urbain et l'environnement

Le projet **BIOBUS** s'inscrivait dans le cadre des politiques gouvernementales relatives à la lutte contre les changements climatiques, à l'amélioration de la qualité de l'air, à la récupération et à la gestion des matières résiduelles ainsi qu'au développement durable. À la suite de la ratification du Protocole de Kyoto par le Canada en décembre 2002, le gouvernement fédéral a adopté un plan d'action concernant la lutte contre les changements climatiques et exprimé sa volonté de réduire les émissions de gaz à effet de serre (GES).

Pour sa part, le gouvernement du Québec travaille à l'élaboration d'une stratégie visant à mettre en œuvre les engagements qu'il a pris à l'égard du Protocole de Kyoto. Comparativement aux États-Unis et aux autres provinces canadiennes, le Québec émet deux fois moins de CO₂ par personne. Cette performance — qui se rapproche de celle du Japon et de la Suède — est en partie attribuable au développement de l'énergie hydroélectrique, qui a contribué à réduire de 16 % les émissions de CO₂ au cours des 20 dernières années.

Évolution des émissions de CO₂ par habitant

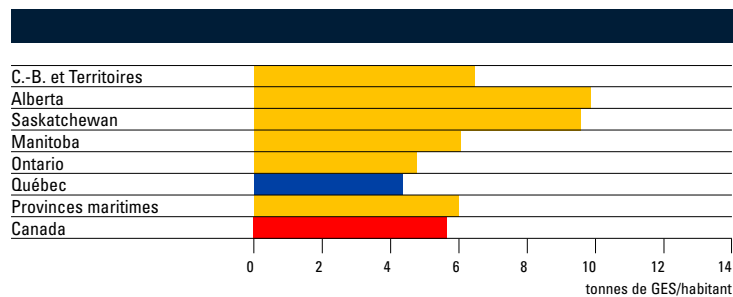


Source: Hydro-Québec, d'après les données de l'OCDE et du MRN, 1999

Au Québec, le secteur du transport routier représente à lui seul 38 % du total des émissions de GES comparativement à 26 % pour l'ensemble du Canada. Le transport en commun est de loin le mode de transport motorisé le moins polluant. L'utilisation d'un biocarburant comme le biodiésel — de plus en plus courante en Europe, notamment en Allemagne et en France — peut constituer, dans l'immédiat, un premier pas vers une gestion plus écologique des transports. Bien que son emploi ne soit pas encore aussi répandu en Amérique du Nord, on envisage d'y avoir recours comme carburant de remplacement pour le transport routier. Les autobus urbains peuvent transporter autant de passagers que 50 automobiles réunies et génèrent six fois moins d'émissions d'oxydes d'azote (NO_x) et de dioxyde de carbone (CO₂) et 18 fois moins d'hydrocarbures (HCT). Il s'avère donc important de sensibiliser la population aux avantages du transport en commun. Ainsi, si on favorisait une plus grande utilisation des transports urbains et d'un biocarburant comme le biodiésel, l'impact sur l'environnement serait d'autant plus important.

Émissions de GES par habitant liées aux transports

(tonnes de GES/habitant)



Source : Les transports et le changement climatique: Options à envisager –
La table des transports et du changement climatique – Novembre 1999

L'intérêt du biodiésel

Parce qu'il contribue à réduire les GES et d'autres émissions polluantes, le biodiésel représente une solution à la fois viable et rentable pour diminuer en partie la quantité de pétrodiesel utilisée pour l'exploitation d'un parc d'autobus urbains. Le projet **BIOBUS** visait justement à vérifier l'impact du recours au biodiésel en conditions réelles d'exploitation, particulièrement par temps froid, et à démontrer qu'il était possible d'approvisionner en biodiésel une grande société de transport en commun comme la STM durant une année. Ainsi, 550 000 litres de biodiésel pur, mélangés à des concentrations de 5 et de 20 % (soit le B5 et le B20) dans du pétrodiesel, ont été utilisés pour alimenter les 155 véhicules du Centre de transport (CT) Frontenac de la STM entre mars 2002 et mars 2003.

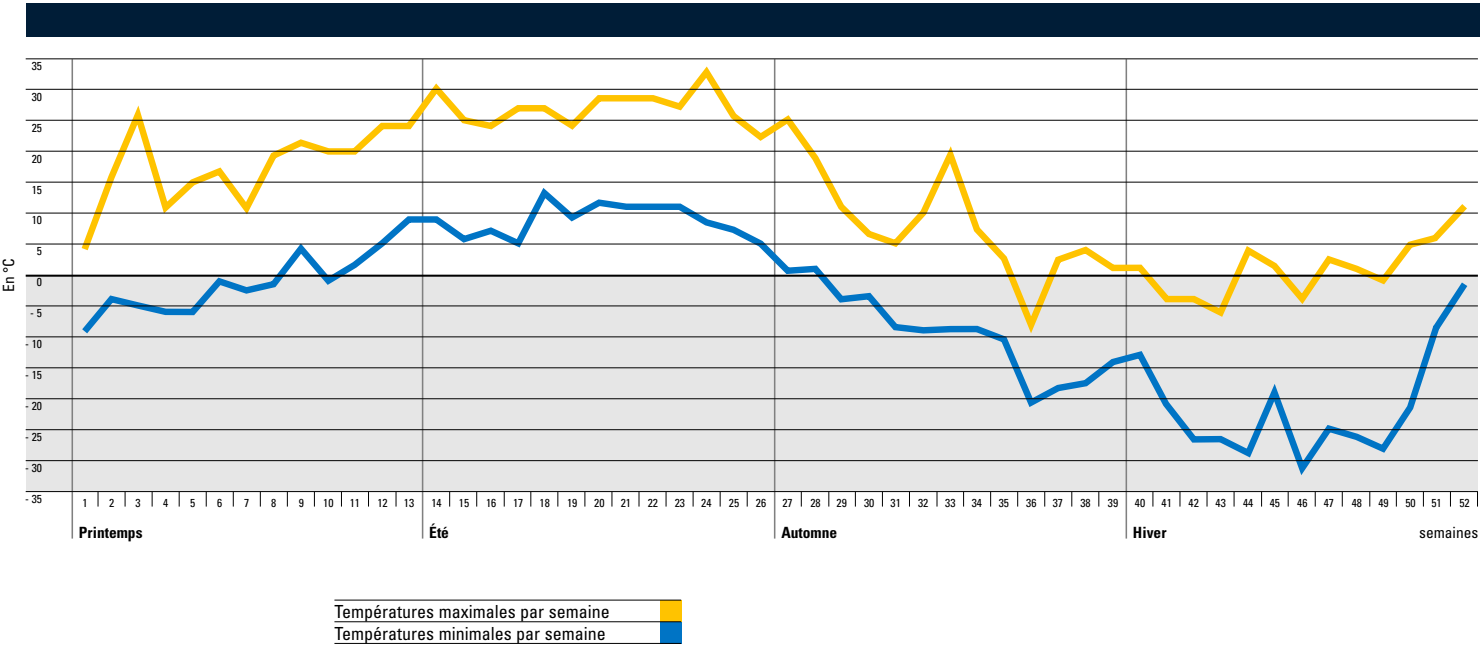
Le projet **BIOBUS** se distinguait également par le type de biodiésel utilisé par la STM, qui était surtout issu de résidus de l'industrie agroalimentaire (huiles végétales non comestibles, huiles de friture et graisses animales). Ailleurs, la très grande majorité de la production provient d'huiles végétales (soja, canola, etc.) de culture commerciale.

Provenant de la biomasse, le biodiésel est une source d'énergie renouvelable qui remplace un hydrocarbure d'origine fossile. Son cycle de production et d'utilisation génère peu d'émissions de GES. Le biodiésel peut permettre de valoriser des résidus dont on n'exploite pas encore pleinement le potentiel, réduisant ainsi les quantités éliminées dans des sites d'enfouissement et évitant d'importantes émissions de GES émanant du dégagement de méthane.

La rigueur de l'hiver québécois

Au Québec, où le mercure descend souvent sous zéro en hiver, le biodiésel pur ne présente qu'un seul inconvénient: il commence à figer entre - 3 °C et 12 °C, selon l'origine des matières grasses le composant. Pour contourner la difficulté, on a mélangé le biodiésel à du pétrodiesel ordinaire, pouvant tolérer des températures de - 25 °C. On peut ajouter jusqu'à 20 % (avec un point de trouble de - 15 C) de biodiésel dans du pétrodiesel (B20), sans que cela ne pose de problème par grands froids. Durant les sept semaines de l'hiver 2002-2003 où la température était plus froide que - 25 °C, les autobus du CT Frontenac de la STM qui roulaient au biodiésel n'ont exigé aucune intervention. Lorsqu'ils sont au repos, ils sont stationnés dans un garage chauffé à environ 15 °C, ce qui représente un avantage majeur.

Températures minimales et maximales hebdomadaires – 1
(période du 29 mars 2002 au 28 mars 2003)



Les promoteurs

Reconnu comme le plus important projet de démonstration et d'utilisation du biodiésel réalisé jusqu'à maintenant en Amérique du Nord dans le domaine du transport en commun, le projet **BIOBUS** se démarquait de projets similaires réalisés dans d'autres pays où le climat est plus tempéré. Il devient donc une référence en matière d'utilisation du biodiésel par temps froid (hiver 2002-2003). Les résultats de la caractérisation physicochimique des mélanges et des mesures d'émissions viennent d'ailleurs étayer l'intérêt de ce nouveau carburant pour approvisionner les parcs d'autobus urbains.

Les partenaires suivants ont agi à titre de promoteurs du projet **BIOBUS** :

Partenaires de réalisation

Société de transport de Montréal (STM)

Afin de contribuer à l'amélioration de la qualité de l'air à Montréal, la STM était particulièrement intéressée à évaluer les impacts de l'utilisation du biodiésel sur ses activités dans le cadre d'un projet de démonstration. La STM a donc été un partenaire clé puisqu'elle a fourni toutes les infrastructures en vue de l'expérimentation du biodiésel dans des conditions réelles d'utilisation. Elle a ainsi servi de vitrine technologique pour les autres sociétés de transport en commun du Canada. La contribution de la STM s'est chiffrée à 368 700 \$.

Rothsay – Laurenco (Groupe Aliments Maple Leaf)

La société Rothsay – Laurenco, qui se spécialise dans le recyclage des résidus agroalimentaires, a assuré l'approvisionnement de la STM en biodiésel pur pendant la durée du projet. Elle a fourni 550 000 litres de biodiésel de trois origines différentes : les huiles de friture (48 %), les graisses animales (28 %) et les huiles végétales non comestibles (24 %). La société, dont la contribution financière s'est élevée à 37 500 \$, a adapté sa production en conséquence, tout en respectant le calendrier du projet.

Association canadienne des carburants renouvelables (ACCR)

Fédération des producteurs de cultures commerciales du Québec (FPCCQ)

L'ACCR est un organisme sans but lucratif dont le mandat est de promouvoir les carburants renouvelables par la sensibilisation des consommateurs et la liaison gouvernementale. Quant à la FPCCQ, elle a pour mission de trouver des débouchés pour les productions québécoises. Dans l'optique du transport durable, les deux organismes se sont faits les promoteurs du projet auquel ils ont alloué une contribution financière conjointe de 10 000 \$.

Partenaires de financement

Gouvernement du Canada

Dans le cadre de sa stratégie visant à favoriser les projets concrets de réduction des émissions de GES, le gouvernement du Canada a décidé d'appuyer le projet **BIOBUS** en partenariat avec Ressources naturelles Canada, Développement économique Canada, Environnement Canada et le programme des Mesures d'action précoce en matière de technologie (TEAM) du Fonds d'action pour le changement climatique (FACC). Ce partenariat visait à évaluer les avantages environnementaux, économiques et sociaux de l'introduction du biodiésel au Canada et à favoriser la commercialisation éventuelle de ce produit comme carburant issu de ressources renouvelables. La contribution financière totale du gouvernement du Canada s'est établie à 515 000 \$.

Gouvernement du Québec

Le projet **BIOBUS** correspondait tout à fait au type d'innovation que s'est engagé à soutenir le gouvernement du Québec dans le *Plan d'action québécois 2000-2002 sur les changements climatiques*, notamment parce qu'il contribue à la transition des combustibles fossiles vers des sources d'énergie renouvelable. Aussi, les ministères de l'Environnement, des Transports, de l'Industrie et du Commerce, des Affaires municipales et de la Métropole et des Ressources naturelles, ainsi que l'Agence de l'efficacité énergétique ont décidé d'allouer un total de 375 000 \$ au projet.

La participation de la STM et la crédibilité du projet

Le transport en commun est un facteur structurant du développement économique et social de Montréal. En ce sens, la participation de la STM a contribué pour beaucoup à la crédibilité d'un projet d'envergure comme le **BIOBUS**. Dotée d'un parc de 1 600 véhicules répartis en 7 centres de transport, la STM assure tous les jours 1,3 million de déplacements sur son réseau. Comme il dessert le cœur du centre-ville de Montréal avec ses artères commerciales et ses nombreux centres d'affaires, le CT Frontenac de la STM a été retenu aux fins de l'expérimentation du biodiésel. Ce sont donc des zones particulièrement denses qui ont bénéficié des impacts positifs de la réduction des émissions polluantes.

Le tableau ci-dessous présente le potentiel de réduction des émissions de GES pour l'année 2002 si l'utilisation du B20 avait été généralisée au CT Frontenac et à l'ensemble du parc de la STM.

Statistiques annuelles pour 2002	CT Frontenac (155 autobus)	Ensemble du parc d'autobus de la STM (1 600 autobus)
Parcours total	6,7 millions de km	70,5 millions de km
Consommation de carburant	4,5 millions de litres	47,2 millions de litres
Réduction de CO ₂ prévue (B20)	2 100 tonnes	22 000 tonnes

Résultats et perspectives

Les résultats découlant de la démonstration et de l'évaluation de ce nouveau carburant renouvelable sont d'autant plus probants compte tenu de l'importance du parc et du volume d'approvisionnement de la STM. Ils peuvent donc être transposés plus facilement au contexte d'exploitation propre à d'autres sociétés de transport.

Dans cette optique, ce rapport présente les principaux constats liés à l'utilisation du biodiésel des points de vue de l'approvisionnement, de l'entretien et de l'exploitation d'une société de transport en commun, tout en mettant en lumière les résultats des mesures d'émissions de GES et d'autres substances polluantes ainsi que les impacts du projet analysés dans une perspective globale.



Le biodiésel — un ester de méthyle obtenu par réaction chimique du méthanol avec des matières grasses végétales (huiles végétales ou de friture) ou animales — est un carburant de premier choix pour le transport urbain :

- **Il favorise le développement du transport durable** — Il est produit à partir de ressources locales et renouvelables, qu'il s'agisse de produits de l'agriculture ou de sous-produits de l'agroalimentaire. Dans le cadre du projet, les graisses animales et les huiles végétales entrant dans la fabrication du biodiésel provenaient du recyclage de déchets de l'industrie agroalimentaire (résidus d'abattoirs, huiles de friture recyclées, huiles vierges non comestibles ou surplus agricoles) qui, autrement, auraient pu être mis au rebut ou rejetés dans l'environnement avec un risque potentiel d'émanation de méthane, l'un des gaz à effet de serre.
- **Il est facile d'utilisation** — À la différence d'autres carburants de remplacement, il n'exige aucune modification des infrastructures de livraison et de distribution du carburant, ni du moteur diesel des autobus des parcs actuels quand il est utilisé à une concentration de 5 à 20 %. Seule l'utilisation par temps très froid nécessite une attention et des vérifications particulières.
- **Il contribue de façon significative à la réduction des émissions polluantes et de gaz à effet de serre (GES)** — Le biodiésel est une source d'énergie renouvelable qui remplace un hydrocarbure d'origine fossile. Son cycle de production et d'utilisation génère peu d'émissions de GES.

Procédure de mélange et de livraison

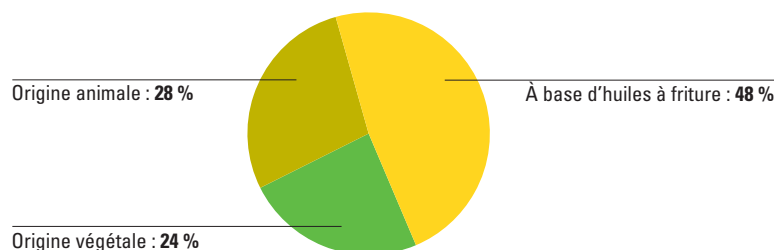
Afin de maintenir l'assurance qualité des produits d'origine et des mélanges, un processus de fourniture et de livraison du carburant, ainsi qu'un programme de contrôle de la qualité du biodiésel pur et des mélanges de B5 et de B20 ont été mis en place.

La société Rothsay – Laurencio a alimenté en biodiésel les 155 autobus du Centre de transport (CT) Frontenac de mars 2002 à mars 2003, à raison de trois livraisons par semaine selon la séquence suivante :

- On procédait à l'approvisionnement en pétrodiesel au terminal d'Ultramar (dans l'est de Montréal) et au remplissage des cuves du camion à un niveau de 80 ou 95 %, selon la concentration souhaitée de biodiésel. On évitait le remplissage au petit matin pour que le pétrodiesel soit le plus chaud possible.
- Le camion de la firme Colpron allait chercher le volume restant de biodiésel chez Rothsay – Laurencio, à Ville Sainte-Catherine (à environ 30 km du terminal d'Ultramar). Le volume de biodiésel était calculé en fonction du volume de pétrodiesel de manière à obtenir la concentration désirée (du B5 et du B20 selon les phases du projet). Si cela était nécessaire, le biodiésel pur était chauffé dans les heures précédant la livraison, à une température suffisamment élevée pour que le mélange final soit, si possible, supérieur à 0 °C.
- Le trajet vers le CT Frontenac permettait un brassage supplémentaire avant le remplissage du réservoir souterrain de la STM.

Quantité de biodiésel utilisée

Au total, 550 000 litres de biodiésel pur — 24 % d'origine végétale, 28 % d'origine animale et 48 % à base d'huiles de friture — ont été consommés au cours du projet **BIOBUS**.



Des biodiésels de trois origines différentes
ont été utilisés durant les périodes suivantes :

1. Huiles végétales:

- B5 : Du 29 mars au 14 juillet 2002
- B20 : Du 15 juillet au 18 août 2002

2. Graisses animales:

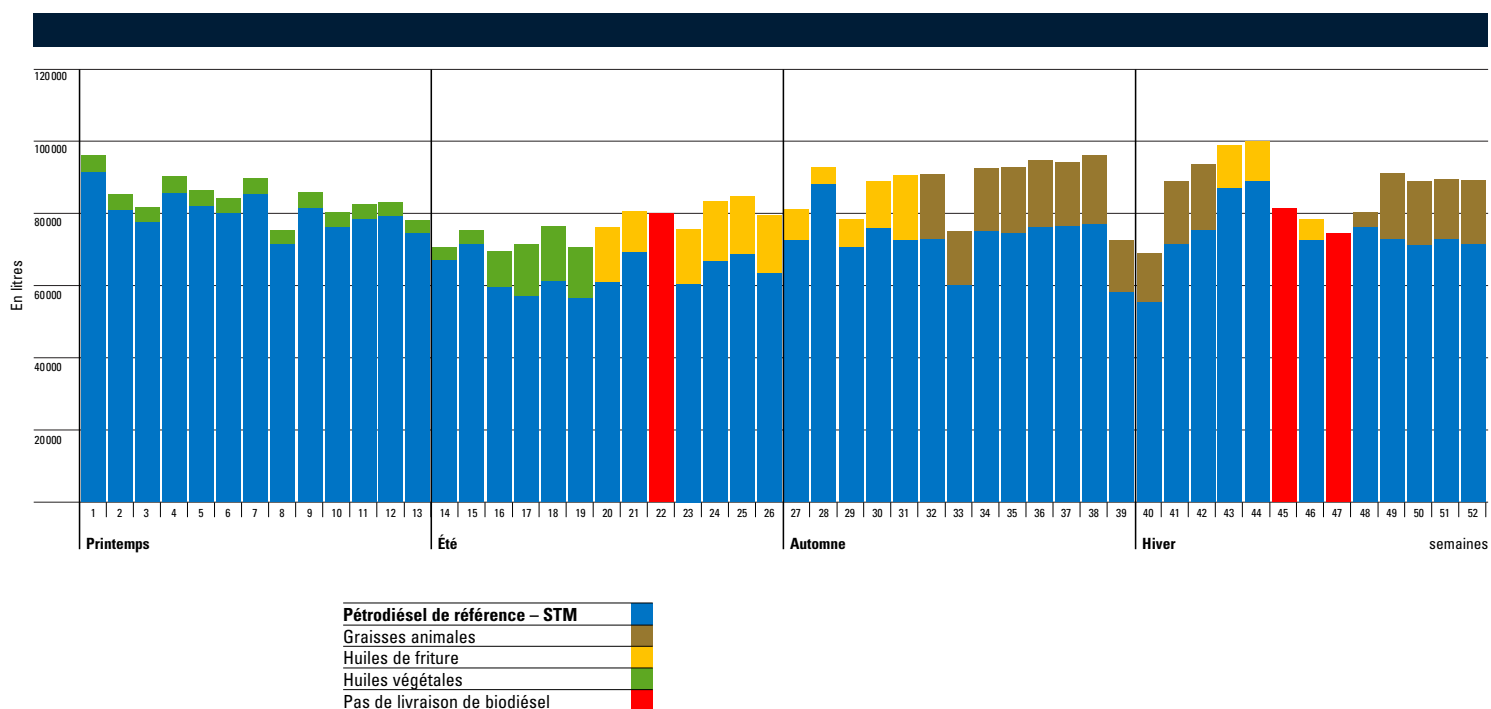
- B20 : Du 19 au 23 août 2002
- Du 2 septembre au 13 novembre 2002
- Du 20 au 31 janvier 2003
- Du 10 au 16 février 2003

3. Huiles de friture:

- B20 : Du 4 novembre 2002 au 19 janvier 2003
- Du 17 février au 28 mars 2003

Livraisons hebdomadaires de carburant au CT Frontenac

(période du 29 mars 2002 au 28 mars 2003)



Ce graphique illustre les livraisons hebdomadaires de carburant au CT Frontenac entre mars 2002 et mars 2003.

Comme l'indiquent les bâtonnets rouges, les livraisons ont dû être suspendues à trois reprises :

1. Dernière semaine d'août (semaine 22): biodiesel d'origine animale (B20)

L'approvisionnement a été interrompu en raison de la prolongation de la période d'encrassement des filtres de certains véhicules équipés de moteurs Cummins avec filtres de 10 µm, situés directement à la sortie du réservoir à carburant. Les autobus dotés de filtres de 25 µm n'ont pas été touchés. À ce moment-là, on ne savait pas si cela était normal et on n'avait pas trouvé d'explication au phénomène. Comme la rentrée scolaire est l'une des périodes de l'année où le service de la STM est le plus sollicité, il était préférable d'être prudent afin de pouvoir maintenir la continuité du service.

On a pu confirmer que le problème était effectivement lié au décrassage des parois des réservoirs, ce qui indiquait que le processus de nettoyage n'était pas terminé. La recherche des causes de cet incident a aussi sensibilisé l'équipe à la nécessité de respecter le niveau le plus fin de filtration, allant du fournisseur jusqu'aux filtres des autobus. On a par ailleurs vérifié que la dégradation biochimique du biodiesel n'était pas en jeu. Un échantillon de B20 prélevé en différents points de la boucle d'approvisionnement (entre la livraison et le contenu du filtre d'un autobus) a été soumis à un test de détection de moisissures et d'activité bactériologique. Le laboratoire a conclu qu'il y avait uniquement des moisissures, ce qui se produit fréquemment avec le pétrodiesel classique.

2. Première semaine de février 2003 (semaine 45): biodiésel d'origine animale (B20)

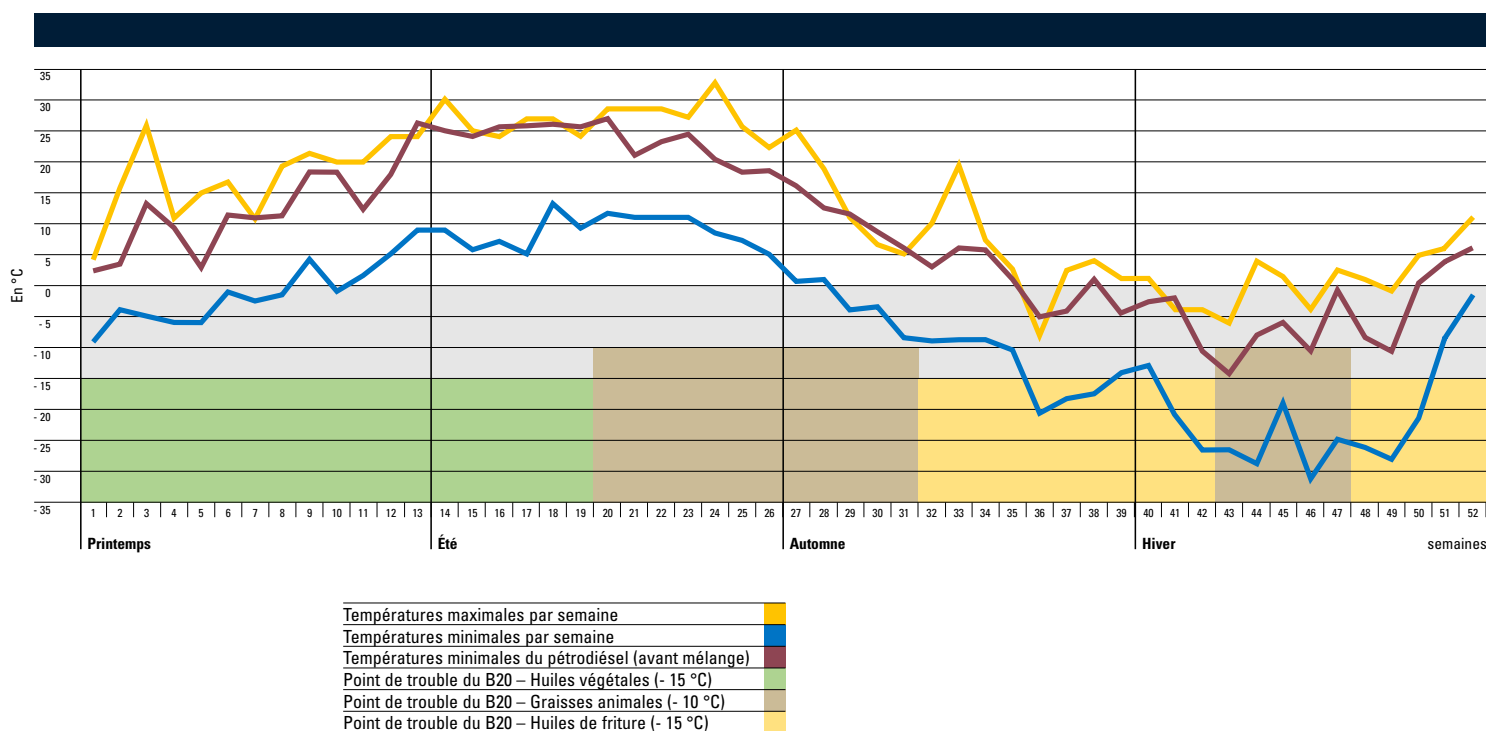
Le défi consistait à utiliser du B20 d'origine animale pendant la période la plus froide de l'hiver. La limite d'utilisation n'était pas liée aux autobus qui devaient rouler au froid, mais plutôt à la difficulté d'obtenir un mélange de qualité lorsque le pétrodiesel atteint des températures inférieures à - 10 °C (voir graphique ci-dessous). Des flocons d'esters de certains acides gras sont apparus et ont bloqué les filtres de la pompe du garage.

3. Troisième de semaine de février (semaine 47): biodiésel d'origine animale (B10)

À la suite du problème survenu au cours de la semaine 45, la concentration de biodiésel d'origine animale a été ramenée à 10 %, mais sans amélioration notable. On a donc décidé de revenir au biodiésel à base d'huiles de friture. L'interruption des livraisons a duré le temps nécessaire pour produire un nouveau lot de biodiésel.

Températures minimales et maximales hebdomadaires – 2

(période du 29 mars 2002 au 28 mars 2003)



Constats

- Comme certains esters de corps gras d'origine animale peuvent causer des problèmes de floculation à l'étape du mélange à basse température, il convient de filtrer à nouveau le mélange avant la livraison à l'utilisateur, même si les produits ont déjà été filtrés séparément avant d'être mélangés.
- Ces incidents ont causé des problèmes aux filtres des pompes de ravitaillement (baisse de débit), mais n'ont pas eu d'incidence sur les véhicules. Quand la chaîne de filtration est respectée, il est plus facile de maîtriser les problèmes potentiels de qualité du carburant.

