

**EXAMEN CRITIQUE DU BIODIESEL EMPLOYÉ
COMME CARBURANT DANS LES TRANSPORTS
AU CANADA**

Préparé par le
D^r Chandra B. Prakash, scientifique principal
GCSI - Global Change Strategies International Inc.

pour la
Direction des systèmes de transport
Direction générale de la prévention de la pollution
Environnement Canada

25 mars 1998

EXAMEN CRITIQUE DU BIODIESEL EMPLOYÉ COMME CARBURANT DANS LES TRANSPORTS AU CANADA

TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES FIGURES

ABRÉVIATIONS

RÉSUMÉ

1. INTRODUCTION

1.1 CONTEXTE

1.2 OBJECTIF

1.3 MÉTHODOLOGIE

2. ÉCONOMIE ET PRODUCTION DE BIODIESEL

2.1 BIODIESEL PRODUIT PAR ESTÉRIFICATION

2.2 BIODIESEL PRODUIT PAS HYDROGÉNATION

3. DISPONIBILITÉ DES MATIÈRES PREMIÈRES

3.1 MATIÈRES PREMIÈRES AU CANADA

4. EFFETS DES MATIÈRES PREMIÈRES SUR LES PROPRIÉTÉS DU BIODIESEL

4.1 INDICE DE CÉTANE

4.2 DENSITÉ ET MASSE VOLUMIQUE

4.3 VISCOSITÉ

4.4 PROPRIÉTÉS D'ÉCOULEMENT À FROID - POINT DE TROUBLE, POINT D'ÉCOULEMENT ET TEMPÉRATURE LIMITE DE FILTRABILITÉ (CFPP)

4.5 ENTREPOSAGE ET STABILITÉ

4.6 INDICE D'IODE

5. SITUATION DU BIODIESEL

5.1 LE BIODIESEL EN EUROPE

5.2 LE BIODIESEL AUX ÉTATS-UNIS

5.3 LE BIODIESEL AU CANADA

6. RÉGLEMENTATION ET NORMES SUR LE CARBURANT

6.1 INITIATIVES AMÉRICAINES EN MATIÈRE DE BIODIESEL

6.1.1 Règlement sur la notion « essentiellement similaire »

6.1.2 Energy Policy Act (EPACT) (Loi américaine sur la politique énergétique)

6.1.3 Normes relatives à la modernisation des autobus urbains

6.1.4 Programme Corporate Average Fuel Economy (CAFE)

6.1.5 Qualité du carburant diesel et normes de l'ASTM

6.1.6 Le programme Clean Fuel Fleet

6.1.7 Efforts interorganismes pour la réduction des gaz à effet de serre

6.1.8 Taxes sur le biodiesel

6.1.9 Projets de loi sur le biodiesel déposés au Sénat et à la Chambre des représentants

6.2 INITIATIVES CANADIENNES EN MATIÈRE DE BIODIESEL

6.2.1 Loi sur les carburants de remplacement

6.2.2 Règlement sur la sécurité des véhicules automobiles

6.2.3 Règlement sur le carburant diesel

6.2.4 Normes de l'Office des normes générales du Canada (ONGC)

6.2.5 Programme relatif à la consommation moyenne de carburant de l'entreprise (CMCE)

6.2.6 Subventions à caractère fiscal et mesures incitatives

7. EXPÉRIENCE DE L'UTILISATION DU BIODIESEL DANS LES MOTEURS DIESEL

7.1 EFFET SUR LES ÉMISSIONS DES VÉHICULES ROUTIERS

7.2 EMPLOI DU « SUPERCÉTANE »

7.3 ÉMISSIONS NON RÉGLEMENTÉES

- 7.4 AUTRES QUESTIONS
 - 7.4.1 Mélange biodiesel-diesel
 - 7.4.2 Diminution de la puissance du moteur
 - 7.4.3 Démarrage par temps froid
 - 7.4.4 Compatibilité des matériaux
 - 7.4.5 Durabilité du moteur et effet sur l'huile moteur
- 7.5 MARCHÉS À CRÉNEAUX
 - 7.5.1 Autobus urbains
 - 7.5.2 Utilisation dans les mines souterraines
 - 7.5.3 Utilisations dans le secteur maritime
 - 7.5.4 Le biodiesel pour améliorer le pouvoir lubrifiant
- 7.6 ANALYSE DU CYCLE DE VIE