Caractérisation initiale des carburants

La norme ASTM D 6751-02 est la seule reconnue en Amérique du Nord pour le biodiésel et elle s'applique exclusivement au biodiésel pur (B100). Il fallait s'assurer que les différents produits fabriqués par Rothsay – Laurencos respectaient cette norme.

Il n'existe aucune définition des appellations qualifiant les origines des biodiésels (végétale, animale ou à base d'huiles de friture). Dans le cadre du projet **BIOBUS**, le biodiésel utilisé provenait des trois origines suivantes :

- le lot de biodiésel d'origine végétale a été produit à partir d'huile de soya ;
- le biodiésel d'origine animale a été extrait de graisses de porc et de bœuf en proportions égales ;
- quant aux huiles de friture, il s'agissait surtout d'huiles provenant des restaurants et des entreprises agroalimentaires de la grande région de Montréal. Ce marché est constitué de 75 à 90 % d'huiles végétales et de 10 à 25 % de graisses animales ; la proportion peut changer en fonction de la clientèle auprès de laquelle on recueille les huiles de friture.

Le projet **BIOBUS** visait également l'évaluation des propriétés physicochimiques des mélanges de biodiésel avec le pétrodiesel de référence utilisé par la STM et leur comparaison avec celles du pétrodiesel classique. Cette caractérisation visait à mieux connaître les produits utilisés (biodiésel et pétrodiesel) aux fins du projet et à étayer l'analyse des résultats des séries d'essais effectuées au Centre de technologie environnementale (CTE) d'Environnement Canada, à Ottawa.

Conformité des mélanges de biodiésel aux normes classiques sur le pétrodiesel

Le biodiésel pur fourni par la compagnie Rothsay – Laurencos respecte la norme sur le biodiésel pur (ASTM D 6751-02). Il n'existe actuellement aucune norme sur les mélanges de biodiésel. À titre informatif, les caractéristiques des mélanges ont été comparées aux normes québécoises relatives aux pétrodiesels. À l'exclusion du comportement au froid dont il fallait évaluer les impacts, les mélanges de biodiésel en respectaient tous les critères, sauf l'acidité. Dans le cas du pétrodiesel, ce dernier critère a été établi afin de prévenir la formation excessive de gommes ou de vernis dans les moteurs. Dans le cas du biodiésel pur, la mesure de l'acidité permet de vérifier que la réaction d'estérification est complète et qu'il ne reste plus d'acides gras libres. La question est de savoir s'il est pertinent d'en tenir compte pour les mélanges de biodiésel.

Caractérisation physicochimique des mélanges de biodiésel

La caractérisation physicochimique des mélanges visait à valider la performance du biodiésel. Les analyses effectuées par un laboratoire indépendant ont permis de mieux connaître les mélanges contenant des concentrations de 5 % (B5) et de 20 % (B20) de biodiésel de différentes origines (huiles végétales, huiles de friture et graisses animales) et à les situer par rapport aux normes sur les pétrodiesels. Elles avaient aussi pour but de vérifier la qualité de l'approvisionnement à la STM, notamment à l'égard de la norme ASTM D 6751-02, la seule existant sur le biodiésel pur (B100).

Méthodologie

Les mélanges analysés sont les mêmes que ceux ayant servi aux mesures des émissions sur banc d'essai moteur au CTE. Dans le cadre du projet **BIOBUS**, le pétrodiesel de référence utilisé était celui qui avait été livré à la STM entre février et mai 2002, soit du pétrodiesel n° 2 (de type B) à basse teneur en soufre (500 ppm). Les mélanges de biodiésel ont été faits à partir de ce carburant. Plus d'une vingtaine de critères extraits des différentes normes sur les carburants ont été retenus aux fins de la caractérisation. Le tableau *Caractérisation des carburants utilisés aux fins du projet BIOBUS* en présente le détail en annexe.

Dans la mesure du possible, on a utilisé les mêmes méthodes d'analyse pour le pétrodiesel, le biodiésel et les mélanges. Les résultats obtenus confirment l'intérêt du biodiésel, tout en mettant en relief quelques précautions qu'il importe de prendre en compte pour en garantir une utilisation fiable.

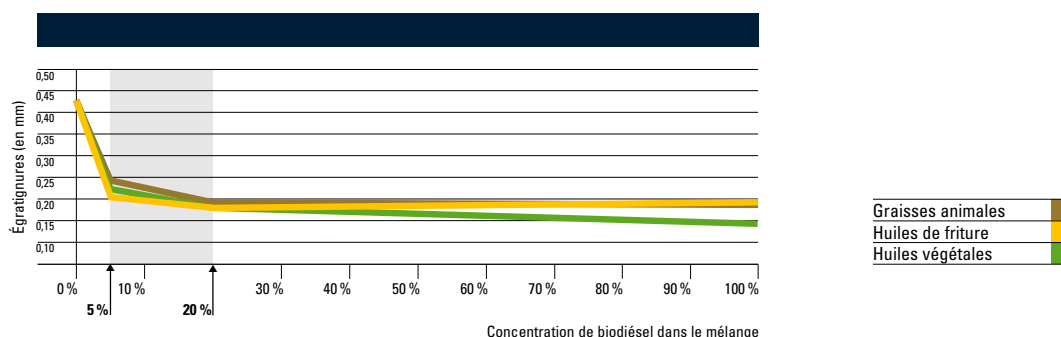
Onctuosité

Même à faible concentration, les mélanges de biodiésel ont une onctuosité (pouvoir lubrifiant) nettement supérieure à celle du pétrodiesel. Cela signifie que certaines pièces mécaniques en contact avec le carburant, notamment la pompe à injection, résisteront mieux à l'usure. Le biodiésel pourrait donc s'avérer un additif intéressant pour les futurs carburants diésels à très basse teneur en soufre (< 15 ppm).

Onctuosité des différents carburants

(selon la norme ASTM D 6079)

Avec le B5, on a observé une diminution de 50 % de l'importance des égratignures par rapport au pétrodiesel pur. Le B20 a la même onctuosité que le B100.



Point de trouble et filtrabilité à basse température

Comme elle souhaitait utiliser du biodiesel d'origine animale au cours de l'hiver, l'équipe de projet a examiné avec attention les conditions d'exploitation des autobus de la STM. Elle a ainsi pu mettre en place une procédure d'utilisation tenant compte de la température minimale qu'aurait pu atteindre le carburant dans des conditions extrêmes. Cette température limite est plus élevée que la température la plus froide de l'hiver, compte tenu des conditions d'utilisation des autobus.

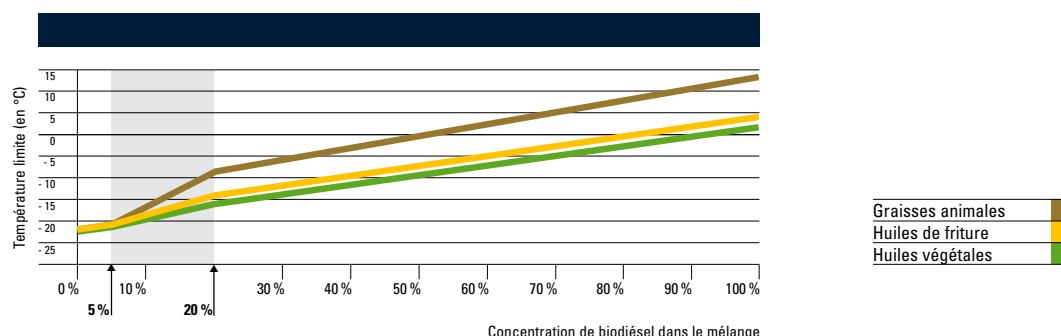
Les mesures ont montré que la température du carburant qui alimentait tous les types d'autobus de la STM (y compris ceux dotés de moteurs à injection électronique) lorsqu'ils sont en marche tendait à se stabiliser à environ 30 °C au-dessus de la température extérieure. Une fois les véhicules à l'arrêt, il s'écoulait environ une heure avant que la température des conduites et du filtre primaire chute d'une vingtaine de degrés. En s'appuyant sur ces observations et sachant que les véhicules du CT Frontenac sont stationnés dans un garage chauffé à environ 15 °C, la STM n'avait pas d'appréhension à utiliser un carburant dont le point de trouble est aussi élevé que - 15 °C, alors que celui du pétrodiesel n° 2 qu'elle achète normalement est de - 24 °C. Elle a même accepté de tester le B20 d'origine animale qui a un point de trouble de - 10 °C.

L'équipe de projet a par ailleurs vérifié qu'on pouvait faire les mélanges de biodiesel à - 5 °C — la température minimale prescrite dans le contrat d'approvisionnement de la STM pour éviter les problèmes de givrage des détecteurs des pistolets de distribution. Cela ne pose pas de problème pourvu que le biodiesel soit suffisamment chaud (par exemple, 30 °C pour le biodiesel à base d'huiles de friture). Or, à cette phase du projet, on ne savait pas que le fournisseur de pétrodiesel ne pourrait pas respecter cette clause relative à la température minimale, notamment en raison des vagues de froid intense de l'hiver 2002-2003. Il a donc fallu procéder à la réalisation de mélanges à partir d'un pétrodiesel pouvant atteindre des températures plus basses que - 10 °C. L'expérience montre que ni le point de trouble du B100, ni la température du mélange final ne sont une indication de la solubilité du biodiesel dans un pétrodiesel à basse température. Ainsi, si on mélange un biodiesel d'origine animale dans du pétrodiesel froid, il ne suffit pas de chauffer le B100 à une température suffisamment élevée pour que le mélange résultant soit à une température supérieure au point de trouble du mélange (par exemple, - 10 °C pour le B20 d'origine animale). En effet, les flocons qui se forment et qui s'agglutinent ne peuvent ensuite se redissoudre complètement, même à plus de 20 °C. Ce problème pourrait être résolu si on modifie le profil des esters d'acides gras des biodiesels d'origine animale pour que leur point de trouble se rapproche de celui du biodiesel d'origine végétale.

Température limite de filtrabilité

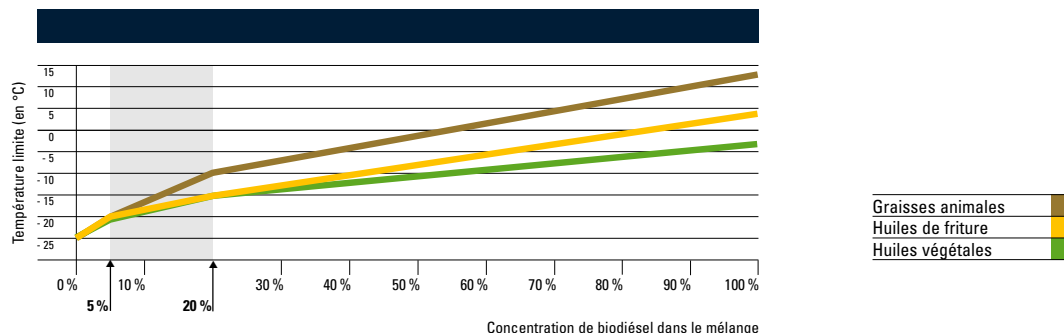
(selon la norme ASTM D 4539 LTFT)

Le graphique ci-contre et celui de la page suivante montrent que l'utilisation du biodiesel d'origine animale représente un plus grand défi par temps froid, surtout à des concentrations supérieures à 5 %.



Point de trouble

(selon la norme ASTM D 2500)



Rendement énergétique

Le rendement énergétique des mélanges de biodiésel utilisés aux fins du projet **BIOBUS** était tout à fait comparable à celui du pétrodiesel. Les résultats des essais réalisés par le CTE indiquent que l'utilisation de mélanges de biodiésel n'a aucun impact significatif sur la performance d'un moteur diesel à injection mécanique, tant sur le plan de la puissance et du couple maximal que sur le plan de la consommation de carburant. L'annexe *Impact du biodiésel sur le rendement des moteurs diesels* en donne le détail.

Le rendement énergétique résulte de la combinaison des trois variables suivantes :

1. Le contenu énergétique

Le biodiésel pur contient typiquement 8 % moins d'énergie que le pétrodiesel par unité de masse.

2. La densité

Le biodiésel est de 5 % plus lourd que le pétrodiesel. Or, le rendement énergétique des moteurs est basé sur le volume de carburant consommé. Il faut donc comparer les contenus énergétiques par unité de volume et non de masse.

En conséquence, le contenu énergétique à considérer pour le biodiésel pur n'est plus que de 4 % inférieur à celui du pétrodiesel. L'impact est de l'ordre de 0,5 % pour le B20 et est non significatif pour le B5.

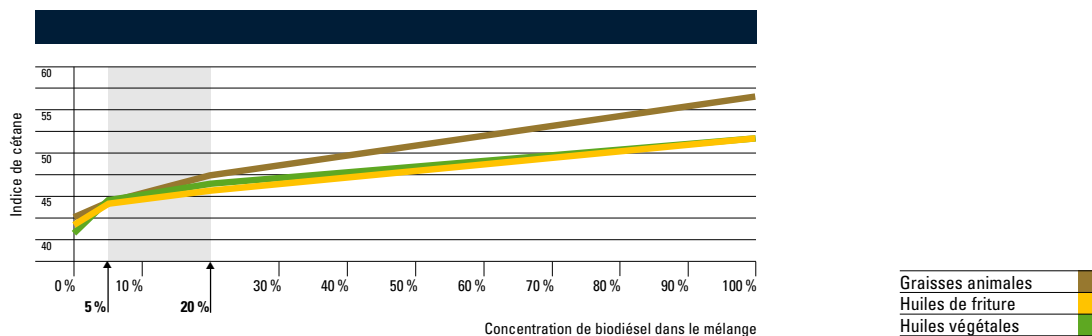
3. L'indice de cétane

Le biodiésel pur a un indice de cétane (mesuré en laboratoire dans un moteur de référence) variant de 52 à plus de 56 (pour le biodiésel d'origine animale) comparativement à un indice de 42 pour le pétrodiesel de référence utilisé par la STM. Cette augmentation favorise l'aptitude à l'allumage et réduit les NO_x comme le confirme le rapport *Comprehensive Analysis of Biodiesel Impacts on Exhaust Emissions (Draft Technical Report EPA 420-P-02-001, octobre 2002)* de l'Agence de protection environnementale des États-Unis.

Indice de cétane mesuré

(selon la norme ASTM D 613)

Un indice de cétane plus élevé se traduit normalement par une meilleure combustion et par une réduction des émissions de NO_x.



Teneur en eau

Les propriétés hygroscopiques du biodiésel peuvent engendrer des teneurs élevées en eau chimiquement liée sans que les mélanges contiennent pour autant d'eau libre ou en suspension. Le biodiésel pur peut atteindre des teneurs excédant 1 000 mg d'eau par kg. Or, les analyses effectuées à la température normale n'ont révélé aucune présence d'eau libre, seulement des sédiments. Il reste cependant à trouver une méthode d'analyse permettant de vérifier si, à une température inférieure, ce constat est toujours vrai pour les mélanges. La présence d'eau peut s'avérer avantageuse pour réduire les émissions (notamment de NO_x) engendrées par un moteur diesel et augmenter son rendement mécanique. Les procédés de stabilisation d'eau par émulsion dans le pétrodiesel en sont d'ailleurs la preuve. Il y aurait donc lieu de tirer profit du fait que le biodiésel est apte à accroître le taux d'humidité souhaité du carburant, du moins par temps chaud.

Stabilité thermique

On a évalué le risque de dégradation du carburant lorsqu'il est soumis à un échauffement dans la boucle d'alimentation d'un moteur diesel. Les mélanges de biodiésel n'ont montré aucun changement significatif à l'égard de la stabilité thermique, même après avoir été exposés à l'humidité et à des températures supérieures à 70 °C (température du carburant dans les réservoirs des autobus en été). De plus, les échantillons prélevés ne comportaient aucune bactérie, seulement des traces de moisissures, ce qui est courant dans le cas des produits pétroliers.

Point d'éclair

Le point d'éclair du biodiésel pur est plus élevé (entre 150 et 190 °C) que celui du carburant diesel (50 °C). Toutefois, l'inflammabilité des mélanges n'est pas touchée car c'est la tension de vapeur du constituant le plus volatil du mélange qui est déterminante.

Recommandations

À la lumière de ces résultats, on peut faire les recommandations suivantes :

- Une fois le biodiésel mélangé au pétrodiesel, le mélange doit être filtré avant la livraison, même si les produits ont été filtrés séparément au préalable. Cette seconde filtration vise à éliminer tout problème lié à une éventuelle floculation d'esters de certains acides gras si le pétrodiesel s'avère plus froid que le point de trouble du biodiésel au moment du mélange.
- Il est primordial de s'assurer de l'uniformité de la chaîne de filtration du processus d'approvisionnement en exigeant des fournisseurs des filtres dont les performances ont été fixées à la suite d'une procédure d'essai documentée. Dans cette optique, il faut vérifier :
 - la valeur du degré de filtration des filtres les plus fins parmi ceux qui équipent le parc d'autobus (par exemple, 10 μm selon une norme précise);
 - si les pompes de ravitaillement comportent un filtre ayant une grille au moins aussi fine, définie selon la même norme;
 - si le mélange de biodiésel livré a été préalablement filtré avec la même finesse.

Coût du biodiésel

Bien que cela déborde du cadre du projet, il peut s'avérer intéressant d'envisager l'utilisation du biodiésel sous l'angle du coût, sachant qu'il est nettement supérieur au prix de vente du pétrodiesel. Pour compenser cet écart, le recours à une mesure fiscale visant la détaxe de ce nouveau carburant renouvelable semble vouloir s'implanter en Amérique du Nord. Ainsi, le gouvernement de l'Ontario a adopté une telle mesure dans son budget de juin 2002, suivi par le gouvernement du Canada, en novembre 2002. Pour sa part, l'ancien gouvernement du Québec a manifesté son intention d'emboîter le pas en favorisant le remboursement de la taxe routière en mars 2003, ce qui doit toutefois être confirmé.

BIO BUS



Le transport en commun jouera un rôle déterminant dans la lutte contre les changements climatiques. Aussi, les sociétés de transport urbain qui étudient les possibilités qu'offre le biodiésel comme carburant de remplacement ne doivent pas seulement s'intéresser aux émissions de gaz à effet de serre (GES). Comme les autobus influent sur la qualité de l'air en milieu urbain, l'un des objectifs du projet **BIOBUS** visait à fournir l'information permettant d'évaluer l'impact du biodiésel sur les émissions polluantes à la sortie du pot d'échappement des véhicules. Le projet concernait donc l'évaluation de l'utilisation du biodiésel et n'abordait pas l'étude de son cycle de vie. De plus, l'équipe de projet s'est assurée qu'il n'y avait pas d'impact significatif sur la quantité totale de carburant directement consommée par les autobus.

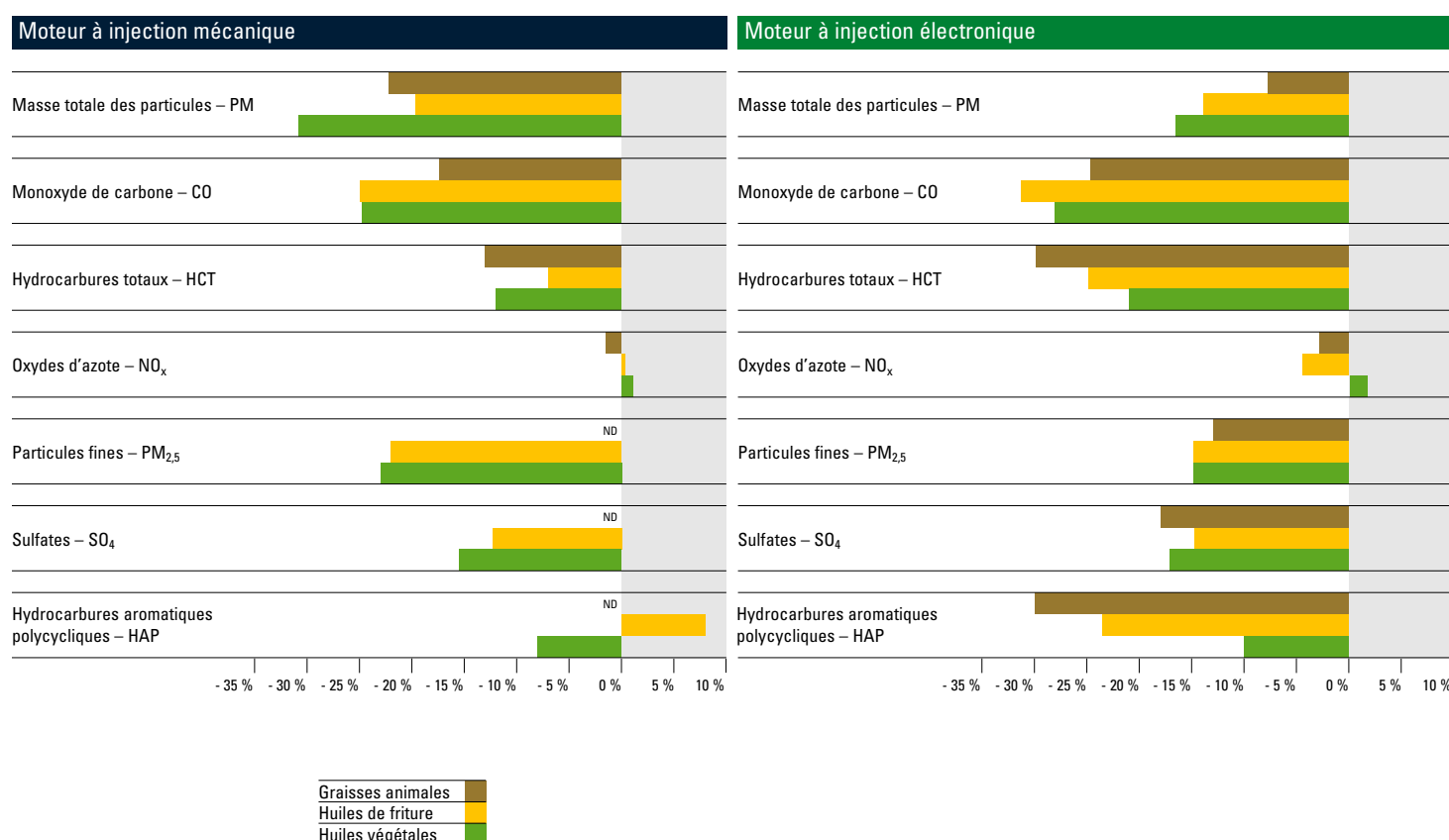
Les essais ont été menés sur un banc dynamométrique au Centre de technologie environnementale (CTE) d'Environnement Canada, à Ottawa. Ils ont été effectués sur les biodiésels des trois origines (végétale, animale et à base d'huiles de friture) à des concentrations de 5 et de 20 %, avec des moteurs diésels à quatre temps Cummins, l'un à injection mécanique et l'autre à injection électronique. Dans tous les cas, les émissions générées par ces moteurs ont été mesurées à la sortie du pot d'échappement, après leur passage dans le même catalyseur qui équipe les autobus de la STM.

Les résultats obtenus pour chaque type d'émissions sont présentés sous la forme de fiches techniques en annexe. La méthodologie détaillée y fait suite.

Résultats des mesures des émissions

De façon globale, le biodiésel a soit un effet neutre, soit un effet réducteur sur les émissions polluantes et de GES et ce, tant pour les émissions réglementées (PM, CO, HCT et NO_x) que pour les émissions non réglementées (SO₄, HAP, CO₂ et PM_{2,5}).

Variations des émissions du B20 par rapport au pétrodiesel de référence utilisé par la STM



Les émissions réglementées

Masse totale de particules (PM)

- Parmi les émissions générées par un moteur diesel, les particules sont celles auxquelles on doit porter la plus grande attention. L'impact du biodiesel est plus significatif avec le moteur à injection mécanique qui, avant toute introduction de biodiesel, émet 2,5 fois plus de particules que le moteur à injection électronique. Les réductions les plus notables — qui varient de 25 à 30 % selon le type de moteur — sont obtenues avec le B20 d'origine végétale. Le B20 d'origine animale ne réduit les émissions que de 20 % avec le moteur à injection mécanique et de 8 %, avec le moteur à injection électronique.

Monoxyde de carbone (CO)

- Les émissions de CO générées par un moteur diesel sont au départ 15 fois plus faibles que la norme. Néanmoins, on obtient une réduction de l'ordre de 20 à 30 % avec le B20, indépendamment du type de moteur utilisé.

Hydrocarbures totaux (HCT)

- Les émissions de HCT produites par un moteur diesel sont déjà très faibles par rapport à la norme. Avant toute introduction de biodiesel, le moteur à injection électronique réduit de 15 % les émissions de HCT par rapport au moteur à injection mécanique. Le biodiesel utilisé dans un moteur à injection électronique permet d'obtenir des réductions de 20 % pour le B20 d'origine végétale et de 30 % pour le B20 d'origine animale. Dans le cas du moteur à injection mécanique, l'impact n'est que de 10 % ; il est donc deux fois plus grand avec le moteur à injection électronique.

Oxydes d'azote (NO_x)

- En général, l'effet du biodiesel sur les émissions de NO_x est neutre. Un biodiesel avec un indice de cétane supérieur (biodiesels d'origine animale et à base d'huiles de friture contenant un certain pourcentage de graisses animales) aura tendance à réduire le niveau des émissions de NO_x. Cela est particulièrement vrai avec un moteur à injection électronique (qui engendre une baisse de NO_x de l'ordre de 3 à 5 %). Les résultats du rapport *Comprehensive Analysis of Biodiesel Impacts on Exhaust Emissions (Draft Technical Report EPA 420-P-02-001*, octobre 2002) de l'Agence de protection environnementale des États-Unis confirment cette tendance.

Les émissions non réglementées

Sulfates (SO₄)

- Les émissions de SO₄ qui se retrouvent dans les particules émises par les deux types de moteurs diesels étudiés sont très faibles.
- Le B20 engendre une réduction de 15 % des émissions de SO₄ avec un moteur à injection électronique.

Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), composés organiques volatils (COV) et composés carbonyles

- Les HAP contiennent des substances particulièrement cancérigènes. Par rapport aux émissions générées par les deux moteurs diesels alimentés avec du pétrodiesel classique, le biodiesel ne fait pas apparaître de HAP en quantité significative et ne perturbe pas les proportions dans lesquelles ces composés organiques complexes et cancérigènes (COV ou carbonyles) apparaissent.
- Les B20 des trois origines engendrent des baisses substantielles (de l'ordre de 10 à 30 % pour les moteurs à injection électronique) des émissions de HAP.

Particules fines de moins de 2,5 µm (PM_{2,5})

- L'impact du biodiesel sur les émissions totales de particules fines est plus important quand il est utilisé avec un moteur à injection mécanique, qui émet près de 2,5 fois plus de particules fines qu'un moteur à injection électronique, avant toute introduction de biodiesel.
- La diminution de la masse totale des particules fines attribuable au biodiesel est d'abord causée par la réduction de carbone élémentaire (celui qui produit les fumées noires de suie). Cela s'explique par le fait que le biodiesel, pauvre en soufre, appauvrit la teneur totale en soufre du mélange de carburant utilisé. Or, le soufre a un effet déterminant dans la formation de particules de carbone élémentaire.
- On ne peut pas conclure à une diminution de la fraction soluble organique des particules, ni à une diminution des particules plus fines que 1,5 µm. Ces particules sont réputées être les plus dangereuses pour la santé. Cependant, avec le moteur à injection électronique, on peut affirmer qu'il n'y a aucune augmentation significative des émissions de telles particules.

Émissions directes de dioxyde de carbone (CO₂) et de gaz à effet de serre (GES)

Les GES visés par le Protocole de Kyoto et susceptibles de se retrouver dans les émissions générées par un moteur à combustion interne sont les suivants : le gaz carbonique (CO₂) ainsi que le protoxyde d'azote (N₂O) et le méthane (CH₄) pour lesquels les facteurs de réchauffement global sont respectivement 310 fois et 21 fois plus importants que celui d'une masse équivalente de CO₂. Les émissions directes de CO₂ mesurées pour les moteurs diésels étudiés s'établissent à 600 g par unité de travail produite (CV.h). Les mesures des essais indiquent que les émissions de N₂O et de CH₄ sont de l'ordre du milligramme. Par conséquent, on a décidé de ne pas tenir compte des résultats détaillés obtenus pour ces deux types d'émissions, malgré leur facteur de réchauffement global. Même si elles étaient significatives, les variations de ces deux émissions auraient un impact absolument négligeable sur les bilans des GES. Seul le CO₂ a donc été considéré comme un GES dans le présent rapport.