8. RÉSUMÉ DES PRINCIPALES QUESTIONS ET RECOMMANDATIONS RELATIVES AU BIODIESEL

OUVRAGES DE RÉFÉRENCE

ANNEXES

ANNEXE A - TECHNOLOGIE DU MOTEUR DIESEL

ANNEXE B - PROJETS DE LOI AMÉRICAINS - SÉNAT ET CHAMBRE DES
REPRÉSENTANTS - SUR LE BIODIESEL.

ANNEXE C - PROJETS DE RECHERCHE SUR LE BIODIESEL AUX ÉTATS-UNIS (1994-1995)

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1	Propriétés du biodiesel à base d'ester méthylique
Tableau 2	Propriétés du supercétane (SC) et du tallol dégoudronné et caractéristiques du carburant diesel n° 1 (D-1)
Tableau 3	Production mondiale des principales huiles végétales
Tableau 4	Répartition de la production d'huiles végétales entre les diverses régions du monde
Tableau 5	Données sur les propriétés de composants purs - Esters méthyliques d'acides gras
Tableau 6	Résumé des propriétés importantes de divers biodiesel
Tableau 7	Propriétés de carburant de certains esters de soja
Tableau 8	Effets de la structure chimique sur les points de fusion et d'ébullition des acides gras et de leurs esters méthyliques
Tableau 9	Norme DIN V 51606 sur le biodiesel (Allemagne)
Tableau 10	Normes proposées sur le biodiesel (biodiesel pur)
Tableau 11	Résumé des résultats du sondage sur le biodiesel pour ce qui touche le mélange et le prix
Tableau 12	Résumé des émissions en conditions d'essai transitoires – gros moteurs à deux temps
Tableau 13	Résumé des émissions en conditions d'essai transitoires – gros moteurs à quatre temps
Tableau 14	Effet de la modification du calage de l'allumage et de l'installation d'un convertisseur catalytique à l'oxydation sur les émissions transitoires mixtes
Tableau 15	Effet de la concentration de biodiesel sur les émissions transitoires mixtes
Tableau 16	Effet des mélanges de « supercétane » sur les émissions réglementées
Tableau 17	Résultats de l'essai dynamométrique sur châssis touchant les émissions pour le B20 SME, selon le cycle mixte pour autobus de NY
Tableau 18	Problèmes pertinents et recherches futures requises

Tableau 19 Mesure du pouvoir lubrifiant de mélanges de biodiesel

LISTE DES FIGURES

- Figure 1 Diagramme de production d'esters méthyliques par transestérification
- Figure 2 Diagramme du procédé CANMET de production de supercétane
- Figure 3 Répartition des points d'ébullition du tallol dégoudronné et d'un échantillon de produits d'hydrocarbures liquides
- Figure 4 Chromatogramme du supercétane
- Figure 5 Chromatogramme du carburant diesel ordinaire
- Figure 6 Effets des mélanges de biodiesel sur les points de trouble et d'écoulement
- Figure 7 Effet du biodiesel, du convertisseur catalytique et du changement de réglage de la distribution sur les émissions de NO_x et de particules
- Figure 8 Effet de la concentration de biodiesel sur les émissions de NO_x et de particules

ABRÉVIATIONS

ACGIH	American Conference of Governmental Industrial Hygienists
ANPRM	Advanced Notice for Proposed Rule Making (préavis de projet de règlement)
API	American Petroleum Institute
ASTM	American Society for Testing and Materials
B20	Mélange contenant 20 p. 100 de biodiesel et 80 p. 100 de diesel
BOCLE	Ball on Cylinder Lubricity Evaluator (testeur à bille sur cylindre)
CAA	Loi « Clean Air Act » (É.-U.)
CMCE	Programme relatif à la consommation moyenne de carburant de l'entreprise (Canada)
CAFE	Programme Corporate Average Fuel Economy (É.-U.)
CANMET	Centre canadien de la technologie des minéraux et de l'énergie
CCME	Conseil canadien des ministres de l'Environnement
CDPF	Filtre à particules à paroi céramique (diesel)
CEE	Ester éthylique de canola
CEN	Comité européen de normalisation (European Standards Committee)
CFPP	Température limite de filtrabilité
ONGC	Office des normes générales du Canada
CI	Allumage par compression
CME	Ester méthylique de canola
CN	Indice de cétane
CO	Monoxyde de carbone
CO ₂	Dioxyde de carbone
D-1	Carburant diesel n° 1
D-2	Carburant diesel n° 2
DI	Injection directe
DIN	Deutsches Institut für Normung (Institut allemand des normes)
DOE	U.S. Department of Energy
DOT	U.S. Department of Transport
CE	Communauté européenne
RGE	Recirculation des effluents gazeux
EPA	U.S. Environmental Protection Agency
EPACT	U.S. Energy Policy Act of 1992
ETBE	Éther de t-butyle et d'éthyle
CG-SM	Chromatographie en phase gazeuse - Spectrométrie de masse
CGIEUVA	Comité gouvernement-industrie sur l'énergie utilisée par les véhicules automobiles (Canada)
HC	Hydrocarbures gazeux
HFRR	High Frequency Reciprocating Rig (montage alternatif à haute fréquence)
IDI	Injection indirecte
IP	Institute of Petroleum (R.-U.)
IRS	Internal Revenue Service (É.-U.)
LN	Indice de lubrification
LSVA	Loi sur la sécurité des véhicules automobiles (Canada)
NBB	National Biodiesel Board (É.-U.)

NCWM	National Conference on Weights and Measures (É.-U.)
NHTSA	National Highway Traffic Safety Administration (É.-U.)
NOx	Oxydes d'azote
NPRM	Notice of Proposed Rule Making (avis de projet de règlement)
NREL	National Renewable Energy Laboratory (É.-U.)
OEM	Constructeur de matériel
HAP	Hydrocarbures aromatiques polycycliques
PDU	Unité d'élaboration de procédé
Part.	Particules
PNA	Hydrocarbures aromatiques polycycliques
R et D	Recherche et développement
REE	Ester éthylique de colza
RFC - DPF	Filtres à particules à régénération (diesel)
RME	Ester méthylique de colza
ROCLE	Roller on Cylinder Lubricity Evaluator (testeur à rouleau sur cylindre)
SC	Supercétane; biodiesel produit par hydrogénation du tallol
SEE	Ester éthylique de soja
SME	Ester méthylique de soja
FS	Fraction organique soluble des particules
SOx	Oxydes de soufre
PMH	Point mort haut
TLV	Valeur limite admissible
Tonne	Tonne métrique, 1 000 kg
É.-U. ou U.S.	États-Unis d'Amérique
NU	Nations Unies
USDA	U.S. Department of Agriculture

RÉSUMÉ

Introduction

Le biodiesel est un combustible renouvelable produit à partir d'huiles végétales, de graisses animales, d'huile de cuisson usagée et de rebuts des usines de pâtes et papiers. On l'utilise tel quel ou mélangé à du carburant diesel ordinaire dans les moteurs diesel sans qu'il ne soit nécessaire de le modifier. Puisque le biodiesel est produit à partir de matières premières renouvelables cultivées au pays, il peut permettre de réduire l'utilisation de combustibles dérivés du pétrole et de diminuer éventuellement les émissions de gaz à effet de serre produites par les moteurs à combustion interne. Étant donné qu'il est biodégradable et qu'il ne contient ni soufre ni aromatiques, il semble que le biodiesel pourrait permettre de diminuer les émissions de particules et de matières toxiques. Il pourrait constituer un carburant intéressant pour des applications dans les milieux écologiquement sensibles, comme les autobus urbains, les mines souterraines, les secteurs maritimes et les parcs nationaux. Mélangé en petites quantités au carburant diesel, le biodiesel semble en augmenter le pouvoir lubrifiant, prolonger la durée de vie du moteur et diminuer la consommation de carburant.