C'est la raison pour laquelle uniquement les émissions de CO₂ ont été traitées en annexe, en ce qui concerne les GES. Deux constats ressortent de la fiche technique :

1. Pour les deux types de moteurs, les « émissions de référence de GES » sont de l'ordre de 2,59 kg de CO₂ par litre de pétrodiesel de référence utilisé par la STM.
2. L'impact du biodiesel sur les émissions directes de CO₂ peut être considéré comme négligeable ; seul le B20 d'origine animale permet une réduction de 2 % des émissions directes de CO₂ mesurées au pot d'échappement d'un véhicule équipé d'un moteur à injection mécanique.

En dépit de cela, l'utilisation du biodiesel permet de réduire les émissions de GES. Cela n'entre pas en contradiction avec les mesures prises aux fins du projet puisque celles-ci s'appliquent uniquement aux émissions mesurées directement à la sortie du tuyau d'échappement du moteur. Lorsque le moteur brûle un litre de biodiesel — dont les propriétés physico-chimiques sont très proches de celles du pétrodiesel —, il ne fait pas la différence entre les origines des deux carburants. La réduction des émissions de GES est liée au fait que le biodiesel a pour origine la biomasse (animale ou végétale) produite selon un cycle de vie de quelques années, alors que le pétrodiesel est un combustible fossile relâchant dans l'atmosphère du carbone qui en a été soutiré il y a des centaines de millions d'années. Le biodiesel est donc une source d'énergie renouvelable, contrairement au pétrodiesel, qui ne l'est pas.

Le fait que les variations des émissions de CO₂ (mesurées au pot d'échappement) soient négligeables constitue un point en faveur du biodiesel, car c'est à partir de celles-ci que l'on dresse le bilan énergétique de combustion du carburant dans le moteur. Cela prouve que les variations de consommation de carburant par unité de travail produite sont négligeables et que l'efficacité énergétique des moteurs est toujours la même après l'introduction du biodiesel.

À titre d'hypothèse de travail, on peut avancer l'assertion suivante :

Chaque litre de biodiesel pur (B100), utilisé en remplacement d'un litre de pétrodiesel, permet une réduction des GES de 2,33 kg de CO₂.

Cette valeur a été déterminée en supposant que le biodiesel évite 90 % des émissions produites par le pétrodiesel de référence parce qu'il contient 10 % de méthanol utilisé pour l'estérification et obtenu à partir du gaz naturel (énergie fossile non renouvelable). On évalue donc que le potentiel de réduction des émissions de GES du B20 est de l'ordre de 17 % et d'environ 4,5 % dans le cas du B5. Bien que simplificatrice, cette hypothèse permet d'établir des ordres de grandeur. Elle devra toutefois être confirmée par des études de cycle de vie approfondies, ce qui n'était pas l'objet du projet **BIOBUS**.

Utilisation du biodiesel par les sociétés de transport urbain et impact sur les émissions annuelles de CO₂

Le projet **BIOBUS** a démontré la viabilité de l'utilisation du biodiesel par les sociétés de transport en commun. Dans le cadre du projet, la consommation totale de biodiesel du CT Frontenac de mars 2002 à mars 2003 — soit 550 000 litres à des concentrations de 5 et de 20 % — a entraîné une réduction des émissions de CO₂ de l'ordre de 1300 tonnes. Comme les résultats démontrent que les baisses des émissions polluantes et de GES sont significatives, on peut affirmer que l'utilisation du biodiesel peut contribuer à les réduire encore davantage à l'échelle du Québec et du Canada.

À titre indicatif, le tableau suivant donne un ordre de grandeur de l'impact du B20 sur la réduction des émissions annuelles de CO₂ en supposant que le moteur Cummins à quatre temps à injection mécanique est représentatif des parcs d'autobus au Québec et au Canada.

Impact de l'utilisation du B20 par les sociétés de transport urbain sur la réduction des émissions annuelles de CO₂

	Unités	CT Frontenac	STM	Québec	Canada
Parc d'autobus		155	1600	2850	11 500
Parcours total	km	6,7 millions	70,5 millions	195,3 millions	800 millions
Consommation totale de carburant	litres	4,5 millions	47,2 millions	90 millions	368 millions
Réduction de CO ₂ prévue (B20)	tonnes	2100	22 000	42 000	171 500

Sources : Répertoire statistique ACTU – Données d'exploitation de 2002 et Projet **BIOBUS**

Impact sur le smog urbain

Le smog urbain est un mélange toxique de polluants atmosphériques que l'on peut souvent observer sous forme de brume diffuse dans l'air. Il peut rendre les personnes plus vulnérables aux maladies cardiorespiratoires. Les deux principaux polluants qui font que le smog affecte la santé sont l'ozone des basses couches de l'atmosphère et les particules fines en suspension dans l'air. L'ozone des basses couches de l'atmosphère est un gaz extrêmement irritant et incolore, qui se forme juste au-dessus de la surface de la terre. On l'appelle polluant secondaire parce qu'il est produit lorsque deux polluants primaires réagissent au soleil et à l'air stagnant. Ces deux polluants primaires sont les oxydes d'azote (NO_x) et les composés organiques volatils (COV).

Parmi les autres polluants que l'on trouve dans le smog, notons : le dioxyde d'azote (NO_2), un composé principal de la famille des oxydes d'azote (NO_x), le dioxyde de soufre (SO_2), qui peut être transformé chimiquement en polluants acides comme l'acide sulfurique, et les sulfates (SO_4), principaux composants des particules fines.

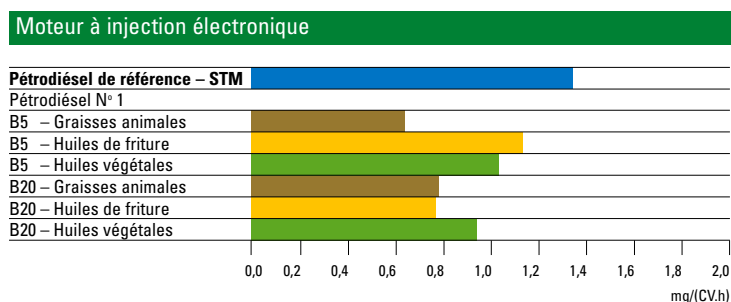
Quelles que soient sa concentration et son origine, le biodiésel peut contribuer à réduire la formation du smog urbain. Son utilisation ne fait pas augmenter les émissions de NO_x ; au contraire, elle peut même les réduire. Elle permet également de diminuer substantiellement la masse émise de particules et, selon les mesures prises, de réduire les émissions d'anhydride sulfureux (SO_2), entre autres parce que le biodiésel, qui ne contient pas de soufre, en dilue la proportion dans le mélange brûlé par le moteur.

Une autre famille d'émissions contribuant à la formation du smog urbain est celle des composés organiques (autres que le méthane) précurseurs d'ozone (O_3) — un composant majeur du smog, particulièrement irritant pour les voies respiratoires.

Le graphique suivant montre les émissions des précurseurs d'ozone attribuables au moteur à injection électronique pour les six mélanges de biodiésel et le pétrodiesel de référence de la STM. Il s'agit des émissions de composés organiques autres que le méthane ou NMOG (*non-methane organic gases*), exprimées par la somme de leur potentiel de formation d'ozone en mg d'O_3 par unité de travail produite par le moteur. Le potentiel de formation d'ozone d'un composé correspond au produit des émissions de ce composé (en mg) par un facteur de réactivité du composé à l'action du soleil. Les NMOG comprennent l'ensemble des hydrocarbures (HCT), les composés organiques volatils (COV) et les aldéhydes, parmi les carbonyles.

Émissions de précurseurs d'ozone (NMOG)

$\text{mg O}_3/(\text{CV.h})$



On voit que tous les mélanges de biodiésel réduisent très significativement le potentiel de production d'ozone. Les B5 permettent de le diminuer d'au moins 25 % (jusqu'à 50 % dans le cas du B5 d'origine animale) et les B20, d'environ 30 %. Il n'y a pas de distinction significative entre les différentes origines de B20 et les deux niveaux de concentration. Il convient cependant de noter que les baisses de potentiel de génération d'ozone les plus importantes sont obtenues avec le B5 d'origine animale et le B20 à base d'huiles de friture, les deux mélanges pour lesquels on a aussi observé les baisses les plus significatives des NO_x . Or, le NO_2 (un des NO_x) est aussi reconnu pour sa contribution à la formation d'ozone, mais n'est pas un composé organique.

En conclusion, le biodiésel réduit de façon globale les émissions polluantes et de GES, tant pour les émissions réglementées (PM, CO, HCT et NO_x) que pour les émissions non réglementées (SO_4 , HAP, CO_2 , et $\text{PM}_{2.5}$), et contribue à la réduction du smog urbain.

Impacts spécifiques

La problématique des émissions a aussi été étudiée sous un autre angle : l'impact de l'utilisation du biodiésel sur le comportement des deux types de moteurs, sur la concentration du carburant renouvelable et sur son origine.

Impact du type de moteur

- Le biodiésel contribue à réduire globalement les émissions polluantes autant pour le moteur à injection mécanique que pour le moteur à injection électronique.
- Le passage du moteur à injection mécanique au moteur à injection électronique permet généralement une réduction substantielle du volume des émissions (particulièrement en ce qui concerne les NO_x et les PM). Néanmoins, le biodiésel est un carburant de l'avenir car son utilisation réduit plusieurs émissions polluantes et ce, de manière plus sensible avec le moteur à injection électronique qu'avec le moteur à injection mécanique.

Impact de la concentration du biodiésel

- Les résultats observés ne permettent pas d'établir qu'il y a proportionnalité entre la réduction des émissions et la concentration de biodiésel dans le mélange.
- Avec le B20, on a généralement observé des réductions significatives.

Impact de l'origine du biodiésel

- Chaque origine de biodiésel a ses avantages et ses limites selon le type d'émissions qu'on considère. En d'autres mots, les biodiésels s'équivalent du point de vue de la réduction des émissions. Toutefois, la seule analyse des émissions ne permettrait pas de justifier le choix d'un biodiésel d'une origine donnée de préférence à un autre.



www.stm



Ce véhicule roule au biodiesel

L'exploitation couvre l'ensemble des activités liées à la livraison du service au réseau des autobus de la STM qui, tous les jours, sillonnent les rues de Montréal. L'entretien englobe les activités de vérification et de réparation des autobus selon un programme donné, alors que les infrastructures concernent la gestion des installations de la Société.

Composition du parc d'autobus du CT Frontenac aux fins du projet *BIOBUS*

	Moteur Detroit diésel à deux temps à injection mécanique ou électronique	Moteur Cummins diésel à quatre temps à injection mécanique	Moteur Cummins diésel à quatre temps à injection électronique	Nombre total de véhicules
Au début du projet	85	70	0	155
À la fin du projet	75	80	2	157

Dans le cadre du projet *BIOBUS*, on a procédé à une série d'essais préalables à l'utilisation du biodiésel et évalué l'impact des mélanges sur l'exploitation, l'entretien et les infrastructures de la STM.

Essais et vérifications préliminaires

Avant de généraliser l'utilisation du biodiésel à l'ensemble du parc (plus de 155 autobus) du CT Frontenac de la STM, plusieurs essais préliminaires ont été effectués afin de dissiper certaines craintes des décideurs. Ils ont été menés dès l'été 2001, alors que le montage financier et la planification du projet de démonstration et d'évaluation étaient en cours. Cette série d'essais avait pour but :

- de prouver que le biodiésel pouvait être introduit dans les réservoirs des autobus de la STM sans créer de problème de fonctionnement des moteurs;
- de vérifier que cela s'appliquait également aux autobus âgés, équipés de moteurs diésels à deux temps ayant cumulé plus de 500 000 kilomètres; on craignait alors que les propriétés « nettoyantes » du biodiésel ne s'attaquent aux dépôts accumulés sur les segments de pistons ou sur d'autres joints entre les pièces mécaniques, ce qui aurait pu conduire à des pertes de compression ou à des fuites;
- de démontrer que les autobus pouvaient utiliser du biodiésel par temps froid.

La STM a donc été rassurée sur tous les plans grâce aux essais suivants :

- Un premier essai d'une semaine a été mené en juillet 2001 sur une demi-douzaine d'autobus à des concentrations allant jusqu'à 30 % de biodiésel d'huile de soya (remplissage manuel).
- Ces essais avec le même biodiésel à une concentration de 20 % ont été repris pour un échantillon d'une douzaine de véhicules (y compris deux autobus dont le kilométrage était plus élevé) sur plus de deux semaines. Durant cette période, on n'a constaté aucun problème d'obstruction de filtres.
- Les autobus avec un kilométrage élevé ont été testés par le personnel de la STM, sur le banc dynamométrique de la Société, avec mesure d'opacimétrie des gaz d'échappement, avant et après l'utilisation du B20. Les résultats n'ont indiqué aucune détérioration du rendement mécanique des moteurs, mais ont montré une baisse importante (jusqu'à 50 %) de l'opacité des gaz d'échappement. De plus, on a observé que les émissions de particules étaient beaucoup plus régulières d'un cycle d'accélération à l'autre. Avec le pétrodiesel de référence utilisé par la STM, les pics d'émissions de particules sont très instables et peuvent varier d'un facteur 5 entre deux charges d'accélération imposées au moteur.
- Un autobus à moteur Cummins à quatre temps à injection mécanique a été testé à - 20 °C en chambre froide au CTE. On a constaté pour la première fois que d'importants gains thermiques à la boucle de carburant rendaient possible l'utilisation d'un carburant avec un point de trouble plus élevé que la température ambiante.
- On a confirmé cette tendance à l'échauffement du carburant jusqu'à plus de 30 °C au-dessus de la température ambiante (y compris pour les autobus à moteur à injection électronique) en observant les températures des réservoirs d'un échantillon d'autobus de différents types par un matin froid de mars 2002, où la température avait chuté à - 20 °C au cours de la nuit.

Impact du biodiésel sur l'exploitation du parc d'autobus

L'un des objectifs du projet **BIOBUS** visait à évaluer l'impact de l'utilisation du biodiésel sur la fiabilité du parc d'autobus. Pour ce faire, on a utilisé la base de données de la STM, où sont répertoriés les « appels de route ». Cette base de données permet de dresser des statistiques sur les appels des chauffeurs signalant des incidents techniques codifiés selon leur nature, sur le suivi du diagnostic des mécaniciens qui les confirment par un autre code et sur les interventions du personnel d'entretien des autobus. On peut obtenir, par exemple, les mentions de « manque de puissance » et vérifier si elles concernaient bien le système d'alimentation en carburant des autobus selon leur centre de transport d'appartenance.

Il ressort que la disponibilité des autobus du CT Frontenac a été maintenue et qu'aucun incident imputable au biodiésel ayant eu une incidence sur le service à la clientèle n'a été signalé.

Du côté des chauffeurs, le projet **BIOBUS** a été accueilli positivement, à cause de ses impacts sur l'environnement. La satisfaction exprimée est surtout attribuable au fait qu'il n'y a eu aucun inconvénient découlant de l'utilisation de biodiésel. De leur point de vue, la puissance des autobus est demeurée la même, et les odeurs émises étaient dans l'ensemble moindres. Ces perceptions vont tout à fait dans le sens des résultats obtenus sur banc d'essai (voir l'annexe *Impact du biodiésel sur le rendement des moteurs diésels*), qui montrent que les variations de puissance et de couple moteur, inférieures à environ 3 %, sont probablement non significatives.

Impact du biodiésel sur l'entretien du parc d'autobus

Le projet **BIOBUS** avait aussi pour objet d'évaluer l'impact de l'utilisation du biodiésel sur les statistiques d'entretien mécanique et sur les données de consommation de carburant en fonction des distances parcourues. Pour pouvoir déterminer et confirmer des tendances, le cas échéant, on a procédé à une analyse croisée des données de différents CT. Cette analyse ne s'est pas limitée à la comparaison des statistiques de l'année précédant l'introduction du biodiésel avec celles obtenues dans le cadre du projet **BIOBUS**. Pour tenir compte de l'évolution naturelle des données, à commencer par le vieillissement du parc, on a effectué la même comparaison avec celles des années 2001 et 2002 pour deux autres centres de transport de la STM, les CT Saint-Denis et Mont-Royal. La répartition des parcs de ces deux CT est à peu près la même, et le réseau qu'ils desservent présente les mêmes caractéristiques puisque certaines lignes sont partagées (lignes du centre-ville).

Consommation de carburant

Pour ce qui est de la consommation de carburant, on a procédé à une évaluation globale ; l'analyse des données n'a pas permis de conclure à une variation de la consommation. À titre d'exemple, le kilométrage des autobus n'est pas enregistré à partir d'un odomètre, mais en fonction des lignes desservies et du nombre d'allers-retours sur ces mêmes lignes dans la journée. De plus, en fonction d'aléas divers comme des prêts ou des échanges d'autobus d'un centre à l'autre, un centre de transport peut faire tous les jours le plein d'autobus provenant d'autres centres de transport. L'absence de variation dans la consommation des autobus confirme les résultats obtenus sur banc d'essai (voir l'annexe *Impact du biodiésel sur le rendement des moteurs diésels*). À titre d'information, mentionnons que la consommation d'un autobus de la STM en service au centre-ville se situe en moyenne à 65 L/100 km.

Entretien mécanique

Du point de vue de l'entretien mécanique, la comparaison a porté sur les données de certaines opérations qui sont normalement archivées selon qu'il s'agit d'un problème corrigé ou d'un entretien préventif. Il n'y a eu aucune intervention corrective découlant de l'utilisation du biodiésel sur les injecteurs et les pompes à injection.

Au moment où on se questionnait sur les causes de l'encrassement répétitif des filtres d'un modèle d'autobus, certains éléments d'élastomères en contact avec le carburant ont été analysés (l'épaisseur, l'aspect visuel, soit la recherche de craquelures et le changement de couleur, la souplesse, etc.). Aucun d'entre eux n'avait subi une dégradation.

La plupart des autobus, notamment tous les anciens modèles équipés de filtres de carburant de 25 µm et les plus modernes à moteur à injection électronique, n'ont pas connu de problème, même pendant les quelques semaines suivant la conversion au biodiésel. Ces autobus se sont mieux comportés que ceux qui ont déjà été soumis à des essais avec du biodiésel où le risque de blocage du filtre lié à l'effet de décrassage des premiers pleins était soulevé. En général, les filtres de ces autobus sont situés au-dessus du compartiment moteur ou contre le bloc moteur (c'est-à-dire aux endroits les plus chauds du compartiment moteur).

Le seul problème réel à signaler (avec explication et solution à l'appui) a été l'obstruction répétitive, puis sporadique d'un modèle de filtre de 10 µm (Fleetguard FS-1000) installé comme filtre primaire dans les autobus à moteur Cummins à injection mécanique seulement. Par rapport aux autres types, ce filtre est situé directement à la sortie des réservoirs, donc à l'endroit le plus frais du système d'alimentation en carburant.

Les deux premières vagues d'obstruction de ces filtres ont été engendrées par le passage au B5, puis au B20. Leur cause était liée à la formation d'une gelée chargée de poussière noire, qui obstruait complètement la cartouche. Cette poussière noire provenait de la décomposition de dépôts noirs, accumulés sur les parois intérieures des réservoirs de carburant des autobus. Une troisième vague d'obstruction a eu lieu trois mois plus tard, pendant la période des fêtes; des pompes de ravitaillement dotées d'anciens filtres de 25 µm (au lieu de 10 µm) ont alors été utilisées par erreur.

Ces incidents sporadiques d'obstruction des filtres de 10 µm ont donné lieu à des analyses par microscopie à balayage électronique (laboratoire Fleetguard) et par spectroscopie infrarouge en réflexion (laboratoire indépendant). L'obstruction était causée par la présence d'un mince film de cire claire, de la famille des esters de certains acides gras. Lorsque les fournisseurs auront une plus grande maîtrise du point de trouble des biodiésels qu'ils produiront, ils pourront probablement éliminer les esters des acides gras, qui semblent être la source du problème.

Note sur les autobus équipés d'un moteur à injection électronique

On s'interrogeait à savoir si les moteurs Cummins à injection électronique — réputés comme étant plus sensibles à tout problème de qualité du carburant — fonctionneraient bien avec du biodiésel. Pour pouvoir le vérifier, deux autobus, dont un tout neuf avec moteur à injection électronique, ont été prêtés au CT Frontenac de janvier à avril 2003. Ils ont été utilisés pour expérimenter les biodiésels les plus à risque (soit les B20 à base d'huiles de friture et de graisses animales) pendant la période la plus froide de l'hiver. Résultat: ces deux autobus ont parcouru près de 10 000 km chacun pendant cette période sans aucun problème.

Bien que le nombre limité d'autobus ne permette pas d'établir des statistiques, l'absence d'incident mérite d'être mentionnée. Ces autobus sont équipés de filtres Fleetguard FS-1022 pourvus de la même cartouche filtrante que les FS-1000, mais situés dans un endroit plus chaud du moteur.

Impact du biodiésel sur l'entretien des infrastructures du CT Frontenac

L'équipe de projet avait également pour mandat d'évaluer l'impact du biodiésel sur les infrastructures du CT Frontenac. Le problème d'encrassement des filtres des pompes de ravitaillement survenu au cours de la deuxième semaine de septembre a entraîné une baisse de débit, ce qui a ralenti le remplissage des autobus. Tout problème lié aux infrastructures a un impact direct sur la suite du processus. Il convient donc de rappeler l'importance de l'uniformité de la chaîne de filtration.

Dans un autre ordre d'idées, la STM a procédé à un contrôle de la qualité de l'air intérieur du garage avant et après l'introduction du biodiésel, conformément aux exigences de la Commission de la santé et de la sécurité du travail (CSST). Les résultats étaient positifs puisqu'on a constaté une diminution significative des émissions et de la quantité de fumée noire.

Constats

- Le biodiésel n'est à l'origine d'aucun problème mécanique lié aux autobus, notamment en ce qui concerne le système d'alimentation en carburant. On a même vérifié qu'il n'y avait pas eu de dégradation des éléments d'élastomères en contact avec le carburant.
- La plupart des autobus, notamment tous ceux équipés de filtres de 25 µm (avec des moteurs diésels Detroit) ont traversé la période de décrassage sans problème.
- La période de décrassage a été plus longue que prévue dans le cas des autobus équipés de filtres de 10 µm, notamment parce qu'on a utilisé du B5 avant de passer au B20.
- Quand la chaîne de filtration est respectée, les problèmes potentiels de qualité du mélange ne touchent pas les autobus.
- Les incidents sporadiques occasionnés par les filtres les plus fins (10 µm), plus éloignés des sources de chaleur dans le compartiment moteur des autobus n'ont pas eu d'impact réel, ni engendré de coûts significatifs pour la STM. Dès que les producteurs utiliseront des procédés leur permettant de contrôler le point de trouble du biodiésel pur, la source du problème pourra être éliminée.
- Dans quelques modèles d'autobus, certaines défaillances mécaniques peuvent conduire à des symptômes similaires à ceux des filtres à carburant bouchés. Il est donc important de bien identifier la source du problème pour pouvoir poser un diagnostic juste.
- On n'a pas noté de modification significative du rendement des moteurs.
- Tous les chauffeurs se sont dits satisfaits du déroulement du projet.
- Le froid n'a causé aucun problème de fonctionnement des autobus sur la route, en dépit des températures qui se sont maintenues au-dessous de - 20 °C et qui ont atteint - 30 °C la nuit, durant trois à cinq jours et ce, à trois reprises.
- Les deux autobus à moteur à injection électronique utilisés pendant les mois d'hiver ont parcouru chacun près de 10 000 km avec du B20. Ils ne se sont pas montrés plus sensibles que les autres à l'utilisation du biodiésel, même par temps très froid.

Recommandations

- L'analyse des causes des incidents survenus avec les filtres de 10 µm a fait ressortir l'importance de respecter la chaîne de filtration (voir la section *Approvisionnement en biodiésel à la STM*). C'est le calibre des filtres les plus fins dont sont équipés les autobus qui détermine la valeur à prendre en compte.
- À l'étape d'introduction du biodiésel, il importe d'utiliser dès le départ la concentration souhaitée (par exemple, du B20) — plutôt que d'y arriver progressivement en passant par des concentrations intermédiaires — pour éviter de prolonger la période de décrassage.
- Les sociétés de transport dont une partie des véhicules ne sont pas stationnés dans un garage chauffé l'hiver devront probablement limiter la concentration de biodiésel à 5 % ou moins (ce qui rend l'impact sur le point de trouble négligeable). Cependant, il est préférable de ne pas revenir ensuite à une concentration de 0 % pour éviter une nouvelle période de transition au printemps suivant. Une concentration minimale de biodiésel préviendra l'encrassement des parois des réservoirs ayant été nettoyés lors d'une utilisation antérieure de B20.
- Durant la première année de transition, il faut prévoir un stock suffisant de filtres de remplacement (les plus fins qui sont situés dans les endroits les plus froids du bloc moteur) pour l'ensemble du parc. De plus, la période de décrassage exigera un ou deux changements de filtres supplémentaires. On peut estimer les coûts à environ 100 \$ par autobus.
- Pour prévenir les problèmes de filtres et éventuellement prolonger le kilométrage entre deux remplacements préventifs de filtres à carburant, il convient de discuter avec le fournisseur. Pour quelques dollars de plus, certains modèles logés dans la même cartouche adaptable au moteur ont une surface plus importante que le modèle standard. Cette mesure permettra d'éviter des remplacements plus fréquents et, au fil du temps, de les espacer, ce qui entraînera des économies.
- Un programme de formation du personnel technique sur le processus de passage du pétrodiesel au biodiésel doit être mis sur pied. Son contenu doit mettre l'accent sur l'importance de bien identifier la source d'un problème (notamment au cours de la période de décrassage des filtres) afin de pouvoir poser un diagnostic juste.

MEDIACOM

8283

BIO BUS

**L'autobus qui arrive
roule au biodiésel !**

Pendant un an, 155 autobus de la STM rouleront au biodiésel dans le centre-ville de Montréal.

Le biodiésel est produit à partir de matières grasses végétales ou animales recyclées.

L'utilisation de biodiésel entraîne une réduction des émissions polluantes et des gaz à effet de serre.

Voyagez dans un BIOBUS et participez à la lutte contre les changements climatiques !

Pour en savoir plus, consultez le site www.stm.info

Canada Québec



STM



Sur le plan socioéconomique, l'objectif du projet **BIOBUS** était bien légitime : sensibiliser la population à la problématique des émissions de gaz à effet (GES) et des changements climatiques, ainsi qu'à l'importance d'agir grâce à l'utilisation combinée du biodiésel et des transports en commun. Dans cette perspective, la communication a joué un rôle de premier plan, tant auprès de la clientèle interne de la STM et des partenaires du projet que des usagers du réseau de la STM. Tous les sondages convergent vers un même constat : le projet a été accueilli très chaleureusement, et le taux de satisfaction est élevé.

À l'interne

Les différents partenaires ont fait la promotion du projet sur leur site Internet ainsi qu'au moyen de divers outils, comme des polos, des T-shirts, des épinglettes et même la reproduction d'un modèle cartonné d'un **BIOBUS**, qui servira de tirelire aux élèves du primaire. Le personnel a été tenu au courant des objectifs visés, des démarches entreprises et des principaux résultats obtenus au fur et à mesure de l'évolution du projet.

De son côté, la STM a informé l'ensemble de son personnel des grandes lignes du projet. Pour leur part, les employés du Centre de transport (CT) Frontenac vivaient en direct la « grande aventure **BIOBUS** ». Il était donc important de sonder le pouls au jour le jour pour maintenir l'optimisme. En fait, la tâche a été des plus faciles. Les chauffeurs qui ont roulé avec les véhicules alimentés au biodiésel n'ont pas connu de problème majeur, et le personnel d'entretien des véhicules et des infrastructures n'a pas fait cas des quelques incidents sporadiques survenus en cours de route. Au contraire, la satisfaction à l'égard du projet a été constante et la participation du personnel du CT Frontenac, d'ingénierie et d'entretien s'est avérée indéfectible. Et on l'affirmait haut et fort dans les bulletins d'information internes de la STM (*en Commun* et *Nouvelles STM*) et dans le cadre de rencontres diverses. Le personnel sentait qu'il était partie prenante du projet **BIOBUS**, ce qui a créé une bonne dynamique de fonctionnement et un esprit d'équipe positif.

À l'externe

Les occasions de promouvoir le projet n'ont certes pas manqué. Plusieurs invitations ont été lancées à l'équipe de projet, qui a participé à une quarantaine d'activités à caractère industriel et public : colloques et foires regroupant des spécialistes de l'environnement, du transport et de l'agriculture, tels qu'Americana 2003, le Salon du transport et des routes ou Excellence 2003, manifestations populaires comme la Fête des enfants, la Fête des neiges ou la Journée de l'air pur, reportages sur les ondes de Radio-Canada, de Télé-Québec et, mieux, d'une chaîne nipponne spécialisée dans le développement durable avec une cote d'écoute de cinq millions de téléspectateurs. On peut donc dire que le projet **BIOBUS** a fait bonne figure à plus d'une reprise dans le cadre de divers contextes à l'échelle nationale et internationale.

On a aussi vanté les mérites du projet dans la presse écrite. Les bulletins **BIOBUS**, à grand tirage, avaient comme but premier de présenter le projet et d'en faire le suivi dans ses grandes lignes. Plusieurs chroniques et articles sont parus dans le journal *Métro*, dans les grands quotidiens (*La Presse*, *Le Soleil*, *Le Devoir*, etc.) et dans les revues spécialisées (*Forum*, *La maîtrise de l'énergie*, *Le bulletin des agriculteurs*, etc.). À titre d'exemple, un article décrivant les objectifs et la portée du projet a été publié dans le numéro d'avril 2003 de la revue *Québec Science*.

Il faut dire qu'on a assuré une bonne visibilité au projet : le maquillage du **BIOBUS**, qui a sillonné l'ensemble du territoire desservi par la STM, l'identification des autobus roulant au biodiésel — avec le logo **BIOBUS** sur les côtés et un bandeau où on pouvait lire « *Ce véhicule roule au biodiésel* » sur le pare-chocs arrière —, les affiches à l'intérieur des véhicules, la distribution de dépliants aux passagers et aux visiteurs, les panneaux publicitaires dans les abribus, etc.

Enfin, on a donné la parole aux utilisateurs en leur demandant leur appréciation. De nombreuses personnes ont transmis leurs impressions directement par courriel, alors que d'autres les ont exprimées sur le vif. Tous les témoignages font état de la préoccupation grandissante du public à l'égard des émissions polluantes et de l'importance de les réduire. Enfin, on n'a pas manqué de féliciter la STM pour la priorité qu'elle accorde à l'environnement.

Sommaire des activités de communication

	Public interne	Public externe	Total
Activités destinées au grand public	—	5	5
Activités destinées à des publics spécialisés	5	30	35
Parutions dans les médias électroniques	5	20	25
Parutions dans la presse écrite	10	45	55
Publications et outils promotionnels	5	10	15
Total	25	110	135

L'équipe mise à l'honneur

Le projet **BIOBUS** a été cité en exemple à plusieurs reprises en raison de la portée socioenvironnementale des objectifs qu'il poursuivait. Lors de son congrès annuel qui s'est tenu le 8 avril 2003, à Sherbrooke, l'Association québécoise du transport et des routes (AQTR) a décerné le prix Environnement 2003 dans la catégorie « Réalisation technique » à l'équipe de projet, en présence du ministre des Transports du Québec, M. Serge Ménard. Tous les représentants des médias ont alors pu visiter un **BIOBUS** qui s'était déplacé à Sherbrooke pour l'occasion.

Le projet a aussi été sélectionné parmi les finalistes en lice pour le prix Phénix 2003, dans la catégorie « Le savoir-faire en matière de développement durable : entreprise du secteur primaire ou secondaire ayant utilisé des procédés ou des technologies pour améliorer la performance environnementale ». Le nom du gagnant a été dévoilé après le dépôt du présent rapport.

Une porte ouverte sur le futur

Compte tenu de son ampleur, le projet **BIOBUS** a été qualifié comme l'initiative la plus importante du genre en Amérique du Nord. Il a ouvert la voie à une vision plus écologique des transports en commun et sert aujourd'hui de vitrine pour les sociétés de transport et les usagers.



BIO **BUS**



La présente section regroupe l'ensemble des constats et des recommandations touchant l'approvisionnement, les mesures des émissions, l'exploitation et l'entretien. Chaque constat ou recommandation fait mention du secteur et du public cibles.

Recommandations liées à l'approvisionnement

Refiltrer pour prévenir l'obstruction des filtres à la pompe de ravitaillement

- Une fois le biodiésel mélangé au pétrodiesel, le mélange doit être refiltré avant la livraison, même si les produits ont été filtrés séparément au préalable. Cette seconde filtration vise à éliminer tout problème lié à une éventuelle floculation d'esters de certains acides gras si le pétrodiesel est trop froid au moment du mélange.

Respecter la chaîne de filtration pour prévenir l'obstruction des filtres à la pompe de ravitaillement et dans les autobus

- Il est primordial de s'assurer de l'uniformité de la chaîne de filtration du processus d'approvisionnement en exigeant des fournisseurs des filtres dont les performances ont été fixées à la suite d'une procédure d'essai documentée. Dans cette optique, il faut vérifier :
 1. la valeur du degré de filtration des filtres les plus fins parmi ceux qui équipent le parc d'autobus (par exemple, 10 µm selon une norme précise);
 2. si les pompes de ravitaillement comportent un filtre ayant une grille au moins aussi fine, définie selon la même norme;
 3. si le mélange de biodiésel livré a été préalablement filtré avec la même finesse.

Constats liés aux mesures des émissions

Émissions polluantes, de GES et du smog urbain

- Le biodiésel réduit de façon globale les émissions polluantes et de GES, tant pour les émissions réglementées (PM, CO, HCT et NO_x) que pour les émissions non réglementées (SO₄, HAP, CO₂, et PM_{2,5}), et contribue à la réduction du smog urbain.

Émissions directes de CO₂ générées par le pétrodiesel – Moteurs à injection mécanique et électronique

- Pour les deux types de moteurs, les « émissions de référence de GES » sont de l'ordre de 2,59 kg de CO₂ par litre de pétrodiesel de référence utilisé par la STM. Ces émissions directes de GES ne sont, en pratique, constituées que de CO₂ car, malgré leur facteur respectif de réchauffement global, les émissions directes de N₂O et de CH₄, ont été mesurées en quantité absolument négligeable comparativement au CO₂.

Émissions directes de CO₂ générées par le biodiesel

- À titre d'hypothèse de travail, on peut avancer l'assertion suivante :
Chaque litre de biodiesel pur (B100), utilisé en remplacement d'un litre de pétrodiesel, permet une réduction des GES de 2,33 kg de CO₂.

Cette hypothèse de base permet de calculer de combien on réduira les GES pour chaque litre de B100 utilisé en remplacement d'un litre de pétrodiesel. La valeur a été déterminée en supposant que le biodiesel évite 90 % des émissions produites par le pétrodiesel de référence parce qu'il contient 10 % de méthanol utilisé pour l'estérification et obtenu à partir du gaz naturel (énergie fossile non renouvelable). Bien que simplificatrice, cette hypothèse permet d'établir des ordres de grandeur. Elle devra toutefois être confirmée par des études de cycle de vie approfondies, ce qui n'était pas l'objet du projet **BIOBUS**.

Fournisseurs	Exploitants	Décideurs
●	●	
●	●	
		●
		●
		●

Impact du biodiésel sur le smog urbain

- Quelles que soient sa concentration et son origine, le biodiésel peut contribuer à réduire la formation de smog urbain. Son utilisation ne fait pas augmenter les émissions de NO_x ; au contraire, elle peut même les réduire. Elle permet également de diminuer substantiellement la masse émise de particules et, selon les mesures prises, de réduire les émissions d'anhydride sulfureux (SO_2), entre autres parce que le biodiésel, qui ne contient pas de soufre, en dilue la proportion dans le mélange brûlé par le moteur.
- Une autre famille d'émissions contribuant à la formation du smog urbain est celle des composés organiques (autres que le méthane) précurseurs d'ozone (O_3) — un composant majeur du smog. Les baisses de potentiel de génération d'ozone les plus importantes sont obtenues avec le B5 d'origine animale et le B20 à base d'huiles de friture, les deux mélanges pour lesquels on a aussi observé les réductions les plus significatives des NO_x . Or, le NO_2 (un des NO_x) est aussi reconnu pour sa contribution à la formation d'ozone, mais n'est pas un composé organique.

Impact du type de moteur

- Le biodiésel contribue à réduire globalement les émissions polluantes tant pour le moteur à injection mécanique que pour le moteur à injection électronique.
- Le passage du moteur à injection mécanique au moteur à injection électronique permet généralement une réduction substantielle du volume des émissions (particulièrement en ce qui concerne les NO_x et les PM). Néanmoins, le biodiésel est un carburant de l'avenir car son utilisation réduit plusieurs émissions polluantes et ce, de manière plus sensible avec le moteur à injection électronique qu'avec le moteur à injection mécanique. Toutefois, dans le cas de ce dernier uniquement, on a observé que le biodiésel pouvait augmenter significativement la proportion de certaines particules très fines.

Impact de la concentration du biodiésel

- Les résultats observés ne permettent pas d'établir qu'il y a proportionnalité entre la réduction des émissions et la concentration de biodiésel dans le mélange.
- Avec le B20, on a généralement observé des réductions significatives.

Impact de l'origine du biodiésel

- Chaque origine de biodiésel a ses avantages et ses limites selon le type d'émissions qu'on considère. En d'autres mots, les biodiésels s'équivalent du point de vue de la réduction des émissions. Toutefois, la seule analyse des émissions ne permettrait pas de justifier le choix d'un biodiésel d'une origine donnée de préférence à un autre.

Prendre en compte la période de décrassage

- Le biodiésel n'est à l'origine d'aucun problème mécanique lié aux autobus, notamment en ce qui concerne le système d'injection de carburant. On a même vérifié qu'il n'y avait pas eu de dégradation des éléments d'élastomères en contact avec le carburant.
- La plupart des autobus, notamment tous ceux équipés de filtres de 25 μm (avec des moteurs diésels Detroit) ont traversé la période de décrassage sans problème.
- La période de décrassage a été plus longue que prévue dans le cas des autobus équipés de filtres de 10 μm , notamment parce qu'on a utilisé du B5 avant de passer au B20.

Respecter la chaîne de filtration

- Quand la chaîne de filtration est respectée, les problèmes potentiels de qualité du mélange ne touchent pas les autobus.
- Les incidents sporadiques occasionnés par les filtres les plus fins (10 μm), plus éloignés des sources de chaleur dans le compartiment moteur des autobus n'ont pas eu d'impact réel, ni engendré de coûts significatifs pour la STM. Dès que les producteurs utiliseront des procédés leur permettant de contrôler le point de trouble du biodiésel pur, la source du problème pourra être éliminée.

Savoir identifier le problème

- Dans certains modèles d'autobus, certaines défaillances mécaniques peuvent conduire à des symptômes similaires à ceux des filtres à carburant bouchés. Il est donc important de bien identifier la source du problème pour pouvoir poser un diagnostic juste.

Constats liés à l'exploitation

Pouvoir compter sur la viabilité hivernale du biodiésel

- On n'a pas noté de modification significative du rendement des moteurs.
- Le froid n'a causé aucun problème de fonctionnement des autobus sur la route, en dépit des températures qui se sont maintenues au-dessous de - 20 °C et qui ont atteint - 30 °C la nuit, durant trois à cinq jours et ce, à trois reprises.
- Les deux autobus à moteur à injection électronique utilisés pendant les mois d'hiver ont parcouru chacun près de 10 000 km avec du B20. Ils ne se sont pas montrés plus sensibles que les autres à l'utilisation du biodiésel, même par temps très froid.

Recommandations liées à l'entretien

Respecter la chaîne de filtration

- L'analyse des causes des incidents survenus avec les filtres de 10 µm a fait ressortir l'importance de respecter la chaîne de filtration (voir la section *Approvisionnement en biodiésel à la STM*). C'est le calibre des filtres les plus fins dont sont équipés les autobus qui détermine la valeur à prendre en compte.

Prévoir efficacement la phase de transition au B20

- À l'étape d'introduction du biodiésel, il importe d'utiliser dès le départ la concentration souhaitée (par exemple, du B20) — plutôt que d'y arriver progressivement en passant par des concentrations intermédiaires — pour éviter de prolonger la période de décrassage.
- Les sociétés de transport dont une partie des véhicules ne sont pas stationnés dans un garage chauffé l'hiver devront probablement limiter la concentration de biodiésel à 5 % ou moins (ce qui rend l'impact sur le point de trouble négligeable). Cependant, il est préférable de ne pas revenir ensuite à une concentration de 0 % pour éviter une nouvelle période de transition au printemps suivant. Une concentration minimale de biodiésel préviendra l'encrassement des parois des réservoirs ayant été nettoyés lors d'une utilisation antérieure de B20.
- Durant la première année de transition, il faut prévoir un stock suffisant de filtres de remplacement (les plus fins qui sont situés dans les endroits les plus froids du bloc moteur) pour l'ensemble du parc. De plus, la période de décrassage exigera un ou deux changements de filtres supplémentaires. On peut estimer les coûts à environ 100 \$ par autobus.
- Pour prévenir les problèmes de filtres et éventuellement prolonger le kilométrage entre deux remplacements préventifs de filtres à carburant, il convient de discuter avec le fournisseur. Pour quelques dollars de plus, certains modèles logés dans la même cartouche adaptable au moteur ont une surface plus importante que le modèle standard. Cette mesure permettra d'éviter des remplacements plus fréquents et, au fil du temps, de les espacer, ce qui entraînera des économies.

Mettre en place un programme de formation adéquat

- Un programme de formation du personnel technique sur le processus de passage du pétrodiesel au biodiésel doit être mis en place. Son contenu doit mettre l'accent sur l'importance de bien identifier la source d'un problème (notamment au cours de la période de décrassage des filtres) afin de pouvoir poser un diagnostic juste.

Annexes

Résultats des mesures des émissions

Afin de garantir la fiabilité de l'approvisionnement et des essais, un programme de mesures a été mis sur pied. Les émissions réglementées et non réglementées ont été mesurées pour les divers types de mélanges de biodiésel (en fonction de l'origine et de la concentration) par rapport au pétrodiesel de référence utilisé par la STM, avec deux types de moteurs. Pour en faciliter l'interprétation, les résultats ont fait l'objet de fiches techniques présentées en annexe. Les émissions de dioxyde de carbone, d'hydrocarbures aromatiques polycycliques et de particules fines de moins de 2,5 µm ont été soumises à des analyses complémentaires. La méthodologie détaillée fait suite aux fiches techniques.

Émissions de gaz à effet de serre (GES)

Des mesures ont été effectuées sur banc d'essai au Centre de technologie environnementale (CTE) d'Environnement Canada, à Ottawa. On trouve en annexe les résultats des émissions suivantes:

Émissions réglementées

CO	monoxyde de carbone
HCT	hydrocarbures totaux
NO_x	oxydes d'azote
PM	particules (masse totale)

Émissions non réglementées

PM_{2,5}	particules fines de moins de 2,5 µm
SO₄	oxyde de soufre
HAP	hydrocarbures aromatiques polycycliques
CO₂	dioxyde de carbone

Émissions de gaz à effet de serre (GES)

Les émissions de gaz à effet de serre (GES) visées par le Protocole de Kyoto et susceptibles de se retrouver dans les émissions générées par un moteur à combustion interne sont les suivantes: le gaz carbonique (CO₂) ainsi que le protoxyde d'azote (N₂O) et le méthane (CH₄), pour lesquels les facteurs de réchauffement global sont respectivement 310 fois et 21 fois plus importants que celui d'une masse équivalente de CO₂. Les émissions directes de CO₂ mesurées pour les moteurs diesels étudiés s'établissent à 600 g par unité de travail produite (CV.h). Les mesures des essais indiquent que les émissions de N₂O et de CH₄ sont de l'ordre du milligramme. Par conséquent, il a été décidé de ne pas tenir compte des résultats détaillés obtenus pour ces deux types d'émissions, malgré leur facteur de réchauffement global. Même si elles étaient significatives, ces variations auraient en effet un impact absolument négligeable sur les bilans des GES. Seul le CO₂ a donc été considéré comme un GES dans le présent rapport.

Chaque type d'émissions a fait l'objet d'une fiche technique, qui contient:

- une synthèse de la moyenne des résultats de chaque essai sous forme de tableau;
- une analyse comparative de ces résultats;
- des graphiques présentant:
 - les émissions totales – en g/(CV.h);
 - la réduction des émissions par rapport au pétrodiesel de référence – en g/litre;
 - la réduction relative des émissions par rapport au pétrodiesel de référence – basé sur les résultats en g/(CV.h);
- les principaux constats qui s'en dégagent:
 - l'impact du type de moteur ainsi que de la concentration et de l'origine de biodiésel;
 - d'autres constats spécifiques, notamment en ce qui concerne l'analyse des émissions de CO₂, de HAP et des particules fines de moins 2,5 µm.

Les résultats sont présentés de manière à pouvoir effectuer des comparaisons entre les émissions des mélanges de biodiésel par rapport à celles du pétrodiesel de référence utilisé par la STM. Ces comparaisons visent à mettre en lumière l'impact de la concentration de biodiésel (B5 ou B20) dans le mélange et de l'origine du biodiésel (végétale, animale ou à base d'huiles de friture) en fonction du type de moteur, soit le moteur à injection mécanique et le moteur à injection électronique.

Sur le plan de l'interprétation des résultats, il était important de définir si l'écart observé entre les résultats de deux essais distincts était statistiquement significatif. Pour ce faire, la méthode d'analyse Anova a été privilégiée. Cette méthode permet d'affirmer que la différence constatée entre deux séries de valeurs ne relève pas du hasard et de déterminer avec quelle probabilité elle pourrait être observée advenant une reprise des essais. Pour avancer que les écarts étaient effectivement significatifs, une probabilité de l'ordre de 95 % a été retenue.

Notes

CV.h

Le CV.h correspond à un cheval vapeur (*brake horsepower*) appliqué pendant une heure. Le cheval vapeur est utilisé pour mesurer la puissance à l'arbre du moteur avant les pertes de transmission.

tonne/an⁽¹⁾

Cette valeur correspond à l'impact annuel de l'utilisation du mélange de biodiésel pour l'ensemble du parc de la STM. Elle a été établie en multipliant le résultat de l'essai en g/(CV.h) par le nombre de CV.h annuels utilisés par la STM. Elle a été évaluée à 203 millions de CV.h en supposant que le rendement énergétique global du parc de la STM équivaut à celui du moteur à injection mécanique pour le pétrodiesel de référence (0,2314 l/CV.h) et en s'appuyant sur une consommation annuelle de carburant de 47,2 millions de litres. En d'autres termes, on considère, de manière simplificatrice, que les moteurs diesels à deux temps sont compensés par des moteurs à injection électronique à plus haut rendement.

tonne/an⁽²⁾

Cette valeur est obtenue en multipliant les résultats de l'essai en g/l par une consommation annuelle de 47,2 millions de litres pour la STM.

tonne/an Québec; tonne/an Canada

Ces deux valeurs sont obtenues en utilisant les données de consommation annuelles de carburant publiées par l'Association canadienne du transport urbain (ACTU) pour l'année 2002. On prend comme hypothèse que le moteur Cummins à quatre temps à injection mécanique est représentatif des parcs d'autobus au Québec et au Canada.

g/km

Les mesures sont basées sur la consommation type d'un autobus urbain de 65 l/100 km.

Rappel

Toutes les émissions ont été mesurées à la sortie du pot d'échappement des véhicules, après leur passage dans le catalyseur (le même catalyseur ayant servi pour les deux types de moteurs sur banc d'essai).

Émissions de monoxyde de carbone (CO)

Essai	Résultats bruts des essais g/(CV.h)	Comparaison avec le pétrodiesel de référence – STM					Comparaison avec le biodiesel d'origine végétale			
		g/(CV.h)	%	Anova	Différence significative	tonnes/an ⁽¹⁾	g/(CV.h)	%	Anova	Différence significative
Moteur à injection mécanique										
Référence canadienne 1998	15,5000									
Pétrodiesel de référence – STM	1,0023									
Pétrodiesel N° 1										
B5 – Graisses animales										
B5 – Huiles de friture	0,9090	- 0,0933	- 9,3 %	99,8 %	oui	- 18,943				
B5 – Huiles végétales										
B20 – Graisses animales	0,8275	- 0,1748	- 17,4 %	99,5 %	oui	- 35,501	0,07223	9,6 %	100,0 %	oui
B20 – Huiles de friture	0,7526	- 0,2497	- 24,9 %	100,0 %	oui	- 50,723	- 0,00272	- 0,4 %	17,7 %	non
B20 – Huiles végétales	0,7553	- 0,2470	- 24,6 %	100,0 %	oui	- 50,171				

Moteur à injection électronique										
Pétrodiesel de référence – STM	0,6150									
Pétrodiesel N° 1	0,6060	- 0,0090	- 1,5 %	32,8 %	non	- 1,828				
B5 – Graisses animales	0,5580	- 0,0570	- 9,3 %	99,9 %	oui	- 11,577	0,02300	4,3 %	8,2 %	non
B5 – Huiles de friture	0,5460	- 0,0690	- 11,2 %	99,8 %	oui	- 14,015	0,01100	2,1 %	58,6 %	non
B5 – Huiles végétales	0,5350	- 0,0800	- 13,0 %	99,9 %	oui	- 16,249				
B20 – Graisses animales	0,4630	- 0,1520	- 24,7 %	100,0 %	oui	- 30,873	0,02100	4,8 %	95,9 %	oui
B20 – Huiles de friture	0,4220	- 0,1930	- 31,4 %	100,0 %	oui	- 39,201	- 0,02000	- 4,5 %	64,4 %	non
B20 – Huiles végétales	0,4420	- 0,1730	- 28,1 %	99,7 %	oui	- 35,138				

		STM	Québec	Canada
Consommation annuelle de carburant	millions de \$/an	47,2	90,0	368,0
Émissions globales annuelles de CO	tonnes/an	204,5	389,8	1 594,0
Énergie mécanique annuelle prévue	millions (CV.h)/an	203,9		

Essai	Consommation ℓ/(CV.h)	Résultats combinés g/ℓ	Comparaison avec le pétrodiésel de référence – STM					
			g/ℓ	%	tonnes/an ⁽²⁾	tonnes/an Québec	tonnes/an Canada	g/km
Moteur à injection mécanique								
Pétrodiésel de référence – STM	0,2314	4,3314						
Pétrodiésel N° 1								
B5 – Graisses animales								
B5 – Huiles de friture	0,2312	3,9318	- 0,3997	- 9,2 %	- 18,784	- 35,969	- 147,072	- 0,2598
B5 – Huiles végétales								
B20 – Graisses animales	0,2310	3,5823	- 0,7491	- 17,3 %	- 35,210	- 67,423	- 275,685	- 0,4869
B20 – Huiles de friture	0,2291	3,2849	- 1,0466	- 24,2 %	- 49,189	- 94,191	- 385,138	- 0,6803
B20 – Huiles végétales	0,2298	3,2867	- 1,0447	- 24,1 %	- 49,103	- 94,027	- 384,465	- 0,6791

Moteur à injection électronique								
Pétrodiesel de référence – STM	0,2285	2,6915						
Pétrodiesel N° 1	0,2269	2,6708	- 0,0207	- 0,8 %	- 0,972	- 1,862	- 7,612	- 0,0134
B5 – Graisses animales	0,2279	2,4481	- 0,2433	- 9,0 %	- 11,436	- 21,899	- 89,541	- 0,1582
B5 – Huiles de friture	0,2279	2,3958	- 0,2957	- 11,0 %	- 13,897	- 26,611	- 108,810	- 0,1922
B5 – Huiles végétales	0,2306	2,3200	- 0,3714	- 13,8 %	- 17,457	- 33,429	- 136,687	- 0,2414
B20 – Graisses animales	0,2320	1,9957	- 0,6958	- 25,9 %	- 32,701	- 62,620	- 256,046	- 0,4523
B20 – Huiles de friture	0,2297	1,8372	- 0,8543	- 31,7 %	- 40,151	- 76,886	- 314,378	- 0,5553
B20 – Huiles végétales	0,2314	1,9101	- 0,7814	- 29,0 %	- 36,724	- 70,322	- 287,538	- 0,5079

Impact du type de moteur

- L'impact de l'utilisation du B20 sur les émissions de CO se traduit, selon les origines, par :
 - une réduction de 17 à 25 % pour le moteur à injection mécanique ;
 - une réduction de 25 à 31 % pour le moteur à injection électronique.
- La technologie de l'injection électronique permet déjà une baisse des émissions de CO de l'ordre de 40 %, avant toute introduction de biodiesel.
- Qu'il soit exprimé en grammes par litre de mélange utilisé ou en tonnes par année, l'impact du B20 est du même ordre de grandeur pour les deux types de moteurs.

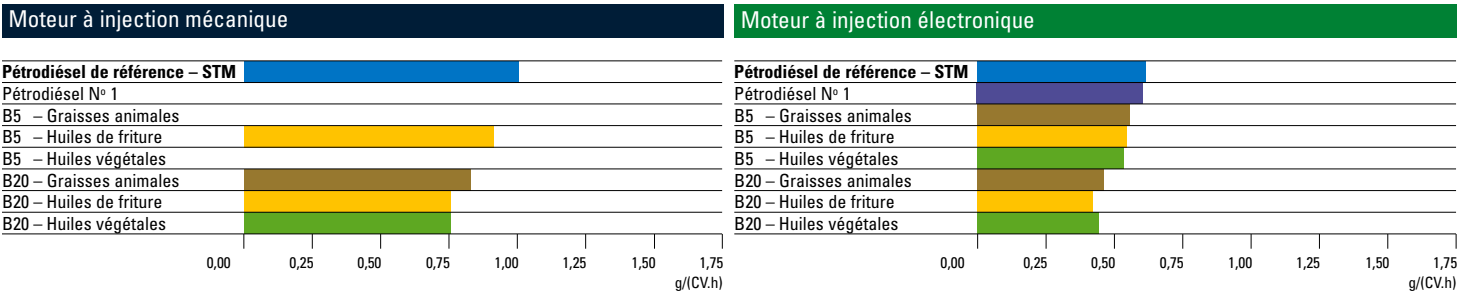
Impact de la concentration de biodiesel

- Le B20, qui contient 4 fois plus de biodiesel pur que le B5, n'engendre qu'une réduction des émissions de 2 à 3 fois plus importante que celle obtenue avec le B5.
- On ne peut donc pas conclure qu'il y a proportionnalité entre l'impact sur les émissions de CO et la concentration de biodiesel.

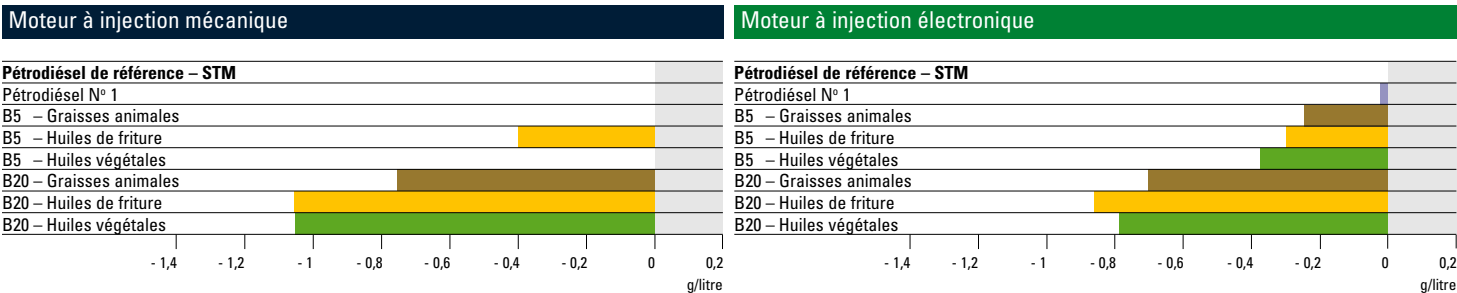
Impact de l'origine du biodiesel

- Les essais réalisés indiquent une différence mineure entre les différentes origines de biodiesel en ce qui concerne l'impact sur les émissions de CO. Cependant, le biodiesel d'origine animale aurait un impact significativement plus faible que le biodiesel d'origine végétale.

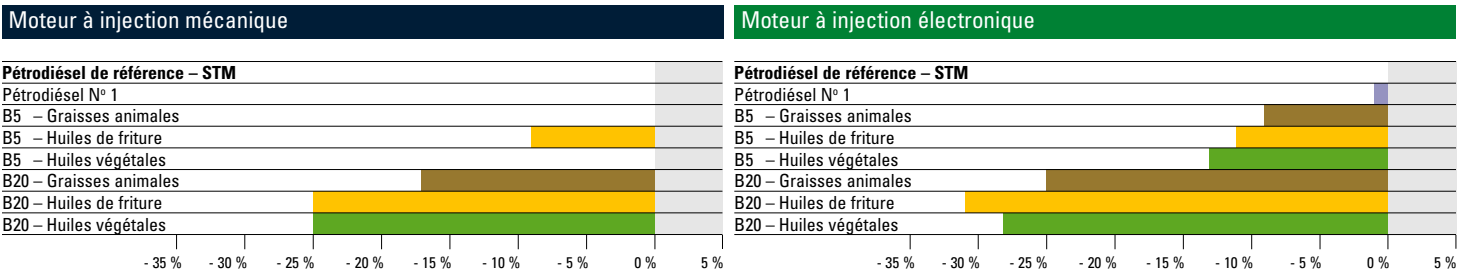
Émissions de monoxyde de carbone (CO)
g/(CV.h)



Réduction des émissions de monoxyde de carbone (CO)
par rapport au pétrodiésel de référence utilisé par la STM
(g/litre de carburant total consommé)



Réduction relative des émissions de monoxyde de carbone (CO)
par rapport au pétrodiésel de référence utilisé par la STM



- Autres constats**
- Au départ, les émissions de CO générées par les deux moteurs diésels étudiés sont très faibles : les essais effectués avec le carburant de référence, avant toute introduction de biodiésel, donnent des valeurs de 15 à 20 fois plus faibles que le maximum de 15,5 g/(CV.h) autorisé par la réglementation canadienne de 1998.
 - En résumé, on pourrait dire que le B20 réduit les émissions de CO de 17 à 32 % selon l'origine du biodiésel et le type de moteur.