Effets des matières premières sur les propriétés du biodiesel

En comparaison du carburant diesel, le biodiesel est chimiquement simple puisqu'il ne contient que six ou sept esters d'acides gras. Cependant, les esters ne revêtent pas tous la même importance en ce qui concerne les propriétés du carburant, soit l'indice de cétane, la viscosité, le point de trouble et le point d'écoulement ainsi que le degré de saturation. La présence d'impuretés affecte également les propriétés du carburant. Par conséquent, les propriétés du biodiesel, en tant que carburant, sont généralement tributaires du choix des matières premières. Comme carburant de remplacement du diesel, le biodiesel devrait idéalement présenter un indice de cétane élevé, mais une viscosité et des points de trouble et d'écoulement faibles.

Les esters d'acides gras présentant des molécules saturées et de longues chaînes carbonées ont un indice de cétane plus élevé. La viscosité des biodiesel produits à partir d'huile de friture recyclée et de graisses animales est généralement plus élevée que celle des biodiesel produits à partir d'huile vierge de soja, de canola ou de colza. Les propriétés de fluage comme les points de trouble et d'écoulement, qui sont particulièrement importantes pour les utilisations de carburant au cours des hivers canadiens, sont aussi fortement influencées par le choix des matières premières. En général, les biodiesel produits à partir de graisses animales et d'huiles saturées recyclées présentent des points de trouble et d'écoulement plus élevés, ce qui les rend impropres à l'utilisation à de basses températures.

De façon générale, l'indice de cétane, la viscosité ainsi que les points de trouble et d'écoulement des biodiesel sont plus élevés que ceux du carburant diesel ordinaire. Les mélanges de biodiesels et de carburant diesel ordinaire présentent une relation presque linéaire pour la plupart des propriétés du carburant. Par conséquent, les

propriétés du B20 (20 % de biodiesel, 80 % de diesel) sont beaucoup plus près des propriétés du carburant diesel que celles du biodiesel pur.

Situation actuelle du biodiesel

Le coût du biodiesel, taxes non comprises, en Amérique du Nord (États-Unis et Canada) est environ deux à trois fois plus élevé que le prix de vente du carburant diesel. Selon les données portant sur les deux dernières décennies, le prix moyen mondial du diesel et de l'huile de soja s'est élevé à environ 200 \$US et 600 \$US la tonne, respectivement. Dans la production de biodiesel à partir d'huiles végétales, le rendement du capital investi et le coût de transformation sont essentiellement compensés par les recettes des sous-produits, ce qui ramène le prix du biodiesel sensiblement au même niveau que celui de l'huile végétale. À l'heure actuelle, cette différence entre les coûts ne peut être réduite que par des subventions à la production de biodiesel ou par l'imposition de taxes additionnelles sur le carburant diesel ordinaire. À long terme, il serait possible de diminuer le coût du biodiesel en utilisant des matières premières moins coûteuses ou en améliorant la technologie. D'ici là, les producteurs nord-américains de biodiesel recherchent des marchés à créneaux disposés à payer plus cher pour les propriétés biodégradables et les qualités écologiques du biodiesel. Les motoristes ou les constructeurs de véhicules nord-américains n'ont pas encore approuvé l'utilisation du biodiesel dans leurs produits, qui rend nulle la garantie.

On estime présentement la production américaine de biodiesel à environ 50 000 tonnes par année (57 millions de litres) et le potentiel de production à environ 1,5 milliard de litres par année. Le Canada ne produit pas de biodiesel à l'échelle commerciale et les petites quantités de biodiesel utilisées dans les projets de recherche et de démonstration sont produites dans de petites usines pilotes. Le Canada pourrait produire jusqu'à 385 millions de litres de biodiesel par année, ce qui représente environ 2 % de la consommation actuelle de carburant diesel, qui est d'environ 19 milliards de litres par année.

Le biodiesel est beaucoup plus populaire en Europe, en raison des subventions qu'on accorde pour son utilisation et des taxes plus élevées sur le carburant diesel. Les taxes imposées en Europe sur le carburant diesel s'élèvent à environ 400 \$US la tonne, ce qui fait que le prix à la pompe est égal à celui du biodiesel, taxes non comprises. La production européenne actuelle de biodiesel est évaluée à 665 000 tonnes (755 millions de litres) par année. La capacité totale prévue est d'environ 2 millions de tonnes (2,27 milliards de litres) par année. Bon nombre de motoristes et de constructeurs de véhicules européens, dont Volkswagen et Mercedes-Benz, approuvent l'utilisation du biodiesel dans leurs moteurs diesel.