- En ce qui concerne les émissions de CO produites par le moteur à injection électronique, l'utilisation du pétrodiésel n° 1 ne présente aucun avantage par rapport au pétrodiésel de référence (n° 2) utilisé par la STM.
- Si la STM utilisait du B20, elle serait en mesure de réduire d'environ 40 tonnes par année les quelque 200 tonnes de CO qu'elle émet annuellement. Une fois que tous les véhicules de son parc seront dotés de moteurs à injection électronique, l'impact du B20 serait du même ordre de grandeur.

Émissions d'hydrocarbures totaux (HCT)

Essai	Résultats bruts des essais g/(CV.h)	Comparaison avec le pétrodiesel de référence – STM					Comparaison avec le biodiesel d'origine végétale				
		g/(CV.h)	%	Anova	Différence significative	tonnes/an ⁽¹⁾	g/(CV.h)	%	Anova	Différence significative	
Moteur à injection mécanique											
Référence canadienne 1998	1,300										
Pétrodiesel de référence – STM	0,195										
Pétrodiesel N° 1											
B5 – Graisses animales											
B5 – Huiles de friture	0,205	0,010	5,2 %	83,4 %	non	2,058					
B5 – Huiles végétales											
B20 – Graisses animales	0,171	- 0,025	- 12,6 %	96,6 %	oui	- 4,984	- 0,00070	- 0,4 %	4,2 %	non	
B20 – Huiles de friture	0,181	- 0,014	- 7,0 %	81,8 %	non	- 2,791	0,01010	5,9 %	52,8 %	non	
B20 – Huiles végétales	0,171	- 0,024	- 12,2 %	97,4 %	oui	- 4,842					

Moteur à injection électronique										
Pétrodiesel de référence – STM	0,169									
Pétrodiesel N° 1	0,169	0,000	0,0 %	2,0 %	non	0,000				
B5 – Graisses animales	0,150	- 0,019	- 11,2 %	95,0 %	oui	- 3,859	0,01200	8,7 %	50,1 %	non
B5 – Huiles de friture	0,159	- 0,010	- 5,9 %	58,1 %	non	- 2,031	0,02100	15,2 %	99,1 %	oui
B5 – Huiles végétales	0,138	- 0,031	- 18,3 %	98,7 %	oui	- 6,296				
B20 – Graisses animales	0,118	- 0,051	- 30,2 %	99,9 %	oui	- 10,359	- 0,01500	- 11,3 %	92,5 %	non
B20 – Huiles de friture	0,127	- 0,042	- 24,9 %	99,9 %	oui	- 8,531	- 0,00600	- 4,5 %	83,1 %	non
B20 – Huiles végétales	0,133	- 0,036	- 21,3 %	99,5 %	oui	- 7,312				

		STM	Québec	Canada
Consommation annuelle de carburant	millions de ℓ/an	47,2	90,0	368,0
Émissions globales annuelles de HCT	tonnes/an	39,8	75,9	310,4
Énergie mécanique annuelle prévue	millions (CV.h)/an	203,9		

Essai	Consommation ℓ/(CV.h)	Résultats combinés g/ℓ	Comparaison avec le pétrodiesel de référence – STM					
			g/ℓ	%	tonnes/an ⁽²⁾	tonnes/an Québec	tonnes/an Canada	g/km
Moteur à injection mécanique								
Pétrodiesel de référence – STM	0,2314	0,8434						
Pétrodiesel N° 1								
B5 – Graisses animales								
B5 – Huiles de friture	0,2312	0,8880	0,0446	5,3 %	2,094	4,010	16,396	0,0290
B5 – Huiles végétales								
B20 – Graisses animales	0,2310	0,7387	- 0,1048	- 12,4 %	- 4,924	- 9,429	- 38,554	- 0,0681
B20 – Huiles de friture	0,2291	0,7919	- 0,0515	- 6,1 %	- 2,421	- 4,636	- 18,954	- 0,0335
B20 – Huiles végétales	0,2298	0,7456	- 0,0979	- 11,6 %	- 4,600	- 8,808	- 36,014	- 0,0636

Moteur à injection électronique								
Pétrodiesel de référence – STM	0,2285	0,7396						
Pétrodiesel N° 1	0,2269	0,7448	0,0052	0,7 %	0,245	0,469	1,919	0,0034
B5 – Graisses animales	0,2279	0,6581	- 0,0815	- 11,0 %	- 3,831	- 7,335	- 29,993	- 0,0530
B5 – Huiles de friture	0,2279	0,6977	- 0,0419	- 5,7 %	- 1,971	- 3,774	- 15,431	- 0,0273
B5 – Huiles végétales	0,2306	0,5984	- 0,1412	- 19,1 %	- 6,635	- 12,705	- 51,950	- 0,0918
B20 – Graisses animales	0,2320	0,5086	- 0,2310	- 31,2 %	- 10,856	- 20,789	- 85,003	- 0,1501
B20 – Huiles de friture	0,2297	0,5529	- 0,1867	- 25,2 %	- 8,775	- 16,804	- 68,710	- 0,1214
B20 – Huiles végétales	0,2314	0,5748	- 0,1648	- 22,3 %	- 7,748	- 14,836	- 60,663	- 0,1071

Impact du type de moteur

- La technologie de l'injection électronique permet déjà une baisse des émissions de HCT de l'ordre de 15 % ou 0,30 g/ℓ, avant toute introduction de biodiesel.
- L'impact de l'utilisation du B20 sur les émissions de HCT se traduit, selon les origines, par :
 - une réduction de l'ordre de 10 % ou d'environ 0,10 g/ℓ de mélange pour le moteur à injection mécanique ;
 - une réduction de 22 à 31 % ou de 0,17 à 0,23 g/ℓ pour le moteur à injection électronique.
- L'utilisation du B20 avec le moteur à injection électronique permet de diminuer du double les émissions de HCT comparativement au moteur à injection mécanique.

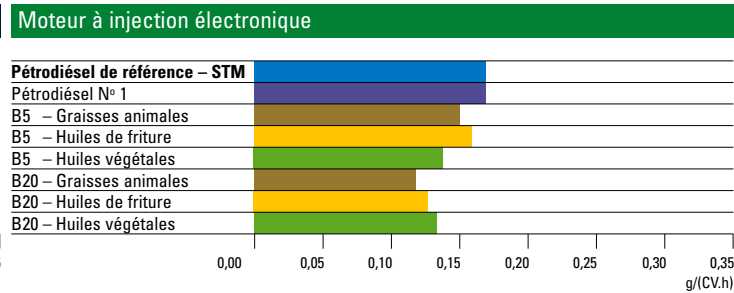
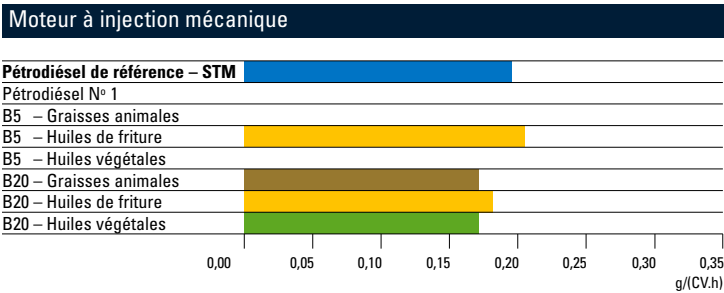
Impact de la concentration de biodiesel

- Les essais réalisés ne permettent pas de conclure à une proportionnalité entre l'impact sur les émissions de HCT et la concentration de biodiesel.

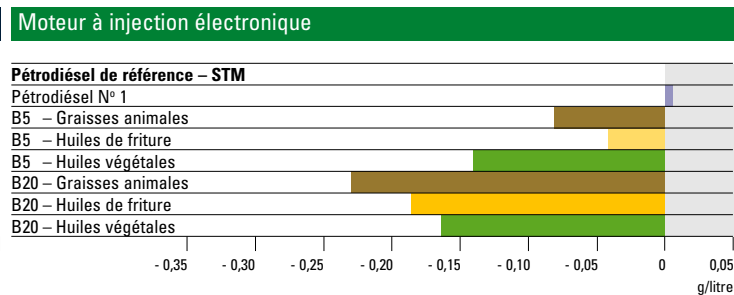
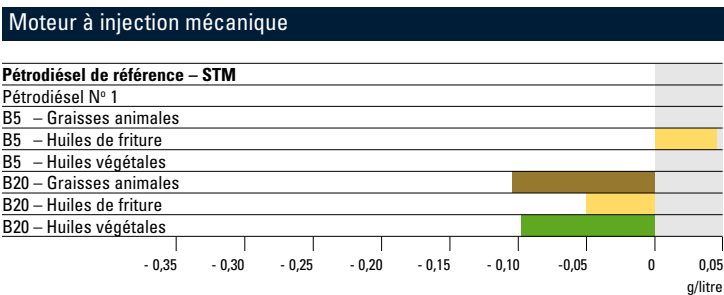
Impact de l'origine du biodiesel

- On ne peut émettre aucune affirmation permettant de différencier les biodésels de différentes origines en ce qui concerne les émissions de HCT.

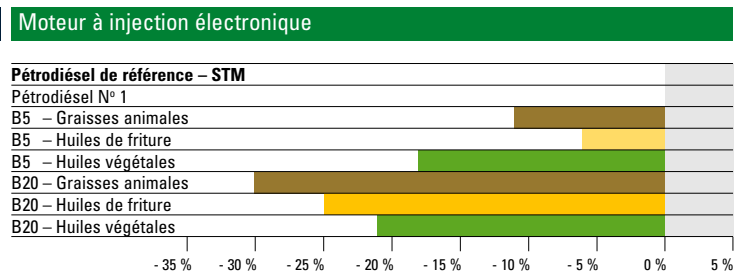
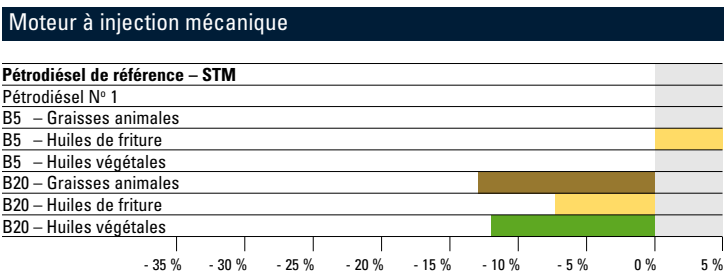
Émissions d'hydrocarbures totaux (HCT)
g/(CV.h)



Réduction des émissions d'hydrocarbures totaux (HCT)
par rapport au pétrodiésel de référence utilisé par la STM
(g/litre de carburant total consommé)



Réduction relative des émissions d'hydrocarbures totaux (HCT)
par rapport au pétrodiésel de référence utilisé par la STM



Autres constats

- Au départ, les émissions totales d'hydrocarbures (ou hydrocarbures totaux, HCT) générées par les deux moteurs diésels étudiés sont très faibles: en effet, les essais effectués avec le carburant de référence, avant toute introduction de biodiésel, donnent des valeurs de 6 à 7 fois plus faibles que ne l'autorise la réglementation canadienne de 1998 sur les émissions de HCT.
- En résumé, on peut dire que le B20 réduit les émissions de HCT de 10 à 30 % selon l'origine du biodiésel et le type de moteur.
- En ce qui concerne les émissions de HCT produites par le moteur à injection électronique, l'utilisation de pétrodiésel n° 1 ne présente aucun avantage par rapport au pétrodiésel de référence (n° 2) utilisé par la STM.
- Si la STM utilisait du B20, elle serait en mesure de réduire de 3 à 5 tonnes chaque année les quelque 40 tonnes de HCT qu'elle émet annuellement. Une fois que tous les véhicules de son parc seront dotés de moteurs à injection électronique, elle pourrait obtenir des réductions additionnelles de 7 à 10 tonnes par année.

Émissions d'oxydes d'azote (NO_x)

Essai	Résultats bruts des essais g/(CV.h)	Comparaison avec le pétrodiesel de référence – STM					Comparaison avec le biodiesel d'origine végétale			
		g/(CV.h)	%	Anova	Différence significative	tonnes/an ⁽¹⁾	g/(CV.h)	%	Anova	Différence significative
Moteur à injection mécanique										
Référence canadienne 1998	4,0000									
Pétrodiesel de référence – STM	7,3120									
Pétrodiesel N° 1										
B5 – Graisses animales										
B5 – Huiles de friture	7,3371	0,0251	0,3 %	28,6 %	non	5,101				
B5 – Huiles végétales										
B20 – Graisses animales	7,2008	- 0,1112	- 1,5 %	88,7 %	non	- 22,588	- 0,19131	- 2,6 %	99,9 %	oui
B20 – Huiles de friture	7,3331	0,0211	0,3 %	25,7 %	non	4,280	- 0,05902	- 0,8 %	92,5 %	non
B20 – Huiles végétales	7,3921	0,0801	1,1 %	76,3 %	non	16,268				

Moteur à injection électronique										
Pétrodiesel de référence – STM	4,7480									
Pétrodiesel N° 1	4,4800	- 0,2680	- 5,6 %	100,0 %	oui	- 54,434				
B5 – Graisses animales	4,5925	- 0,1555	- 3,3 %	99,2 %	oui	- 31,584	- 0,13050	- 2,8 %	95,5 %	oui
B5 – Huiles de friture	4,6530	- 0,0950	- 2,0 %	98,3 %	oui	- 19,296	- 0,07000	- 1,5 %	85,8 %	non
B5 – Huiles végétales	4,7230	- 0,0250	- 0,5 %	60,7 %	non	- 5,078				
B20 – Graisses animales	4,6100	- 0,1380	- 2,9 %	86,3 %	non	- 28,029	- 0,21700	- 4,5 %	99,5 %	oui
B20 – Huiles de friture	4,5330	- 0,2150	- 4,5 %	99,9 %	oui	- 43,669	- 0,29400	- 6,1 %	99,6 %	oui
B20 – Huiles végétales	4,8270	0,0790	1,7 %	64,5 %	non	16,046				

		STM	Québec	Canada
Consommation annuelle de carburant	millions de ℓ/an	47,2	90,0	368,0
Émissions globales annuelles de NO _x	tonnes/an	1 491,5	2 843,9	11 628,4
Énergie mécanique annuelle prévue	millions (CV.h)/an	203,9		

Essai	Consommation ℓ/(CV.h)	Résultats combinés g/ℓ	Comparaison avec le pétrodiesel de référence – STM					
			g/ℓ	%	tonnes/an ⁽²⁾	tonnes/an Québec	tonnes/an Canada	g/km
Moteur à injection mécanique								
Pétrodiesel de référence – STM	0,2314	31,5990						
Pétrodiesel N° 1								
B5 – Graisses animales								
B5 – Huiles de friture	0,2312	31,7349	0,1360	0,4 %	6,391	12,237	50,037	0,088
B5 – Huiles végétales								
B20 – Graisses animales	0,2310	31,1722	- 0,4267	- 1,4 %	- 20,056	- 38,404	- 157,031	- 0,277
B20 – Huiles de friture	0,2291	32,0082	0,4092	1,3 %	19,233	36,830	150,592	0,266
B20 – Huiles végétales	0,2298	32,1675	0,5686	1,8 %	26,722	51,170	209,228	0,370

Moteur à injection électronique								
Pétrodiesel de référence – STM	0,2285	20,7790						
Pétrodiesel N° 1	0,2269	19,7444	- 1,0346	- 5,0 %	- 48,627	- 93,115	- 380,737	- 0,672
B5 – Graisses animales	0,2279	20,1490	- 0,6300	- 3,0 %	- 29,612	- 56,704	- 231,856	- 0,410
B5 – Huiles de friture	0,2279	20,4168	- 0,3621	- 1,7 %	- 17,021	- 32,593	- 133,269	- 0,235
B5 – Huiles végétales	0,2306	20,4814	- 0,2976	- 1,4 %	- 13,989	- 26,788	- 109,532	- 0,193
B20 – Graisses animales	0,2320	19,8707	- 0,9083	- 4,4 %	- 42,690	- 81,747	- 334,256	- 0,590
B20 – Huiles de friture	0,2297	19,7344	- 1,0446	- 5,0 %	- 49,094	- 94,010	- 384,397	- 0,679
B20 – Huiles végétales	0,2314	20,8600	0,0810	0,4 %	3,806	7,289	29,804	0,053

Impact du type de moteur

- La technologie de l'injection électronique permet déjà une baisse des émissions de NO_x de l'ordre de 35 % ou 10,8 g/ℓ, avant toute introduction de biodiesel.
- C'est uniquement avec le moteur à injection électronique que l'on peut observer un impact significatif de l'utilisation du biodiesel sur les émissions de NO_x. Avec du biodiesel d'une origine autre que végétale pure, par exemple, cet impact se traduit par une baisse pouvant atteindre jusqu'à 1 g/ℓ de mélange ou 3 à 5 %.
- On n'observe aucun impact significatif de l'utilisation de biodiesel sur les émissions de NO_x avec un moteur à injection mécanique.

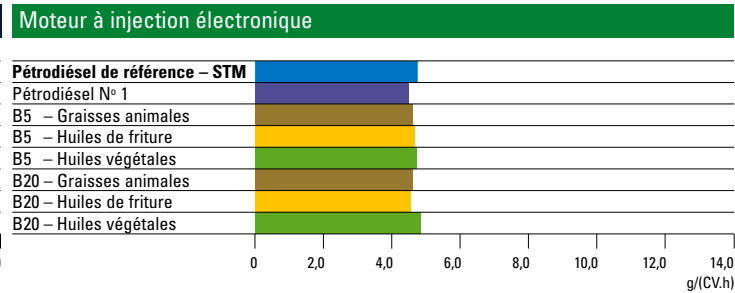
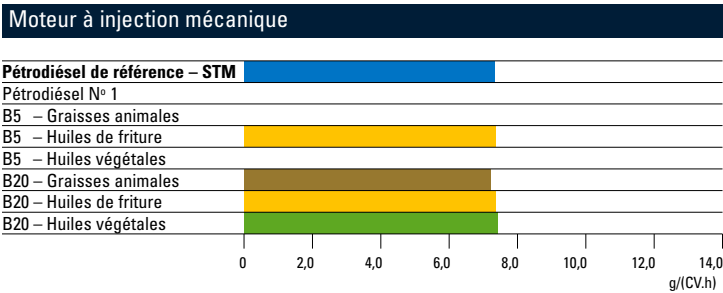
Impact de la concentration de biodiesel

- Les essais réalisés ne permettent de tirer aucune conclusion quant à l'impact du B20 sur les émissions de NO_x.

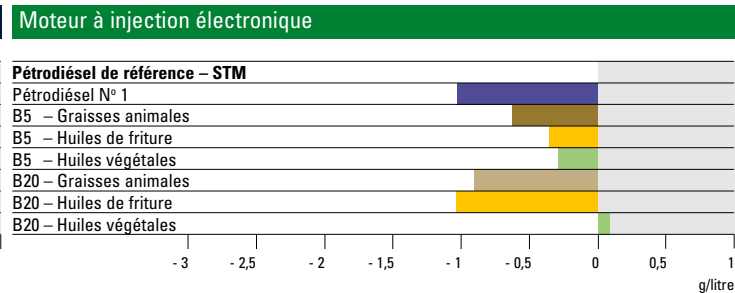
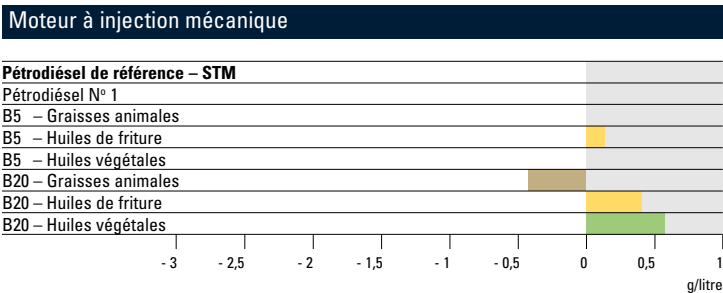
Impact de l'origine du biodiesel

- Les différents résultats semblent se recouper et indiquer que c'est la présence d'esters de corps gras d'origine animale qui contribue à réduire les émissions de NO_x.

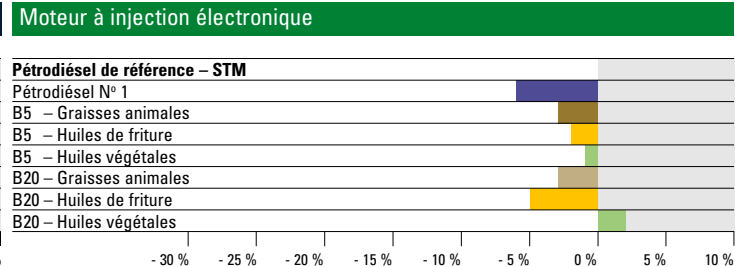
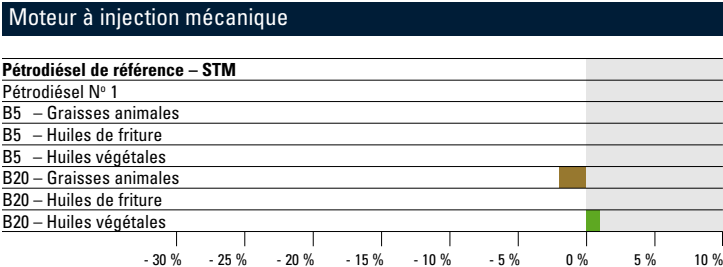
Émissions d'oxydes d'azote (NO_x)
g/(CV.h)



Réduction des émissions d'oxydes d'azote (NO_x)
par rapport au pétrodiésel de référence utilisé par la STM
(g/litre de carburant total consommé)



Réduction relative des émissions d'oxydes d'azote (NO_x)
par rapport au pétrodiésel de référence utilisé par la STM



Autres constats

- Les émissions de NO_x font l'objet d'un suivi particulier avec les moteurs diésels de manière à vérifier comment ils se comportent par rapport aux normes de pollution.
- L'utilisation du pétrodiésel n° 1 avec le moteur à injection électronique permet une baisse de près de 6 % des émissions de NO_x par rapport au pétrodiésel de référence (n° 2) utilisé par la STM.
- Si la STM utilisait du B20 d'une origine autre que végétale, elle serait en mesure de réduire jusqu'à 40 tonnes par année les quelque 1 500 tonnes de NO_x qu'elle émet annuellement, une fois que tous les véhicules de son parc seront dotés de moteurs à injection électronique.

- La tendance à la baisse des NO_x avec les graisses animales est probablement liée au fait que le biodiésel d'origine animale a un indice de cétane plus élevé, ce qui va dans le sens du rapport *Comprehensive Analysis of Biodiesel Impacts on Exhaust Emissions (Draft Technical Report EPA 420-P-02-001, octobre 2002)* de l'Agence de protection environnementale des États-Unis.

Émissions totales de particules (PM)

Essai	Résultats bruts des essais g/(CV.h)	Comparaison avec le pétrodiesel de référence – STM					Comparaison avec le biodiesel d'origine végétale			
		g/(CV.h)	%	Anova	Différence significative	tonnes/an ⁽¹⁾	g/(CV.h)	%	Anova	Différence significative
Moteur à injection mécanique										
Référence canadienne 1998	0,10000									
Pétrodiesel de référence – STM	0,09679									
Pétrodiesel N° 1										
B5 – Graisses animales										
B5 – Huiles de friture	0,08684	- 0,00994	- 10,3 %	96,6 %	oui	- 2,019				
B5 – Huiles végétales										
B20 – Graisses animales	0,07527	- 0,02152	- 22,2 %	99,5 %	oui	- 4,371	0,00827	12,3 %	80,7 %	non
B20 – Huiles de friture	0,07786	- 0,01893	- 19,6 %	99,9 %	oui	- 3,844	0,01086	16,2 %	72,8 %	non
B20 – Huiles végétales	0,06700	- 0,02979	- 30,8 %	98,8 %	oui	- 6,051				

Moteur à injection électronique										
Pétrodiesel de référence – STM	0,04016									
Pétrodiesel N° 1	0,03937	- 0,00079	- 2,0 %	92,4 %	non	- 0,160				
B5 – Graisses animales	0,03900	- 0,00116	- 2,9 %		non	- 0,235	- 0,00151	- 3,7 %	89,5 %	non
B5 – Huiles de friture	0,03956	- 0,00059	- 1,5 %	97,0 %	oui	- 0,121	- 0,00095	- 2,3 %	83,4 %	non
B5 – Huiles végétales	0,04051	0,00035	0,9 %	65,5 %	non	0,071				
B20 – Graisses animales	0,03704	- 0,00312	- 7,8 %	99,9 %	oui	- 0,634	0,00751	25,4 %	94,8 %	non
B20 – Huiles de friture	0,03459	- 0,00557	- 13,9 %	99,6 %	oui	- 1,131	0,00506	17,1 %	86,8 %	non
B20 – Huiles végétales	0,03349	- 0,00667	- 16,6 %	99,9 %	oui	- 1,384				

		STM	Québec	Canada
Consommation annuelle de carburant	millions de l/an	47,2	90,0	368,0
Émissions globales annuelles de PM	tonnes/an	19,8	37,6	153,9
Énergie mécanique annuelle prévue	millions (CV.h)/an	203,9		

Essai	Consommation ℓ/(CV.h)	Résultats combinés g/ℓ	Comparaison avec le pétrodiesel de référence – STM					
			g/ℓ	%	tonnes/an ⁽²⁾	tonnes/an Québec	tonnes/an Canada	g/km
Moteur à injection mécanique								
Pétrodiesel de référence – STM	0,2314	0,4183						
Pétrodiesel N° 1								
B5 – Graisses animales								
B5 – Huiles de friture	0,2312	0,3756	- 0,0426	- 10,2 %	- 2,004	- 3,838	- 15,691	- 0,0277
B5 – Huiles végétales								
B20 – Graisses animales	0,2310	0,3258	- 0,0924	- 22,1 %	- 4,344	- 8,319	- 34,016	- 0,0601
B20 – Huiles de friture	0,2291	0,3398	- 0,0784	- 18,7 %	- 3,686	- 7,057	- 28,857	- 0,0510
B20 – Huiles végétales	0,2298	0,2915	- 0,1267	- 30,3 %	- 5,956	- 11,405	- 46,635	- 0,0824

Moteur à injection électronique								
Pétrodiesel de référence – STM	0,2285	0,1758						
Pétrodiesel N° 1	0,2269	0,1735	- 0,0022	- 1,3 %	- 0,105	- 0,201	- 0,824	- 0,0015
B5 – Graisses animales	0,2279	0,1711	- 0,0046	- 2,6 %	- 0,218	- 0,418	- 1,709	- 0,0030
B5 – Huiles de friture	0,2279	0,1736	- 0,0021	- 1,2 %	- 0,101	- 0,193	- 0,790	- 0,0014
B5 – Huiles végétales	0,2306	0,1757	- 0,0001	0,0 %	- 0,004	- 0,007	- 0,029	- 0,0001
B20 – Graisses animales	0,2320	0,1597	- 0,0161	- 9,2 %	- 0,756	- 1,449	- 5,923	- 0,0105
B20 – Huiles de friture	0,2297	0,1506	- 0,0252	- 14,3 %	- 1,182	- 2,264	- 9,258	- 0,0164
B20 – Huiles végétales	0,2314	0,1447	- 0,0310	- 17,7 %	- 1,458	- 2,792	- 11,416	- 0,0202

Impact du type de moteur

- La technologie de l'injection électronique permet déjà une baisse des émissions totales de particules de l'ordre de 60 %, ce qui fait passer la masse totale des particules émises de 0,42 à 0,18 g/l, avant toute introduction de biodiesel.
- L'impact de l'utilisation du B20 sur les émissions totales de particules se traduit, selon les origines, par :
 - une réduction de 19 à 31 % ou de 0,08 à 0,13 g/l de mélange pour le moteur à injection mécanique ;
 - une réduction de 8 à 17 % ou de 0,01 à 0,05 g/l pour le moteur à injection électronique.
- L'impact du biodiesel sur les émissions totales de particules est beaucoup plus important quand il est utilisé avec le moteur à injection mécanique, qui émet près de 2,5 fois plus de particules que le moteur à injection électronique, avant toute introduction de biodiesel.

Impact de la concentration de biodiesel

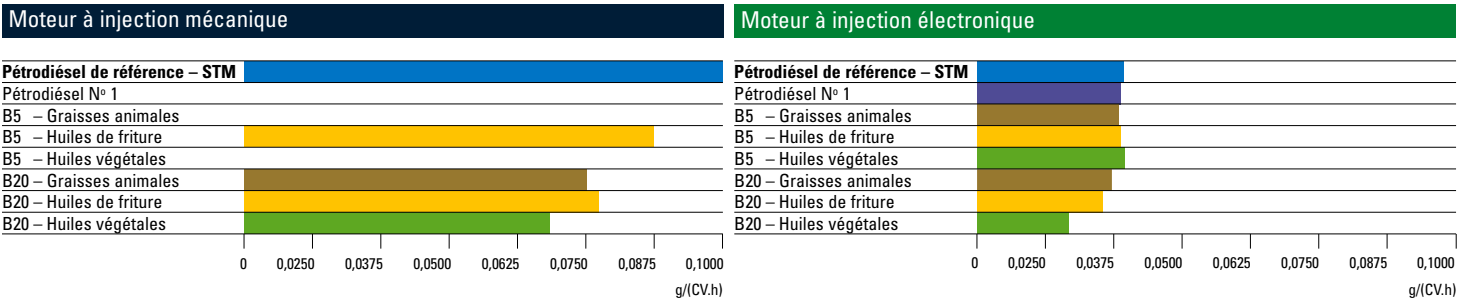
- Les essais réalisés ne permettent de tirer aucune conclusion quant à l'impact du B5 sur les émissions totales de particules du moteur à injection électronique.

Impact de l'origine du biodiesel

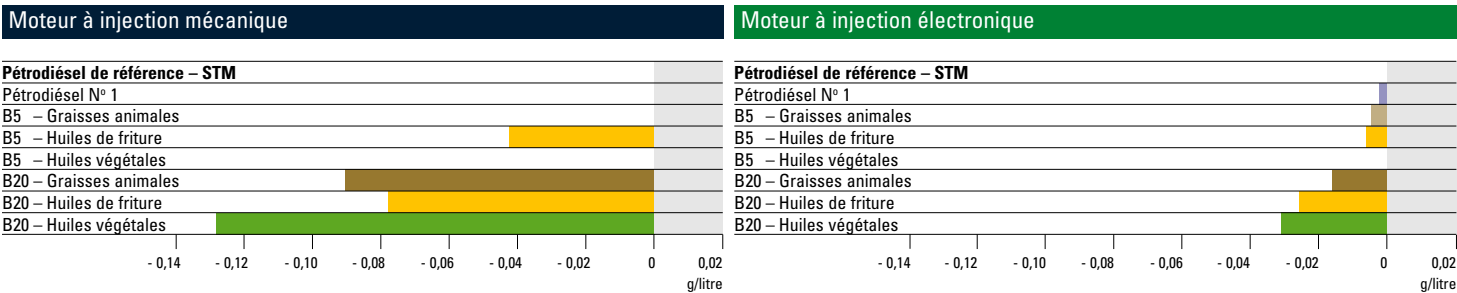
- C'est avec le B20 d'origine végétale que l'on obtient la réduction la plus importante des émissions totales de particules ; celles-ci atteignent alors 17 et 31 % (0,03 g/l et 0,13 g/l) respectivement, selon que le moteur est à injection électronique ou mécanique.

Émissions totales de particules (PM)

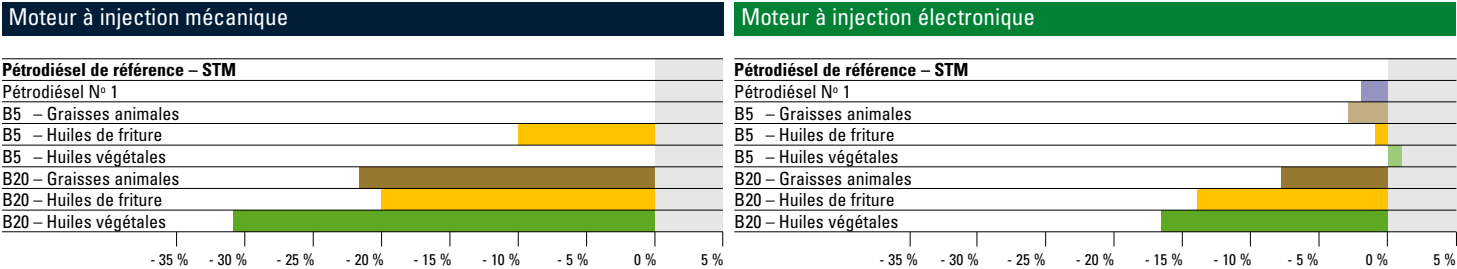
g/(CV.h)



Réduction des émissions totales de particules (PM)
par rapport au pétrodiésel de référence utilisé par la STM
(g/litre de carburant total consommé)



Réduction relative des émissions totales de particules (PM)
par rapport au pétrodiésel de référence utilisé par la STM



Autres constats

- La masse totale des particules émises (PM) fait l’objet d’un suivi particulier avec les moteurs diésels de manière à vérifier comment ils se comportent par rapport aux normes de pollution.
- En ce qui concerne les émissions de particules attribuables au moteur à injection électronique, l’utilisation du pétrodiésel n° 1 ne présente aucun avantage par rapport au pétrodiésel de référence (n° 2) utilisé par la STM.
- Si la STM utilisait du B20, elle serait en mesure de réduire de près de 5 tonnes par année les quelque 20 tonnes de particules qu’elle émet annuellement. Une fois que tous les véhicules de son parc seront dotés de moteurs à injection électronique, elle pourrait limiter ses émissions à environ 1 tonne de particules par année.

Émissions de particules fines de moins de 2,5 µm (PM_{2,5})

Essai	Résultats bruts des essais g/(CV.h)	Comparaison avec le pétrodiésel de référence – STM					Masse de particules fines (PM _{2,5}) par rapport à la masse totale de particules (PM)
		g/(CV.h)	%	Anova	Différence significative	tonnes/an ⁽¹⁾	%
Moteur à injection mécanique							
Référence canadienne 1998	n/d						
Pétrodiésel de référence – STM	0,08528						88,1
Pétrodiésel N° 1							
B5 – Graisses animales							
B5 – Huiles de friture	0,07880	- 0,00648	- 7,6 %	97,1 %	oui	- 1,316	90,7
B5 – Huiles végétales							
B20 – Graisses animales							
B20 – Huiles de friture	0,06694	- 0,01833	- 21,5 %	98,0 %	oui	- 3,724	86,0
B20 – Huiles végétales	0,06566	- 0,01961	- 23,0 %	98,2 %	oui	- 3,984	98,0

Moteur à injection électronique								
Pétrodiesel de référence – STM	0,03460						86,2	
Pétrodiesel N° 1								
B5 – Graisses animales	0,03279	- 0,00181	- 5,2 %	72,1 %	non	- 0,367	84,1	
B5 – Huiles de friture	0,03261	- 0,00199	- 5,8 %	42,4 %	non	- 0,404	82,4	
B5 – Huiles végétales	0,03365	- 0,00095	- 2,8 %	51,4 %	non	- 0,194	83,1	
B20 – Graisses animales	0,03553	0,00093	2,7 %	69,8 %	non	0,189	95,9	
B20 – Huiles de friture	0,02934	- 0,00526	- 15,2 %	96,6 %	oui	- 1,069	84,8	
B20 – Huiles végétales	0,02953	- 0,00507	- 14,7 %	75,4 %	non	- 1,030	100,0	

		STM	Québec	Canada
Consommation annuelle en carburant	millions de ℓ/an	47,2	90,0	368,0
Émissions globales annuelles de PM _{2,5}	tonnes/an	17,4	33,2	135,6
Énergie mécanique annuelle prévue	millions (CV.h)/an	203,9		

Essai	Consommation ℓ/(CV.h)	Résultats combinés g/ℓ	Comparaison avec le pétrodiesel de référence – STM					
			g/ℓ	%	tonnes/an ⁽²⁾	tonnes/an Québec	tonnes/an Canada	g/km
Moteur à injection mécanique								
Pétrodiesel de référence – STM	0,2314	0,3685						
Pétrodiesel N° 1								
B5 – Graisses animales								
B5 – Huiles de friture	0,2312	0,3408	- 0,0277	- 7,5 %	- 1,303	- 2,494	- 10,199	- 0,0180
B5 – Huiles végétales								
B20 – Graisses animales								
B20 – Huiles de friture	0,2291	0,2922	- 0,0763	- 20,7 %	- 3,588	- 6,870	- 28,090	- 0,0496
B20 – Huiles végétales	0,2298	0,2857	- 0,0828	- 22,5 %	- 3,891	- 7,451	- 30,466	- 0,0538

Moteur à injection électronique								
Pétrodiesel de référence – STM	0,2285	0,1514						
Pétrodiesel N° 1								
B5 – Graisses animales	0,2279	0,1439	- 0,0075	- 5,0 %	0,355	- 0,679	- 2,778	- 0,0049
B5 – Huiles de friture	0,2279	0,1431	- 0,0083	- 5,5 %	- 0,392	- 0,750	- 3,068	- 0,0054
B5 – Huiles végétales	0,2306	0,1459	- 0,0055	- 3,6 %	- 0,259	- 0,496	- 2,028	- 0,0036
B20 – Graisses animales	0,2320	0,1531	0,0017	1,1 %	0,081	0,155	0,633	0,0011
B20 – Huiles de friture	0,2297	0,1277	- 0,0237	- 15,7 %	- 1,114	- 2,133	- 8,723	- 0,0154
B20 – Huiles végétales	0,2314	0,1276	- 0,0238	- 15,7 %	- 1,119	- 2,143	- 8,763	- 0,0155

Impact du type de moteur

- La technologie de l'injection électronique permet déjà une baisse de 60 % de la masse émise de particules fines de moins de 2,5 µm, ce qui fait passer la masse totale émise de 0,37 à 0,15 g/ℓ, avant toute introduction de biodiesel.
- L'utilisation du biodiesel avec le moteur à injection électronique n'a pas d'impact significatif sur les émissions de particules fines, sauf pour le B20 à base d'huiles de friture qui engendrerait une réduction de 15 % ou 0,02 g/ℓ de mélange.
- L'impact est significatif dans le cas du moteur à injection mécanique. Avec le B20, on observe une réduction des émissions de particules fines de l'ordre de 23 % ou 0,08 g/ℓ de mélange.

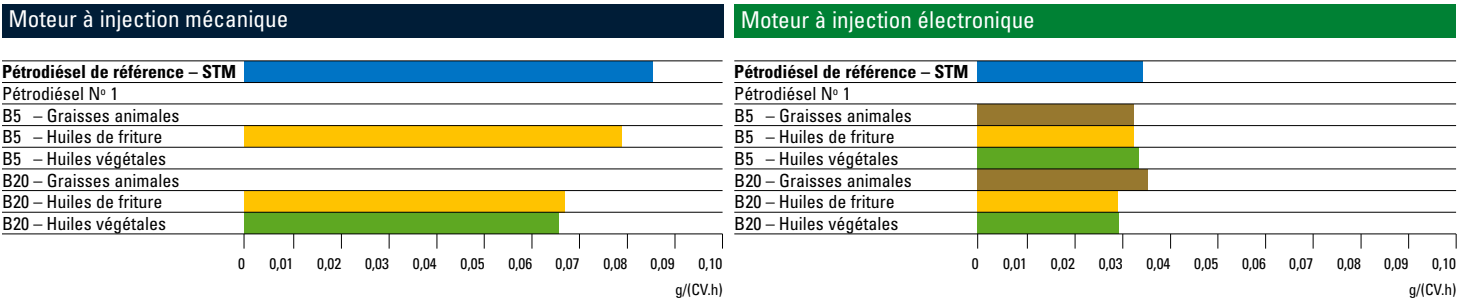
- L'impact du biodiesel sur les émissions totales de particules fines est plus important quand il est utilisé avec le moteur à injection mécanique et celui-ci émet près de 2,5 fois plus de particules que le moteur à injection électronique, avant toute introduction de biodiesel.

Impact de la concentration de biodiesel

- Une concentration plus élevée de biodiesel dans le mélange entraîne une augmentation de la proportion que représente la masse des particules fines de moins de 2,5 µm par rapport à la masse totale de toutes les particules sauf pour l'huile de friture. En d'autres mots, le biodiesel permet d'éliminer d'abord la masse des particules de plus grosses dimensions. Cependant, le biodiesel n'augmente pas la masse des particules fines car les observations, lorsqu'elles sont significatives, indiquent aussi une baisse de celle-ci.

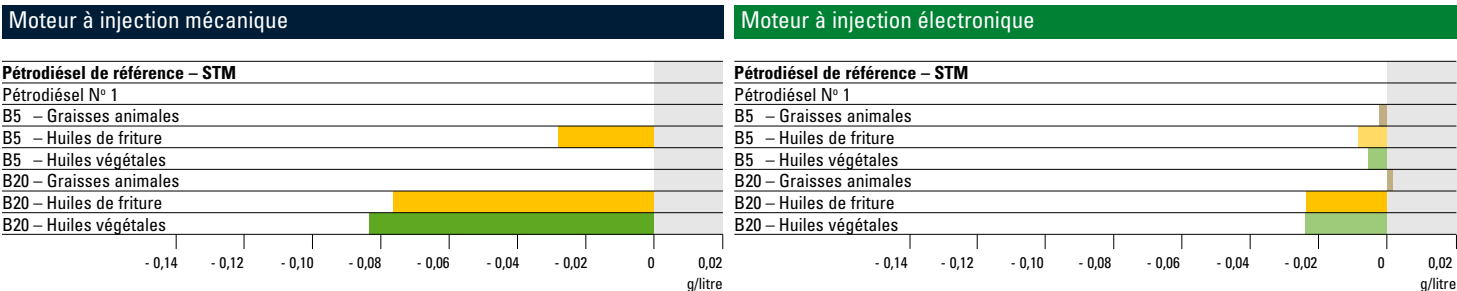
Émissions de particules fines de moins de 2,5 µm (PM_{2,5})

(PM – Masse totale des particules) g/(CV.h)

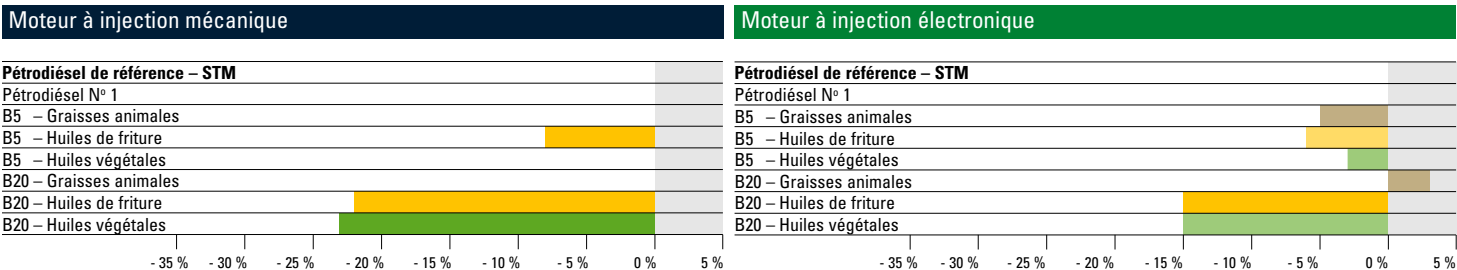


Réduction des émissions de particules fines de moins de 2,5 µm (PM_{2,5}) par rapport au pétrodiésel de référence utilisé par la STM

(g/litre de carburant total consommé)



Réduction relative des émissions de particules fines de moins de 2,5 µm (PM_{2,5}) par rapport au pétrodiésel de référence utilisé par la STM



- Les essais réalisés ne permettent pas d’observer d’impact significatif du B5 sur les émissions de particules générées par le moteur à injection électronique.
- Avec un seul point mesuré pour le B5 sur le moteur à injection mécanique, on ne peut pas tirer de conclusion quant à l’impact de la concentration sur les émissions de particules fines.

Impact de l’origine du biodiésel

- Contrairement aux biodiésels des deux autres origines pour lesquels on a enregistré des réductions, le biodiésel d’origine animale n’a aucun impact significatif sur les émissions de particules fines générées par le moteur à injection électronique. Les essais n’ont pas permis de vérifier si cette tendance s’applique aussi au moteur à injection mécanique.

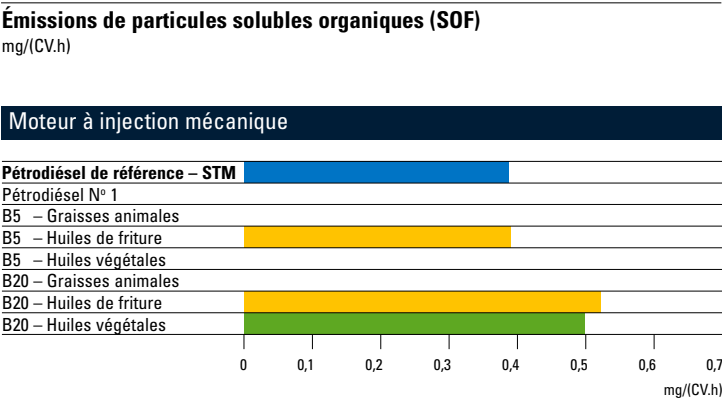
Autres constats

- Si la STM utilisait du B20, elle serait en mesure de réduire de plus de 3 tonnes par année les quelque 17 tonnes de particules fines qu’elle émet annuellement. Une fois que tous les véhicules de son parc seront dotés de moteurs à injection électronique, la réduction obtenue avec le biodiésel ne sera plus que d’une tonne de particules fines par année.
- Les particules fines de moins de 2,5 µm font l’objet d’un suivi particulier parce qu’elles sont plus susceptibles d’atteindre les voies respiratoires que les particules de plus grosses dimensions.

Analyse des particules fines de moins de 2,5 µm (PM_{2,5})

Émissions de carbone organique				
mg/(CV.h)				
	mg/(CV.h)	%	Anova	Différence significative
Moteur à injection électronique				
Pétrodiesel de référence – STM	7,656			
Pétrodiesel N° 1				
B5 – Graisses animales	7,605	- 0,7 %	6,4 %	non
B5 – Huiles de friture	8,518	11,3 %	76,3 %	non
B5 – Huiles végétales	8,269	8,0 %	41,7 %	non
B20 – Graisses animales	7,751	1,2 %	12,8 %	non
B20 – Huiles de friture	8,586	12,1 %	74,1 %	non
B20 – Huiles végétales	8,103	5,8 %	48,8 %	non

Émissions de carbone élémentaire				
mg/(CV.h)				
	mg/(CV.h)	%	Anova	Différence significative
Moteur à injection électronique				
Pétrodiesel de référence – STM	25,488			
Pétrodiesel N° 1				
B5 – Graisses animales	24,343	- 4,5 %	93,8 %	non
B5 – Huiles de friture	26,679	4,7 %	81,6 %	non
B5 – Huiles végétales	21,140	- 17,1 %	98,9 %	oui
B20 – Graisses animales	19,641	- 22,9 %	99,9 %	oui
B20 – Huiles de friture	20,634	- 19,0 %	99,7 %	oui
B20 – Huiles végétales	21,256	- 16,6 %	81,4 %	non



- Le fait que le biodiesel élimine d’abord la masse des particules les plus grosses mérite d’être mis en parallèle avec les résultats de comptage du nombre de particules en fonction de leur taille.
- L’analyse de la distribution du nombre de particules selon leur dimension donne les résultats suivants:
 - Le moteur à injection mécanique produit surtout des particules avoisinant 0,102 µm pour le carburant de référence et le B5 à base d’huiles de friture, alors qu’avec le B20 à base d’huiles de friture et le B20 d’origine végétale, les particules sont de l’ordre de 0,059 µm et de 0,029 µm. De plus, pour le moteur à injection mécanique, le nombre de particules de 1,5 µm et moins a augmenté de 80 %, passant ainsi de 2,5 à 4 unités normalisées de comptage.
 - Avec le moteur électronique, la répartition des particules est la même pour tous les carburants, la majorité atteignant près de 0,059 µm. On n’a observé aucune augmentation du nombre de particules de 1,5 µm et moins, qui se maintient à 1,4 unités normalisées de comptage.
- Certaines caractéristiques des particules émises, telles que leur fraction soluble organique (SOF), ou l’identification de celles qui sont constituées de carbone pur (carbone élémentaire) ou de molécules organiques (carbone organique) ont aussi fait l’objet d’une étude. En effet, c’est la fraction soluble ou organique de ces particules qui est la plus susceptible d’entrer en interaction avec l’organisme et donc d’être la plus cancérigène.
- La fraction soluble organique des particules a été analysée pour les émissions produites par le moteur à injection électronique. Les résultats montrent que ce type de particules augmente avec l’ajout de biodiesel.
- Pour les essais du moteur à injection mécanique, il a été décidé d’analyser les particules selon leur teneur en carbone élémentaire et organique. Les résultats de l’analyse des particules en carbone élémentaire et organique effectuée pour le moteur à injection électronique sont résumés dans les tableaux ci-dessus. L’analyse Anova de ces résultats montre clairement que même s’il semble y avoir une faible augmentation de la masse de carbone organique (le plus dangereux), elle n’est pas significative. En revanche, la baisse de la masse du carbone élémentaire est, quant à elle, significative; elle atteint 20 % avec les B20.
- En conclusion, la diminution de la masse totale des particules attribuable au biodiesel est d’abord causée par la réduction de carbone élémentaire (celui qui produit les fumées noires de suie). Ce constat va dans le sens que le biodiesel, pauvre en soufre, appauvrit la teneur totale en soufre du mélange de carburant utilisé. Or, le soufre est un facteur déterminant dans la formation de particules de carbone élémentaire.
- On ne peut pas conclure à une diminution de la fraction soluble organique des particules, ni à une diminution des particules plus fines que 1,5 µm. Ces types de particules sont réputées être les plus dangereuses pour la santé. Cependant, avec le moteur à injection électronique, on peut affirmer qu’il n’y a aucune augmentation significative des émissions de telles particules.

Émissions de sulfates (SO₄)

Essai	Résultats bruts des essais mg/(CV.h)	Comparaison avec le pétrodiesel de référence – STM					Comparaison avec le biodiesel d'origine végétale			
		mg/(CV.h)	%	Anova	Différence significative	tonnes/an ⁽¹⁾	mg/(CV.h)	%	Anova	Différence significative
Moteur à injection mécanique										
Référence canadienne 1998	n/d									
Pétrodiesel de référence – STM	128,80									
Pétrodiesel N° 1										
B5 – Graisses animales										
B5 – Huiles de friture	134,90	6,10	4,7 %	35,0 %	non	1,2390				
B5 – Huiles végétales										
B20 – Graisses animales										
B20 – Huiles de friture	112,90	- 15,90	- 12,3 %	80,9 %	non	- 3,2295	4,10000	3,8 %		
B20 – Huiles végétales	108,80	- 20,00	- 15,5 %	88,7 %	non	- 4,0622				

Moteur à injection électronique										
Pétrodiesel de référence – STM	134,35									
Pétrodiesel N° 1										
B5 – Graisses animales	122,31	- 12,04	- 9,0 %	99,9 %	oui	- 2,4456	- 9,25228	- 7,0 %		
B5 – Huiles de friture	135,26	0,91	0,7 %	33,3 %	non	0,1846	3,69698	2,8 %		
B5 – Huiles végétales	131,57	- 2,79	- 2,1 %	90,3 %	non	- 0,5663				
B20 – Graisses animales	110,22	- 24,13	- 18,0 %	99,0 %	oui	- 4,9020	- 1,06590	- 1,0 %		
B20 – Huiles de friture	114,51	- 19,85	- 14,8 %	99,9 %	oui	- 4,0312	3,22147	2,9 %		
B20 – Huiles végétales	111,29	- 23,07	- 17,2 %	99,9 %	oui	- 4,6855				

		STM	Québec	Canada
Consommation annuelle de carburant	millions de \$/an	47,2	90,0	368,0
Émissions globales annuelles de SO ₄	tonnes/an	26,3	50,1	204,8
Énergie mécanique annuelle prévue	millions (CV.h)/an	203,9		

Essai	Consommation ℓ/(CV.h)	Résultats combinés mg/ℓ	Comparaison avec le pétrodiesel de référence – STM					
			mg/ℓ	%	tonnes/an ⁽²⁾	tonnes/an Québec	tonnes/an Canada	mg/km
Moteur à injection mécanique								
Pétrodiesel de référence – STM	0,2314	556,61						
Pétrodiesel N° 1								
B5 – Graisses animales								
B5 – Huiles de friture	0,2312	583,48	26,87	4,8 %	1,263	2,418	9,887	17,4626
B5 – Huiles végétales								
B20 – Graisses animales								
B20 – Huiles de friture	0,2291	492,80	- 63,81	- 11,5 %	- 2,999	- 5,743	- 23,484	- 41,4791
B20 – Huiles végétales	0,2298	473,46	- 83,16	- 14,9 %	- 3,908	- 7,484	- 30,602	- 54,0519

Moteur à injection électronique								
Pétrodiesel de référence – STM	0,2285	587,98						
Pétrodiesel N° 1								
B5 – Graisses animales	0,2279	536,63	- 51,35	- 8,7 %	- 2,413	- 4,621	- 18,896	- 33,3769
B5 – Huiles de friture	0,2279	593,52	5,54	0,9 %	0,260	0,498	2,037	3,5981
B5 – Huiles végétales	0,2306	570,54	- 17,45	- 3,0 %	- 0,820	- 1,570	- 6,420	- 11,3397
B20 – Graisses animales	0,2320	475,09	- 112,90	- 19,2 %	- 5,306	- 10,161	- 41,547	- 73,3839
B20 – Huiles de friture	0,2297	498,51	- 89,48	- 15,2 %	- 4,205	- 8,053	- 32,927	- 58,1595
B20 – Huiles végétales	0,2314	480,92	- 107,06	- 18,2 %	- 5,032	- 9,635	- 39,398	- 69,5891

Impact du type de moteur

- Le type d'injection a peu d'impact sur les émissions de SO₄ par rapport au carburant de référence, avant toute introduction de biodiesel.
- Les essais effectués sur le moteur à injection mécanique n'ont pas permis de constater un impact significatif de l'utilisation du biodiesel sur les émissions de SO₄.
- Les essais effectués sur le moteur à injection électronique démontrent un impact significatif de l'utilisation de biodiesel sur les émissions de SO₄. Cet impact se traduit par :
 - une réduction de 9 % ou 0,05 g/ℓ avec le B5 d'origine animale (seulement);
 - une réduction de 15 % pour le B20, sans distinction significative entre les différentes origines.

Impact de la concentration de biodiesel

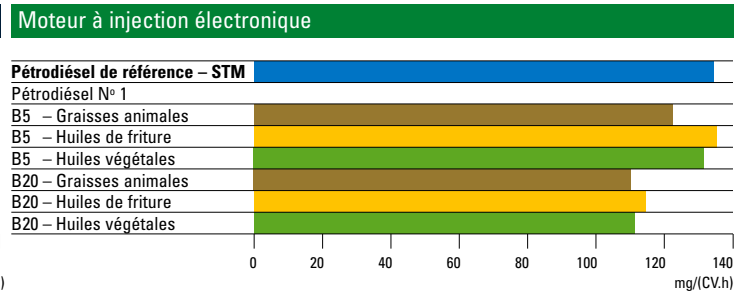
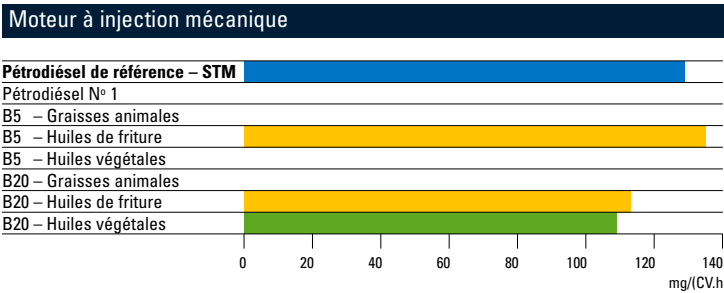
- À l'exclusion du biodiesel d'origine animale utilisé avec le moteur à injection électronique, l'impact du B5 sur les émissions de SO₄ est en général non significatif.
- Si on se base uniquement sur le biodiesel d'origine animale utilisé avec le moteur à injection électronique, on ne constate aucune proportionnalité entre la concentration de biodiesel et l'impact sur les émissions de SO₄.