L'industrie américaine du biodiesel met de l'avant une série de projets pour promouvoir et étendre l'utilisation du biodiesel, notamment :

- acceptation du B20 en tant que carburant de remplacement en vertu de l'*Energy Policy Act* (EPACT);
- obtention de crédits pour le biodiesel en vertu du *programme Corporate Average Fuel Economy* (CAFE) (programme relatif à l'économie moyenne en

- carburant des entreprises);
- établissement de normes ASTM pour le biodiesel et inclusion des mélanges au biodiesel dans la catégorie dite « supercarburant diesel »;
- recherche de mesures incitatives spéciales pour le biodiesel;
- promotion vigoureuse du biodiesel dans les marchés à créneaux.

Les activités menées à ce chapitre aux États-Unis auront certaines répercussions sur l'utilisation du biodiesel au Canada. Il semble que les principaux débouchés éventuels pour le biodiesel au Canada soient son utilisation comme additif pour augmenter le pouvoir lubrifiant du carburant diesel ainsi que les marchés à créneaux comme les mines souterraines et les applications maritimes.

Les expériences avec le biodiesel

Employé tel quel ou mélangé à du carburant diesel, le biodiesel utilisé dans les moteurs diesel permet de réduire les émissions de particules (part.), de monoxyde de carbone (CO) et d'hydrocarbures gazeux (HC), mais augmente les émissions d'oxydes d'azote (NOx). On constate une nette diminution des émissions de particules, accompagnée d'une diminution de la fraction insoluble et d'une augmentation de la fraction soluble (FS). Il est possible de réduire davantage la fraction soluble en utilisant des convertisseurs catalytiques d'oxydation. On peut généralement neutraliser l'augmentation des NOx en retardant l'avance à l'injection des moteurs. Les données présentement disponibles ne permettent pas de tirer des conclusions quant à l'effet du biodiesel sur les émissions non réglementées.

Les programmes de recherche et de démonstration en Amérique du Nord soulèvent d'autres questions importantes, comme la qualité non uniforme du biodiesel, la compatibilité des matières et les problèmes de durabilité des moteurs, la perte de puissance des moteurs et le manque de reconnaissance de la part des motoristes et des constructeurs de véhicules. La production de biodiesel selon un processus continu dans de vastes usines et l'établissement de normes sur les carburants sous l'égide de *l'American Society for Testing and Materials (ASTM)* devraient résoudre les problèmes liés à la qualité du carburant et mèneraient vraisemblablement à l'approbation du biodiesel par les motoristes. Bien que bon nombre des problèmes de durabilité et de perte de puissance des moteurs puissent être liés à la qualité du carburant, il faudra mener d'autres expériences sur le terrain pour comprendre pleinement ces questions.

La recherche a démontré que la biodégradation dans une solution aqueuse était beaucoup plus rapide pour le biodiesel que pour le carburant diesel. Même le mélange B20 se dégrade deux fois plus rapidement que le diesel ordinaire. Cette propriété du biodiesel est particulièrement intéressante pour les applications maritimes dans les eaux écologiquement sensibles. En raison de la possibilité qu'il offre en tant qu'émetteur de faibles quantités de particules et de substances toxiques, le biodiesel est un carburant qui semble aussi bien adapté aux moteurs diesel employés dans les mines souterraines.

Étant donné que le biodiesel est produit à partir de matières premières renouvelables, son utilisation devrait se traduire par une nette diminution des émissions de dioxyde de carbone. Une évaluation des émissions du biodiesel en fonction du cycle de vie, par rapport à celles du carburant diesel, a été faite aux États-Unis il y a quelques années. Le rapport final devait paraître vers la fin mars 1998. Selon des communications personnelles effectuées au *National Renewable Energy Laboratory* (NREL), on estime que, par rapport au cycle de vie, le biodiesel produirait beaucoup moins d'émissions que le diesel ordinaire.