Impact de l'origine du biodiesel

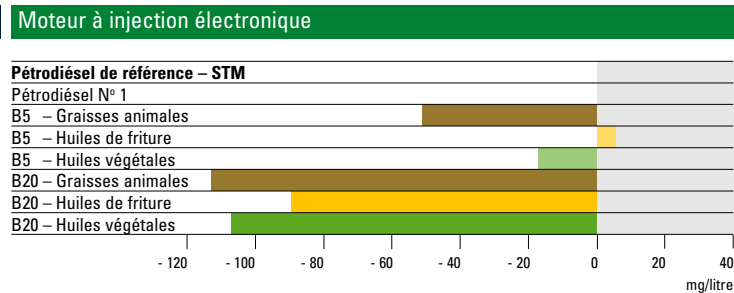
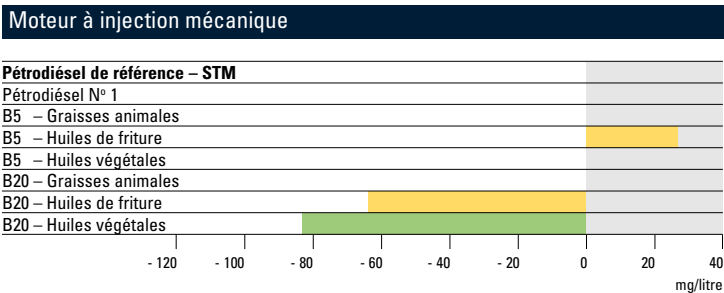
- Les essais réalisés avec le B20 n'indiquent qu'une différence mineure entre les diverses origines de biodiesel en ce qui concerne l'impact sur les émissions de SO₄. Seul le biodiesel d'origine animale donne un résultat significatif à une concentration de 5 %.

Émissions de sulfates (SO4)

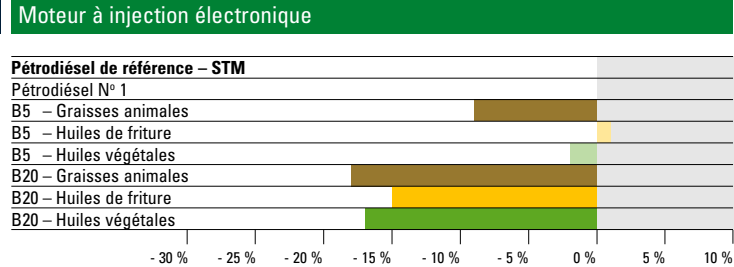
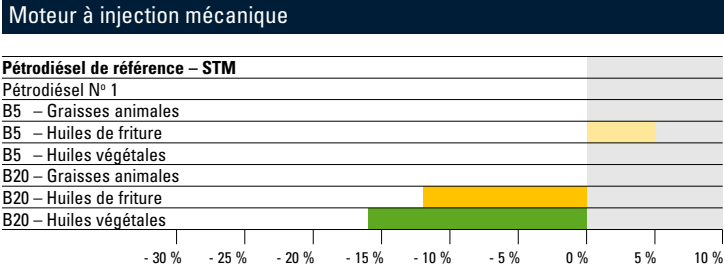
mg/(CV.h)



Réduction des émissions de sulfates (SO4)
par rapport au pétrodiésel de référence utilisé par la STM
(mg/litre de carburant total consommé)



Réduction relative des émissions de sulfates (SO4)
par rapport au pétrodiésel de référence utilisé par la STM



- Autres constats**
- Au départ, les émissions de SO4 générées par les deux types de moteurs diésels étudiés sont très faibles: 130 mg ou 0,013 g/(CV.h).
 - En résumé, on peut dire que le B20 réduit les émissions de SO4 de 12 à 17 % selon l'origine du biodiésel et le type de moteur.
 - Si la STM utilisait du B20, elle serait en mesure de réduire d'environ 4 tonnes par année les quelque 25 tonnes de SO4 qu'elle émet annuellement et même davantage une fois que les véhicules de son parc seront dotés de moteurs à injection électronique.

Émissions d'hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)

Essai	Résultats bruts des essais mg/(CV.h)	Comparaison avec le pétrodiesel de référence – STM					Comparaison avec le biodiesel d'origine végétale			
		mg/(CV.h)	%	Anova	Différence significative	tonnes/an ⁽¹⁾	mg/(CV.h)	%	Anova	Différence significative
Moteur à injection mécanique										
Référence canadienne 1998	n/d									
Pétrodiesel de référence – STM	0,12									
Pétrodiesel N° 1										
B5 – Graisses animales										
B5 – Huiles de friture	0,11	- 0,01	- 8 %			- 0,0020				
B5 – Huiles végétales										
B20 – Graisses animales										
B20 – Huiles de friture	0,13	0,01	8 %			0,0020	0,0200	18,2 %		
B20 – Huiles végétales	0,11	- 0,01	- 8 %			- 0,0020				

Moteur à injection électronique										
Pétrodiesel de référence – STM	0,0959									
Pétrodiesel N° 1										
B5 – Graisses animales	0,1007	0,0048	5,0 %			0,0010	0,0089	9,7 %		
B5 – Huiles de friture	0,1081	0,0122	12,7 %			0,0025	0,0163	17,8 %		
B5 – Huiles végétales	0,0918	- 0,0041	- 4,3 %			- 0,0008				
B20 – Graisses animales	0,0670	- 0,0289	- 30,1 %			- 0,0059	- 0,0192	- 22,3 %		
B20 – Huiles de friture	0,0732	- 0,0227	- 23,7 %			- 0,0046	- 0,0130	- 15,1 %		
B20 – Huiles végétales	0,0862	- 0,0097	- 10,1 %			- 0,0020				

		STM	Québec	Canada
Consommation annuelle de carburant	millions de ℓ/an	47,2	90,0	368,0
Émissions globales annuelles d'HAP	tonnes/an	0,024	0,047	0,191
Énergie mécanique annuelle prévue	millions (CV.h)/an	203,9		

Essai	Consommation ℓ/(CV.h)	Résultats combinés mg/ℓ	Comparaison avec le pétrodiesel de référence – STM					
			mg/ℓ	%	tonnes/an ⁽²⁾	tonnes/an Québec	tonnes/an Canada	mg/km
Moteur à injection mécanique								
Pétrodiesel de référence – STM	0,2314	0,52						
Pétrodiesel N° 1								
B5 – Graisses animales								
B5 – Huiles de friture	0,2312	0,48	- 0,043	- 8 %	- 0,0020	- 0,0039	- 0,016	- 0,028
B5 – Huiles végétales								
B20 – Graisses animales								
B20 – Huiles de friture	0,2291	0,57	0,049	9 %	0,0023	0,0044	0,018	0,032
B20 – Huiles végétales	0,2298	0,48	- 0,040	- 8 %	- 0,0019	- 0,0036	- 0,015	- 0,026

Moteur à injection électronique								
Pétrodiesel de référence – STM	0,2285	0,4197						
Pétrodiesel N° 1								
B5 – Graisses animales	0,2279	0,4418	0,0221	5,3 %	0,001	0,002	0,008	0,0144
B5 – Huiles de friture	0,2279	0,4743	0,0546	13,0 %	0,003	0,005	0,020	0,0355
B5 – Huiles végétales	0,2306	0,3981	- 0,0216	- 5,1 %	- 0,001	- 0,002	- 0,008	- 0,0140
B20 – Graisses animales	0,2320	0,2888	- 0,1309	- 31,2 %	- 0,006	- 0,012	- 0,048	- 0,0851
B20 – Huiles de friture	0,2297	0,3187	- 0,1010	- 24,1 %	- 0,005	- 0,009	- 0,037	- 0,0657
B20 – Huiles végétales	0,2314	0,3725	- 0,0472	- 11,2 %	- 0,002	- 0,004	- 0,017	- 0,0307

Impact du type de moteur

- La technologie de l'injection électronique permet déjà une baisse des émissions de HAP de l'ordre de 20 % ou 0,02 g/ℓ, avant toute introduction de biodiesel.
- L'impact du biodiesel ne peut être déterminé qu'avec l'injection électronique et l'utilisation du B20.

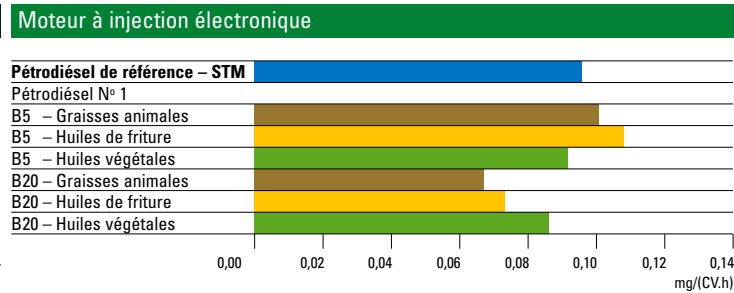
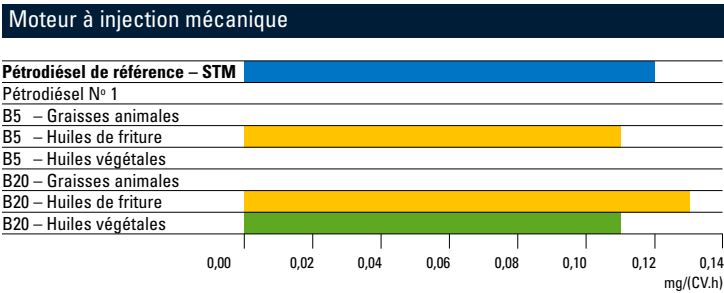
Impact de la concentration de biodiesel

- Les essais réalisés ne permettent de tirer aucune conclusion quant à l'impact du B5 sur les émissions de HAP.
- À une concentration de 20 %, tous les types de biodésels engendrent des baisses substantielles des émissions de HAP avec le moteur à injection électronique seulement.

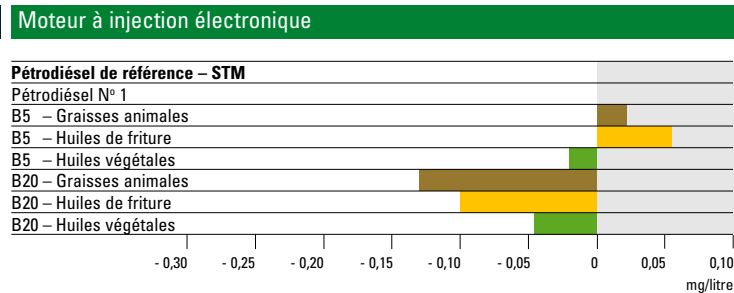
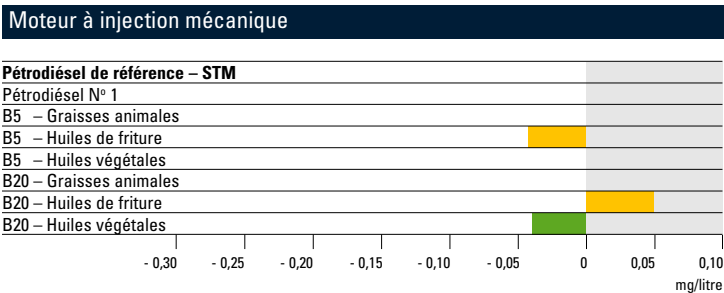
Impact de l'origine du biodiesel

- On ne peut dégager aucun constat sur la performance du biodiesel à base d'huiles de friture, en ce qui concerne les émissions de HAP ; en effet, les résultats obtenus pour les deux types de moteurs et de concentrations sont contradictoires.
- Les résultats concernant le B20 des différentes origines utilisé avec le moteur à injection électronique semblent indiquer que la réduction de HAP est plus importante en présence de graisses animales. Cependant, cette tendance n'a pas été confirmée dans le cas du B5.

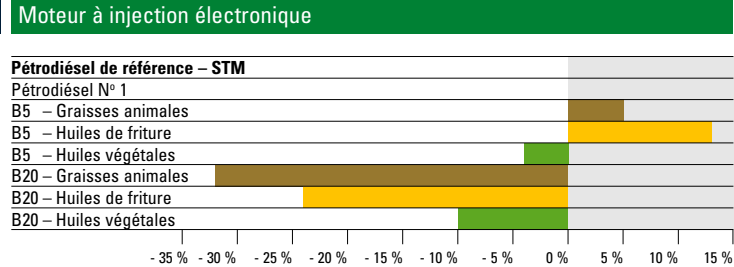
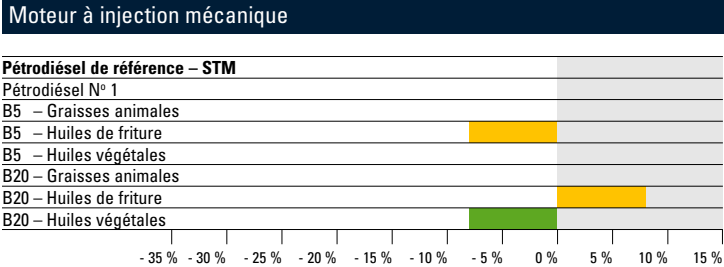
Émissions d'hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)
mg/(CV.h)



Réduction des émissions d'hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)
par rapport au pétrodiésel de référence utilisé par la STM
(mg/litre de carburant total consommé)



Réduction relative des émissions d'hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)
par rapport au pétrodiésel de référence utilisé par la STM

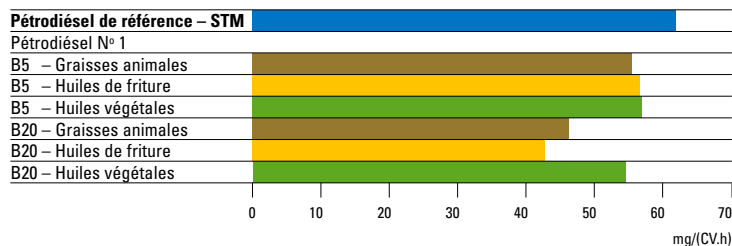


Autres constats

- Très faibles, les émissions de HAP atteignent moins de 1/10 de mg par CV.h, ce qui représente, à l'échelle de la STM, des émissions de l'ordre de 20 kg par année.

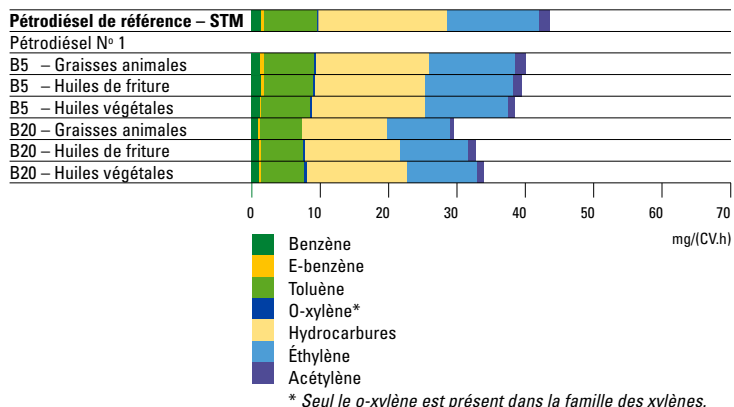
Total des émissions des principaux carbonyles mg/(CV.h)

Moteur à injection électronique



Émissions du groupe BETX mg/(CV.h)

Moteur à injection électronique



- Les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) comprennent des substances particulièrement cancérigènes. Avant de tirer des conclusions, il importe d'analyser et de recouper les émissions de HAP avec d'autres données obtenues et comparées avec d'autres types de mesures telles que les composés organiques volatils (COV), les composés carbonylés, notamment le groupe BETX (benzène, e-benzène, toluène, xylènes, 1,3-butadiène). En ce qui concerne les composés carbonylés, le milieu du transport urbain assure un suivi pour certains aldéhydes et des substances particulièrement cancérigènes comme l'acroléine.
- Pour le moteur à injection électronique, on constate que le B20 permet de réduire substantiellement tous les HAP prédominants. Compte tenu de l'incertitude liée à ce genre de mesures et de la faiblesse des niveaux de HAP mesurés, on peut avancer que :
 - L'utilisation du biodiesel ne fait apparaître aucun HAP de manière significative, et ne perturbe pas les proportions de ces composés organiques complexes et cancérigènes dans les émissions des moteurs diésels étudiés.

- Les principaux carbonylés — dont la somme des émissions est illustrée dans le graphique de gauche — sont constitués de six composés, les autres aldéhydes étant présents en quantités négligeables ou indétectables. Ces composés sont par ordre d'importance : le formaldéhyde et l'acétaldéhyde (qui, à eux seuls, représentent les 3/4 du total), ainsi que l'acétone, le propionaldéhyde, l'acroléine et les deux molécules isobutyraldéhyde et butyraldéhyde. Leur proportion et leur présence demeurent pratiquement inchangées à la suite de l'ajout de biodiesel. Avec le B20 à base d'huiles recyclées, le niveau d'acroléine est indétectable.
- Le graphique de droite montre les différentes émissions produites par le moteur à injection électronique pour le groupe BETX, qui intéresse de plus en plus les responsables de la santé publique.

Émissions de dioxyde de carbone (CO₂)

Essai	Résultats bruts des essais g/(CV.h)	Comparaison avec le pétrodiesel de référence – STM					Comparaison avec le biodiesel d'origine végétale				
		g/(CV.h)	%	Anova	Différence significative	tonnes/an ⁽¹⁾	g/(CV.h)	%	Anova	Différence significative	
Moteur à injection mécanique											
Référence canadienne 1998	n/d										
Pétrodiesel de référence – STM	599,530										
Pétrodiesel N° 1											
B5 – Graisses animales											
B5 – Huiles de friture	600,694	1,164	0,2 %	46,5 %	non	241,4					
B5 – Huiles végétales											
B20 – Graisses animales	593,815	- 5,715	- 1,0 %	76,9 %	non	- 1 185,4	- 0,498	- 0,1 %	26,4 %	non	
B20 – Huiles de friture	588,157	- 11,373	- 1,9 %	97,9 %	oui	- 2 359,1	- 6,156	- 1,0 %	88,7 %	non	
B20 – Huiles végétales	594,313	- 5,217	- 0,9 %	85,3 %	non	- 1 082,1					

Moteur à injection électronique										
Pétrodiesel de référence – STM	592,614									
Pétrodiesel N° 1	590,530	- 2,084	- 0,4 %	64,5 %	non	- 432,3				
B5 – Graisses animales	589,928	- 2,687	- 0,5 %		non	- 557,3	- 10,293	- 1,7 %	97,8 %	oui
B5 – Huiles de friture	590,070	- 2,544	- 0,4 %	75,3 %	non	- 527,7	- 10,150	- 1,7 %	98,7 %	oui
B5 – Huiles végétales	600,220	7,606	1,3 %	52,8 %	non	1 577,7				
B20 – Graisses animales	597,110	4,496	0,8 %	24,4 %	non	932,6	- 1,840	- 0,3 %	27,2 %	non
B20 – Huiles de friture	590,486	- 2,128	- 0,4 %	83,3 %	non	- 441,4	- 8,464	- 1,4 %	80,3 %	non
B20 – Huiles végétales	598,950	6,336	1,1 %	43,4 %	non	1 314,3				

		STM	Québec	Canada
Consommation annuelle de carburant	millions de ℓ/an	47,2	90,0	368,0
Émissions globales annuelles de CO ₂	tonnes/an	122 290	233 180	953 450
Énergie mécanique annuelle prévue	millions (CV.h)/an	203,9		

Essai	Consommation ℓ/(CV.h)	Résultats combinés g/ℓ	Comparaison avec le pétrodiesel de référence – STM					
			g/ℓ	%	tonnes/an ⁽²⁾	tonnes/an Québec	tonnes/an Canada	g/km
Moteur à injection mécanique								
Pétrodiesel de référence – STM	0,2314	2590,9						
Pétrodiesel N° 1								
B5 – Graisses animales								
B5 – Huiles de friture	0,2312	2598,2	7,275	0,3 %	349,2	654,8	2677,4	4,729
B5 – Huiles végétales								
B20 – Graisses animales	0,2310	2570,6	- 20,253	- 0,8 %	- 972,1	- 1 822,8	- 7 453,1	- 13,164
B20 – Huiles de friture	0,2291	2567,3	- 23,630	- 0,9 %	- 1 134,3	- 2 126,7	- 8 696,0	- 15,360
B20 – Huiles végétales	0,2298	2586,2	- 4,662	- 0,2 %	- 223,8	- 419,6	- 1 715,7	- 3,030

Moteur à injection électronique								
Pétrodiesel de référence – STM	0,2285	2593,5						
Pétrodiesel N° 1	0,2269	2602,6	9,104	0,4 %	437,0	819,3	3 350,1	5,917
B5 – Graisses animales	0,2279	2588,2	- 5,272	- 0,2 %	- 253,1	- 474,5	- 1 940,2	- 3,427
B5 – Huiles de friture	0,2279	2589,2	- 4,335	- 0,2 %	- 208,1	- 390,1	- 1 595,2	- 2,818
B5 – Huiles végétales	0,2306	2602,9	9,365	0,4 %	449,5	842,9	3 446,5	6,087
B20 – Graisses animales	0,2320	2573,8	- 19,747	- 0,8 %	- 947,8	- 1 777,2	- 7 266,8	- 12,835
B20 – Huiles de friture	0,2297	2570,7	- 22,813	- 0,9 %	- 1 095,0	- 2 053,2	- 8 395,3	- 14,829
B20 – Huiles végétales	0,2314	2588,4	- 5,122	- 0,2 %	- 245,8	- 460,9	- 1 884,8	- 3,329

Impact du type de moteur

- Il n'y a aucun constat à faire en ce qui concerne l'impact du type de moteur sur les émissions directes de CO₂ (à l'échappement).

Impact de la concentration de biodiesel

- Il n'y a aucun constat à faire en ce qui concerne l'impact de la concentration de biodiesel sur les émissions directes de CO₂ (à l'échappement).

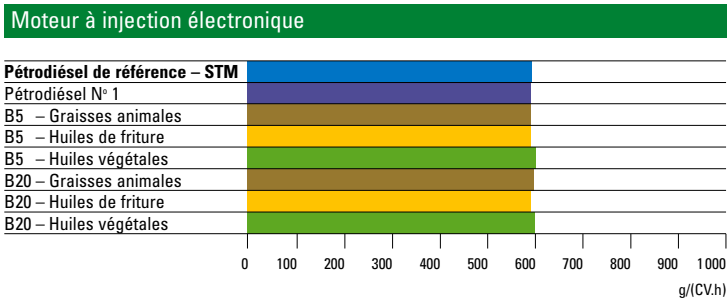
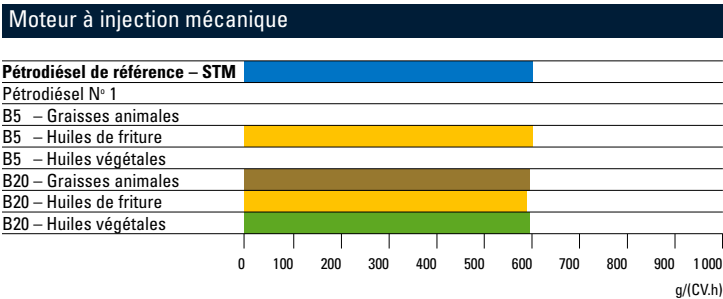
Impact de l'origine du biodiesel

- Seul le B20 à base d'huiles de friture utilisé avec le moteur à injection mécanique engendre une baisse significative bien que faible (2 %) des émissions directes de CO₂ (à l'échappement).

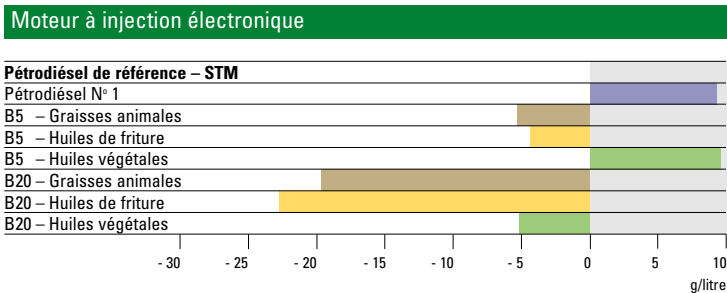
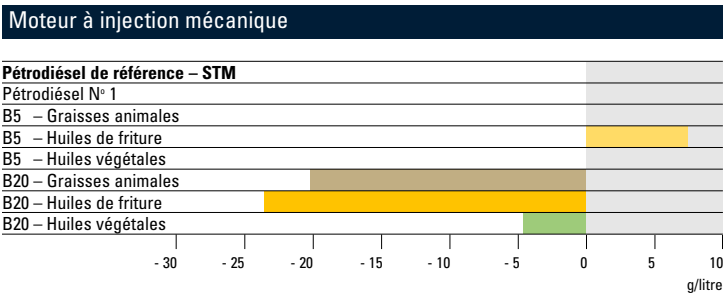
Autres constats

- Les émissions de référence pour les deux types de moteurs sont de 2,59 kg de CO₂ par litre pour le pétrodiesel de référence utilisé par la STM.
- L'impact du biodiesel sur les émissions directes de CO₂ (à l'échappement) peut être considéré comme négligeable.
- Les variations des émissions directes de CO₂ sont minimales. C'est un facteur qui favorise le biodiesel puisque c'est à partir de ces émissions qu'on dresse le bilan énergétique de combustion du carburant du moteur. Cela démontre que les variations de consommation de carburant par unité de travail produite sont également négligeables et que l'efficacité énergétique des moteurs se maintient après l'introduction du biodiesel.

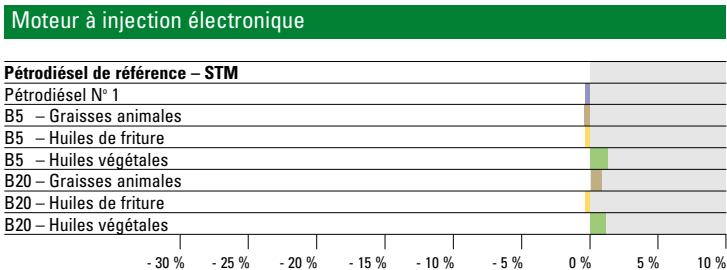
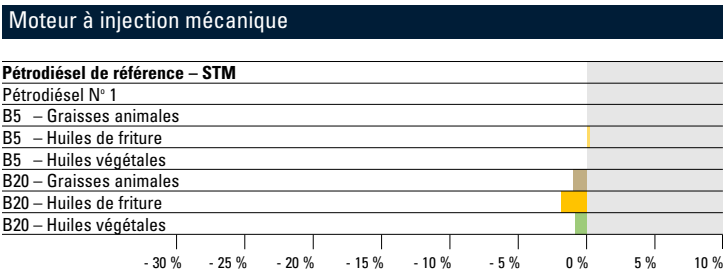
Émissions de dioxyde de carbone (CO₂)
g/(CV.h)



Réduction des émissions de dioxyde de carbone (CO₂)
par rapport au pétrodiésel de référence utilisé par la STM
(g/litre de carburant total consommé)



Réduction relative des émissions de dioxyde de carbone (CO₂)
par rapport au pétrodiésel de référence utilisé par la STM



Note sur le biodiésel et la réduction des gaz à effet de serre (GES)

- L'utilisation du biodiésel permet de réduire les émissions de GES. Cela n'est pas en contradiction avec les mesures effectuées puisqu'elles s'appliquent uniquement aux émissions mesurées directement à la sortie du tuyau d'échappement du moteur. Lorsque le moteur brûle 1 litre de biodiésel — dont les propriétés physico-chimiques sont très proches de celles du pétrodiésel —, il ne fait pas la différence entre les origines des deux carburants. La réduction des émissions de GES est liée au fait que le biodiésel a pour origine la biomasse (animale ou végétale) produite selon un cycle de vie de quelques années, alors que le pétrodiésel est un combustible fossile relâchant dans l'atmosphère du carbone qui en a été soutiré il y a des centaines de millions d'années. Le biodiésel est donc considéré comme un carburant renouvelable, contrairement au pétrodiésel, qui ne l'est pas.
- La réduction des émissions de GES découlant de l'utilisation du biodiésel en remplacement du pétrodiésel est donc déterminée selon une comparaison des cycles de vie de ces deux types de carburants, ce qui débordait du cadre du projet. À titre d'hypothèse de travail, nous proposons toutefois l'assertion suivante:
 - Chaque litre de biodiésel pur (B100), utilisé en remplacement d'un litre de pétrodiésel, engendre une réduction des GES de 2,33 kg de CO₂.
 - Cette valeur a été déterminée en s'appuyant sur l'hypothèse suivante: le biodiésel évite 90 % des émissions du pétrodiésel de référence, parce qu'il contient 10 % de méthanol utilisé pour l'estérification et obtenu à partir du gaz naturel (énergie fossile non renouvelable). Bien qu'elle soit simplificatrice, cette hypothèse permet d'établir des ordres de grandeur. Elle devra toutefois être confirmée par des études de cycle de vie approfondies.

Mesures comparées des émissions de différents mélanges de biodiésel

Méthodologie

Afin que les résultats des mesures d'émissions puissent être comparés entre eux, notamment par rapport au pétrodiesel de référence, les mesures ont été menées sur banc dynamométrique au Centre de technologie environnementale (CTE) d'Environnement Canada, à Ottawa. En plus de garantir des conditions reproductibles, cette décision respecte la logique de la réglementation sur les émissions des autobus urbains selon laquelle un certificat d'émissions est exigé uniquement pour les moteurs dont sont équipés ces autobus.

Procédure d'essai

Le banc dynamométrique du CTE est certifié et reconnu en Amérique du Nord pour pouvoir accueillir des moteurs de type industriel. La charge est contrôlée électroniquement et simulée par une génératrice électrique de 500 CV (375 kW), qui impose au moteur un couple et une vitesse de rotation en vue de reproduire un cycle de charge identique d'un essai à l'autre. Le cycle retenu est celui prescrit par l'Agence de protection environnementale des États-Unis (EPA) pour les moteurs diesels de type industriel (*US EPA Heavy Duty Engine Transient Test Code of US Federal Regulations [CFR] 40 Part 86 – Protection of Environment*, section 86.1332-90).

Résumé du test en régime transitoire de l'EPA – Moteurs diesels de type industriel

Durée de l'essai (s)	1 199
Vitesse maximale (% de la vitesse nominale)	111,9
Couple maximal (% du couple nominal)	100,0
Vitesse moyenne (% de la vitesse nominale)	41,5
Couple moyen (% du couple nominal)	28,3

Les essais ont été effectués sur les deux moteurs suivants : les moteurs diesels à quatre temps Cummins 1998 et 2000, d'une puissance de 250 CV à 2 200 r/min, équipés soit d'une pompe à injection mécanique, soit d'un système d'injection électronique à contrôle intelligent. Ces moteurs sont constitués de six cylindres en ligne, totalisant une cylindrée de 8,3 l, avec turbocompresseur et refroidisseur d'air comprimé avant l'admission. Pour que les résultats soient représentatifs des conditions réelles d'exploitation de la STM, les émissions générées par ces deux moteurs ont été mesurées à la sortie du même catalyseur (rôdé) qui équipe les autobus NovaBus à plancher surbaissé (APS) de la STM.

Méthodes d'échantillonnage et d'analyse des gaz d'échappement

Le banc d'essai a été non seulement conçu pour certifier des moteurs selon les exigences de la réglementation de divers pays, mais aussi pour pouvoir mener à bien des projets de recherche sur les moteurs ou les carburants. Les gaz d'échappement sont prélevés après dilution, de manière à pouvoir évaluer la masse émise d'un grand nombre de composants pendant la durée de l'essai. Les émissions sont soit mesurées directement par des appareils d'analyse à lecture instantanée (détecteurs infrarouges, chimiluminescence ou ionisation de flamme permettant d'obtenir des valeurs moyennes par essai), soit indirectement par des filtres ou des indicateurs analysés en laboratoire après essai (obtention d'une valeur cumulée pour l'essai). On prélève également des échantillons de gaz dans des sacs pour analyse ultérieure par chromatographie. Pour obtenir une description détaillée des installations, on peut consulter le site Internet du CTE à l'adresse suivante : <http://www.etc-cte.ec.gc.ca>.

Les méthodes d'analyse suivent les recommandations suivantes :

Composés carbonyles	Méthode DRME 4,1 / 1,2 / M
Hydrocarbures légers et méthane	Méthode DRME 4,3 / 1,3 / M
Hydrocarbures volatiles et semi-volatiles	Méthode DRME 4,4 / 1,1 / M
Partie organique soluble des particules de fumée	Méthode DRME 4,2 / 1,2 / M
Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)	Méthode DAQA 3,3 / 4,0 / M
Sulfates	Méthode DAQA 6,5 / 0 / 0 / M, procédure 3
Carbone élémentaire et organique	RNCan Méthode SOP-T-206, version 6

La procédure d'essai et d'échantillonnage est conforme aux exigences de l'*US EPA Heavy Duty Engine Transient Test Code of US Federal Regulations [CFR] 40, Part 86 – Protection of Environment*, sections 86.1337-90 et 86.1337-96.

Déroulement d'un essai

Chaque carburant a été testé comme suit :

1. Avant de commencer les essais avec un type de carburant, les lignes d'alimentation sont vidées, et le filtre à carburant est remplacé.
2. Le nouveau carburant est ensuite introduit dans le système d'alimentation du moteur.
3. Le moteur est mis en marche et réchauffé selon la méthode prescrite.
4. Une fois la température du moteur stable, on détermine la courbe de puissance.
5. On procède ensuite aux essais selon la séquence suivante :
 - a. Un premier essai « *FTP Heavy Duty Transient Cold Start* » (démarrage à froid si le moteur n'a pas tourné depuis au moins 12 heures).
 - b. Temps d'arrêt de 20 minutes.
 - c. Un autre essai « *FTP Heavy Duty Transient Hot Start* » (démarrage à chaud puisque le moteur est chaud), suivi d'un temps d'arrêt de 20 minutes.
 - d. Reprise des essais « *FTP Hot Start* » (trois ou cinq fois, selon le cas), à intervalles de 20 minutes.

On répète le processus pour chaque carburant. Il a fallu recommencer chaque essai de 3 à 5 fois, afin de pouvoir déterminer la répétitivité des mesures et procéder à une analyse Anova des écarts de résultats entre deux carburants. Certains essais ont aussi été repris en cas d'écarts anormaux. Les essais avec le carburant de référence ont été effectués les premiers, puis répétés entre les essais de mélanges de biodiésel et à la fin de la série. Chaque fois, on a repris au moins deux essais, de manière à vérifier qu'il n'y avait ni dérive des instruments de mesure, ni dérive dans le comportement du moteur.

Le tableau ci-dessous montre la séquence chronologique des essais effectués sur le moteur à injection mécanique. Les résultats des trois premiers tests ont été rejetés. Il semble que la période de rodage du moteur (remis à neuf en usine) n'a pas été assez longue et ce, malgré les 35 heures pendant lesquelles on avait fait tourner le moteur sur le banc avant de démarrer les essais.

Carburant	Émissions mesurées	Test retenu ?
Référence	Complet	Non
B5 – Graisses animales	Complet	Non
B20 – Graisses animales	Complet	Non
Référence	Complet	Oui
B5 – Huiles de friture	Complet	Oui
Référence	CO, CO ₂ , NO _x , HCT, PM	Oui
B20 – Huiles de friture	Complet	Oui
Référence	CO, CO ₂ , NO _x , HCT, PM	Oui
B20 – Huiles végétales	Complet	Oui
Référence	CO, CO ₂ , NO _x , HCT, PM	Oui
B20 – Graisses animales	CO, CO ₂ , NO _x , HCT, PM	Oui
Référence	CO, CO ₂ , NO _x , HCT, PM	Oui

Caractérisation des carburants utilisés aux fins du projet *BIOBUS*

Biodiésels de trois origines différentes			Répétabilité de l'essai	Reproductibilité d'un laboratoire à l'autre	Pétrodiesel pur		Mélanges à 5 % de biodiésel (B5) ³		
					Numéro 1	STM ²	Huiles végétales	Huiles de friture	Graisses animales
Ordre de présentation de la norme ASTM D 6751			Unité		Type A	Type B-LSC	20	20	20
1. Point d'éclair	ASTM D 93A	°C	1,5	3,6	48	50	50	50	50
2. Eau et sédiments	ASTM D 2709	% vol.	0,014	0,041	0	0,005			
3. Viscosité cinématique à 40 °C	ASTM D 445	cSt (mm²/s)	0,014	0,026		1,949	2,096	2,025	2,028
4. Cendres sulfatées	ASTM D 874	% masse							
5. Soufre	ASTM D 5453	% masse			0,046	0,0504			
6. Corrosion du cuivre	ASTM D 130								
7. Indice de cétane	ASTM D 613		0,9	3,3	42,7	42,4	44,0	43,4	43,7
8. Point de trouble	ASTM D 2500	°C			- 29	- 24	- 21	- 20	- 20
LTFT	ASTM D 4539	°C	2	4		- 22	- 22	- 21	- 21
9. Résidus de carbone (sur 10 %)	ASTM D 4530	% masse	0,017	0,053		0,02	0,06		
Résidus de carbone	ASTM D 4530	% masse	0,007	0,024					
Acidité totale	ASTM D 974	mgKOH/g				0,07			
10. Acidité totale	ASTM D 664	mgKOH/g	0,056	0,160					
11. Glycérines libres	ASTM D 6584	% masse							
12. Glycérines totales	ASTM D 6584	% masse							
13. Phosphore	ASTM D 4951	% masse							
Distillation 90 % récupéré	ASTM D 86	°C			289,0	305,5	322,0	315,5	315,0
14. Distillation 90 % récupéré	ASTM D 1160	°C							
Eau par Karl Fisher	ASTM D 4928	mg/kg	1,37	1,92		42,5	79,2	49,6	119,4
Contenu énergétique global	ASTM D 240	BTU/lb	56	172		18710	18630	18632	18634
Énergie globale au litre	Calcul = f (13, 16)	kWh/l			10,141	10,102	10,101		
Onctuosité (180 minutes)	ASTM D 6079	mm	0,062		n/d	0,425	0,225	0,205	0,240
Carbone		% masse			86,23	84,8	84,5	84,4	84,4
Hydrogène		% masse			13,52	13,8	13,8	13,8	13,8
Oxygène		% masse			0,52	1,3	1,7	1,8	1,7
Densité à 15 °C	ASTM D 4052	kg/m³			826	837,1	842,6	839,3	839,1
Stabilité thermique	ASTM D 6468	% réflect.							
Conductivité à 23 °C	ASTM D 2624	nS/m			501	340			

Biodiésels de trois origines différentes			Mélanges à 20 % de biodiesel (B20) ³			Biodiesel pur (B100) ¹			Normes	
			Huiles végétales	Huiles de friture	Graisses animales	Huiles végétales	Huiles de friture	Graisses animales	Pétrodiesel B-FTS	D 6751-02
Ordre de présentation de la norme ASTM D 6751			20	20	20	—	—	—	—	—
1. Point d'éclair	ASTM D 93A	°C	50	51	52	184	152	190	40 min.	130 min.
2. Eau et sédiments	ASTM D 2709	% vol.				0,035	0	0,033	0,05 max.	0,05 max.
3 Viscosité cinématique à 40 °C	ASTM D 445	cSt (mm²/s)	2,332	2,310	2,310	4,1	4,6	4,7	1,70 à 4,10	1,9 à 6,0
4 Cendres sulfatées	ASTM D 874	% masse				0,011				0,02 max.
5 Soufre	ASTM D 5453	% masse				0,00039	0,00115	0,00096	0,05 max.	0,05 max.
6 Corrosion du cuivre	ASTM D 130		1a			1a	1a	1a	1 max.	n° 3 max.
7 Indice de cétane	ASTM D 613		46,7	45,6	47,4	52,0	52,0	56,6	40,0 min.	47 min.
8 Point de trouble	ASTM D 2500	°C	- 15	- 15	- 10	- 3	4	13	-23 max.	indicatif
LTFT	ASTM D 4539	°C	- 14	- 16	- 8	+ 2	+ 4	+ 13		
9 Résidu de carbone (sur 10 %)	ASTM D 4530	% masse	0,11			1,03			0,16 max.	
Résidu de carbone	ASTM D 4530	% masse				0,03	0,02	0,02		0,050 max.
Acidité totale	ASTM D 974	mgKOH/g	0,10	0,31	0,24				0,10 max.	
10 Acidité totale	ASTM D 664	mgKOH/g				0,3	0,6	0,8		0,80 max.
11 Glycérines libres	ASTM D 6584	% masse				0,002	0,002	0		0,02 max.
12 Glycérines totales	ASTM D 6584	% masse				0,188	0,173	0,206		0,24 max.
13 Phosphore	ASTM D 4951	% masse					Nouveau critère non mesuré			0,001 max
Distillation 90 % récupéré	ASTM D 86	°C	334,0	331,0	329,0				360 max.	
14 Distillation 90 % récupéré	ASTM D 1160	°C								360 max.
Eau par Karl Fisher	ASTM D 4928	mg/kg	189,2	71,0	350,2	776	184,9	1 581,2		
Contenu énergétique global	ASTM D 240	BTU/lb	18 392	18 398	18 406	17 119	17 149	17 192		
Énergie globale au litre	Calcul = f (13, 16)	kWh/l	10,087	10,055	10,048	9,832	9,771	9,740		
Onctuosité (180 minutes)	ASTM D 6079	mm	0,180	0,180	0,195	0,145	0,195	0,190	0,460 max.	
Carbone		% masse	83,4	83,1	83,3	78	76,5	77,5		
Hydrogène		% masse	13,6	13,6	13,7	13	12,8	13,4		
Oxygène		% masse	2,8	3,1	2,8	9	10,5	9,0		
Densité à 15 °C	ASTM D 4052	kg/m³	849,0	846,0	845,0	889	882	877		
Stabilité thermique	ASTM D 6468	% réflect.	98	94	89					
Conductivité à 23 °C	ASTM D 2624	pS/m	604						25 min.	

1. Biodiésels purs (B100) à base d'huiles végétales, d'huiles de friture et de graisses animales provenant des réservoirs de Rothsay - Laurenc (prélèvement – mai 2002).
2. Mélange provenant des pompes du CT Frontenac (prélèvements – février, mars et mai 2002).
3. Mélanges effectués aux laboratoires de SGS Canada à Montréal.

Impact du biodiésel sur le rendement des moteurs diésels

L'utilisation du biodiésel a-t-elle un effet sur le rendement et l'efficacité énergétique des moteurs, sachant que le biodiésel pur contient typiquement 8 % moins d'énergie, par unité de masse, que le pétrodiesel traditionnel ? Pour répondre à cette question, il convient de faire les analyses suivantes :

- Contenus énergétiques des carburants**
Ce tableau tient compte du fait que le biodiésel est utilisé à une concentration de 5 ou de 20 %, mais aussi qu'il est plus dense (plus lourd) que le pétrodiesel. Le contenu énergétique est mesuré par litre de carburant puisque le carburant est vendu au litre.

- Consommations obtenues lors des essais**
Du contenu énergétique par litre des carburants, on déduit le rendement thermodynamique des moteurs, une mesure de leur efficacité énergétique. On rappelle que la consommation spécifique de carburant est calculée à partir du bilan stœchiométrique des émissions, notamment celles de CO₂.
- Puissance maximale et couple maximal des moteurs obtenus avec chacun des carburants (rendement mécanique)**
Ces données permettent de valider si les conducteurs d'autobus ont l'impression de conduire le même véhicule selon qu'il roule avec un carburant ou l'autre (l'aptitude du véhicule à accélérer, à grimper une côte, etc.).

Contenu énergétique des carburants

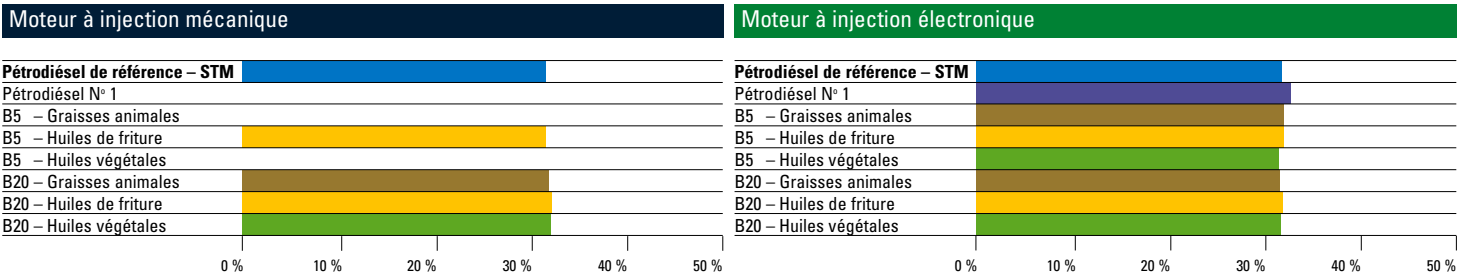
	Contenu énergétique global	Énergie globale au litre	Variation du contenu énergétique par unité de masse	Variation du contenu énergétique par unité de volume	Densité à 15 °C
	ASTM D 240 BTU/lb	Valeur calculée kWh/l			ASTM D 4052 kg/m ³
Carburants					
Pétrodiesel de référence – STM	18710	10,118			837,1
Pétrodiesel N° 1	18554	9,900	- 0,8 %	- 2,1 %	826,0
B5 – Graisses animales	18634	10,101	- 0,4 %	0,2 %	839,1
B5 – Huiles de friture	18632	10,102	- 0,4 %	- 0,2 %	839,3
B5 – Huiles végétales	18630	10,141	- 0,4 %	- 0,2 %	842,6
B20 – Graisses animales	18406	10,048	- 1,6 %	- 0,7 %	845,0
B20 – Huiles de friture	18398	10,055	- 1,7 %	- 0,6 %	846,0
B20 – Huiles végétales	18392	10,087	- 1,7 %	- 0,3 %	849,0
B100 – Graisses animales	17192	9,740	- 8,1 %	- 3,7 %	877,0
B100 – Huiles de friture	17149	9,771	- 8,3 %	- 3,4 %	882,0
B100 – Huiles végétales	17119	9,831	- 8,5 %	- 2,8 %	889,0

Ce tableau montre que la variation de contenu énergétique par litre de carburant est négligeable pour les B5 et de l'ordre de 0,5 %, pour les B20.

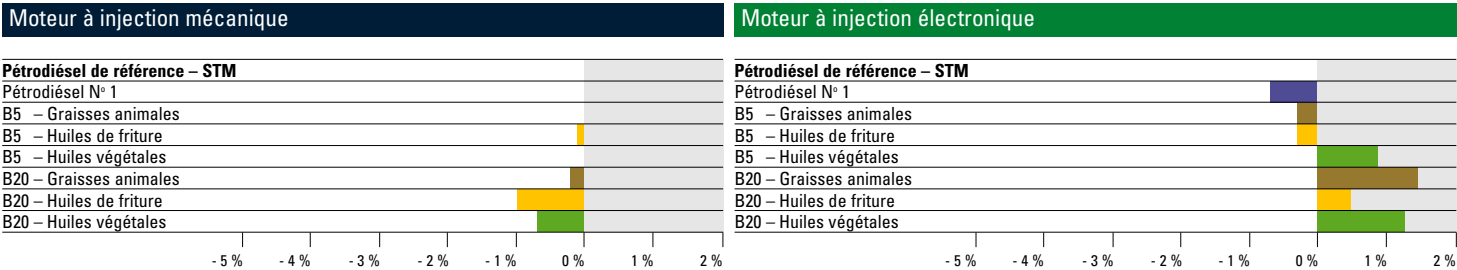
Consommation de carburant, rendement thermodynamique et rendement mécanique des moteurs pour les différents carburants

Essai	Consommation lors des essais l/(CV.h)	Comparaison au pétrodiesel de référence – STM		Puisissance maximale (à 2000 r/min) lors des essais			Comparaison avec le pétrodiesel de référence – STM			Couple maximal (à 1100 r/min) lors des essais			Comparaison avec le pétrodiesel de référence – STM		
				Consommation du moteur l/kWh	Contenu énergétique kWh/l	Rendement de moteur %									
		l/(CV.h)	%				CV	CV	%	lb/pi	lb/pi		lb/pi		%
Moteur à injection mécanique															
Pétrodiesel de référence – STM	0,2314			0,3144	10,118	31,4 %	249,94			691,0					
Pétrodiesel N° 1															
B5 – Graisses animales															
B5 – Huiles de friture	0,2312	- 0,0002	- 0,1 %	0,3141	10,102	31,5 %	252,30	2,3650	0,9 %	694,8	3,8	0,6 %			
B5 – Huiles végétales															
B20 – Graisses animales	0,2310	- 0,0004	- 0,2 %	0,3139	10,048	31,7 %	239,20	- 10,7350	- 4,3 %	665,9	- 25,1	- 3,6 %			
B20 – Huiles de friture	0,2291	- 0,0023	- 1,0 %	0,3113	10,050	32,0 %	252,30	2,3650	0,9 %	705,5	14,6	2,1 %			
B20 – Huiles végétales	0,2298	- 0,0016	- 0,7 %	0,3122	10,048	31,9 %	249,34	- 0,5950	- 0,2 %	686,4	- 4,6	- 0,7 %			
Moteur à injection électronique															
Pétrodiesel de référence – STM	0,2285			0,3105	10,118	31,8 %	241,04			691,2					
Pétrodiesel N° 1	0,2269	- 0,0016	- 0,7 %	0,3083	9,900	32,8 %	234,10	- 6,9400	- 2,9 %	683,2	- 8,0	- 1,2 %			
B5 – Graisses animales	0,2279	- 0,0006	- 0,3 %	0,3097	10,100	32,0 %	243,73	2,6900	1,1 %	678,5	- 12,7	- 1,8 %			
B5 – Huiles de friture	0,2279	- 0,0006	- 0,3 %	0,3096	10,102	32,0 %	238,69	- 2,3500	- 1,0 %	688,0	- 3,2	- 0,5 %			
B5 – Huiles végétales	0,2306	0,0021	0,9 %	0,3133	10,141	31,5 %	236,00	- 5,0400	- 2,1 %	674,2	- 17,0	- 2,5 %			
B20 – Graisses animales	0,2320	0,0035	1,5 %	0,3152	10,048	31,6 %	236,90	- 4,1400	- 1,7 %	678,4	- 12,8	- 1,9 %			
B20 – Huiles de friture	0,2297	0,0012	0,5 %	0,3121	10,050	31,9 %	242,21	1,1700	- 0,5 %	679,7	- 11,5	- 1,7 %			
B20 – Huiles végétales	0,2314	0,0029	1,3 %	0,3144	10,048	31,7 %	238,56	- 2,4800	- 1,0 %	665,3	- 25,9	- 3,7 %			

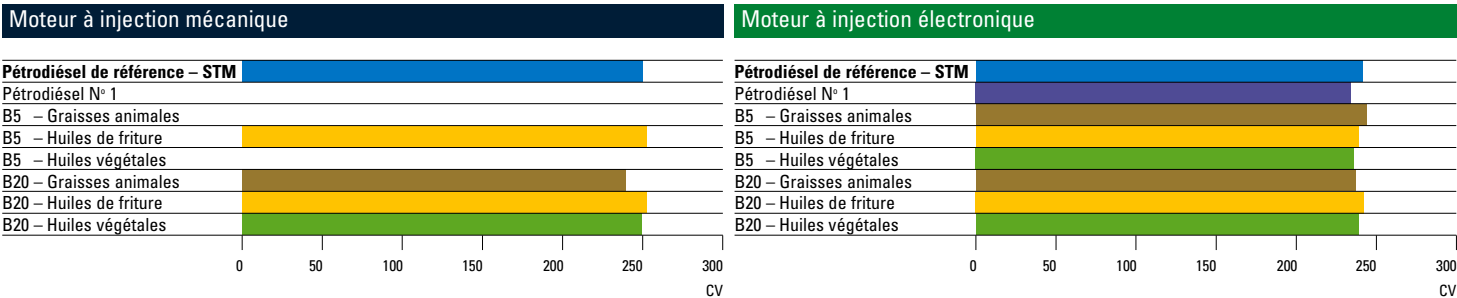
Rendement thermodynamique des moteurs en fonction des différents carburants



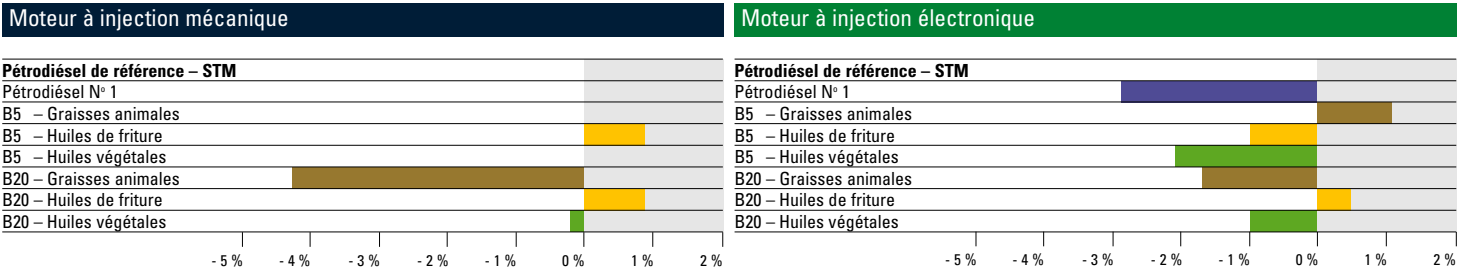
Variation de la consommation spécifique des moteurs par rapport au pétrodiésel de référence utilisé par la STM



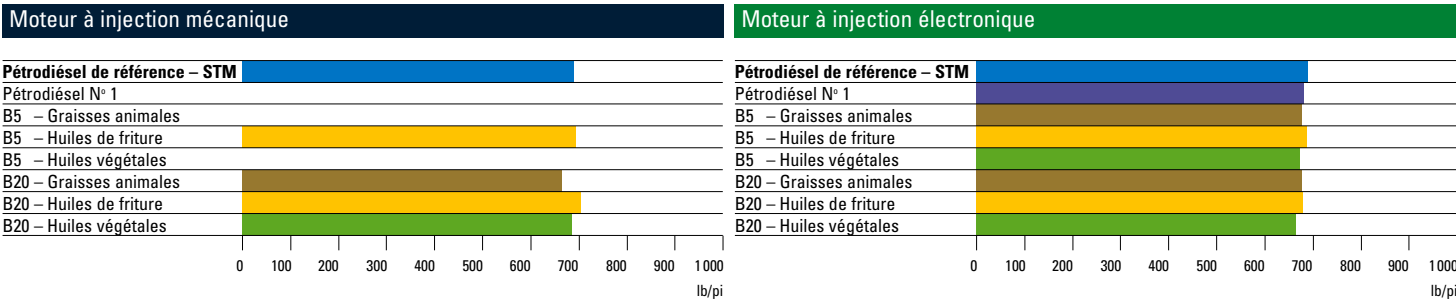
Puissance maximale à 2000 trs/mn des moteurs en fonction des différents carburants



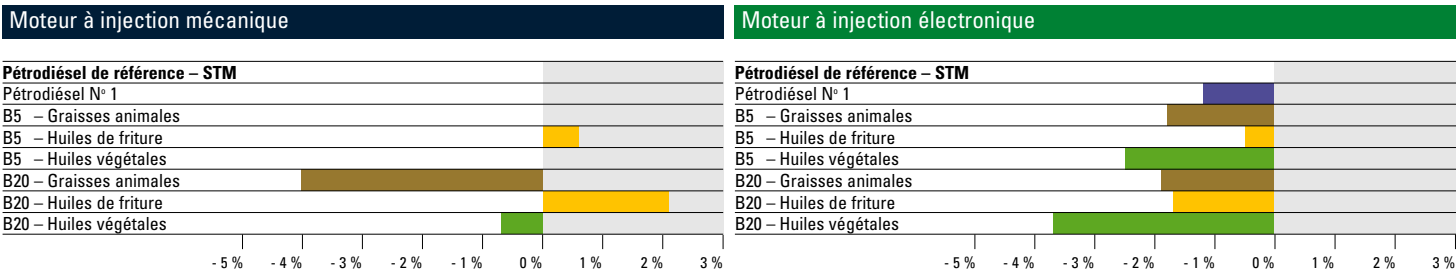
Variation relative de la puissance maximale des moteurs par rapport au pétrodiésel de référence utilisé par la STM



Couple maximal à 1 100 trs/min des moteurs en fonction des différents carburants



Variation relative du couple maximal des moteurs
par rapport au pétrodiesel de référence utilisé par la STM



Constats

- L'utilisation du biodiesel n'a pas impact global sur le rendement thermodynamique des moteurs.
- La consommation du moteur à injection mécanique tend à baisser avec l'ajout de biodiesel.
- Le rendement légèrement plus élevé du moteur électronique par rapport à celui du moteur mécanique avant toute introduction du biodiesel ne semble pas s'appliquer avec du B20. Cela peut signifier que certains paramètres d'optimisation de la programmation de l'injection électronique pourraient être améliorés en fonction des caractéristiques du B20 (ex.: un indice de cétane plus élevé), et que la consommation spécifique du moteur à injection électronique pourrait alors revenir à son niveau initial.

- On peut conclure que les variations observées sont négligeables car les variations de l'ordre de 1 % observées sont non significatives. Par exemple, le fait que la consommation baisse avec le B5 d'origine animale et augmente avec le B20 d'origine animale indique que l'incertitude des mesures est de l'ordre de 0,5 % et que les variations sont non significatives. Cela va dans le sens des variations non significatives observées pour les émissions directes de CO₂.