Principales questions et recommandations

Le potentiel de disponibilité du biodiesel en Amérique du Nord est limité à 2 % de la consommation actuelle de carburant diesel. Présentement, le coût du biodiesel est de deux à trois fois plus élevé que celui du diesel. Il ne semble pas possible, dans la situation présente, d'imposer des taxes additionnelles sur le diesel ordinaire ou de proposer des incitatifs pour l'utilisation du biodiesel dans le but de supprimer l'écart entre les prix. Par conséquent, il est nécessaire de trouver des utilisations pour le biodiesel dans des marchés à créneaux où ses propriétés positives pourront justifier son coût plus élevé, préférablement sous la forme de faibles mélanges avec le carburant diesel, dans le but de réduire au minimum le coût différentiel.

On produit actuellement le biodiesel en petites quantités en utilisant diverses matières premières. Bien souvent, la qualité du carburant n'est pas uniforme. L'ASTM établit présentement des normes aux États-Unis visant à assurer une qualité et un rendement uniformes sans lier le produit final à une matière première en particulier. Le Canada devrait également établir des normes pour le biodiesel sous l'égide de l'Office des normes générales du Canada (ONGC).

Pour être accepté sur le marché, tout nouveau carburant doit être approuvé par les motoristes et les constructeurs de véhicules. De même, pour qu'il puisse être utilisé dans un mélange avec du carburant diesel, le biodiesel doit également être accepté par l'industrie pétrolière. Le biodiesel n'obtiendra cette reconnaissance qu'avec les spécifications de l'ONGC et l'appui de données solides démontrant ses bienfaits sur l'environnement et ses autres propriétés avantageuses.

Outre les incitatifs monétaires, les politiques et les règlements du gouvernement peuvent également soutenir la recherche de marchés à créneaux pour un carburant. Le fait pour les gouvernements fédéral et provinciaux d'imposer des règlements sévères en ce qui concerne les émissions dans les mines souterraines, les marinas et d'autres régions écologiquement sensibles favoriserait certainement l'entrée du biodiesel dans ces marchés, même au prix élevé actuel. On devrait viser à inclure le biodiesel comme carburant de remplacement en vertu de la *Loi canadienne sur les carburants de remplacement* et lui faire attribuer l'Éco-logo en vertu du Programme Choix environnemental. Le gouvernement fédéral devrait également appuyer les activités de recherche et de développement visant à mieux mesurer les avantages que présentent les mélanges faibles de biodiesel dans le carburant diesel sur le plan de l'environnement et de la réduction des émissions.

1. INTRODUCTION

Le biodiesel est un carburant de remplacement produit à partir d'huiles végétales, de graisses animales ou d'huiles et de graisses de cuisson usagées, et qui peut servir de substitut au diesel ordinaire ou d'additif pour celui-ci. Le biodiesel a un indice de cétane plus élevé que celui du carburant diesel, mais ses autres propriétés sont semblables à celles du diesel. Le biodiesel peut donc être employé tel quel dans les moteurs diesel. Puisque le biodiesel est produit à partir de matières premières renouvelables cultivées au pays, il peut permettre de réduire l'utilisation de combustibles dérivés du pétrole et de diminuer éventuellement les émissions de gaz à effet de serre produites par les moteurs à combustion interne. Étant donné qu'il est biodégradable et qu'il ne contient ni soufre ni aromatiques, il semble que le biodiesel pourrait permettre de diminuer les émissions de particules et de matières toxiques. Il pourrait constituer un carburant routier intéressant pour des applications dans les milieux écologiquement sensibles, comme les autobus urbains dans des villes très polluées, les forêts et les parcs nationaux, les secteurs maritimes et le matériel de mines souterraines. Mélangé en petites quantités au carburant diesel ordinaire, le biodiesel semble en augmenter le pouvoir lubrifiant, prolonger la durée de vie du moteur et diminuer la consommation de carburant.

1.1 Contexte

Depuis longtemps, on fait valoir que les huiles végétales pourraient constituer des substituts au carburant diesel. Des documents historiques mentionnent que Rodolphe Diesel, l'inventeur du moteur du même nom, utilisait de l'huile végétale dans son moteur dès 1900 (Peterson, 1986). De l'huile de ricin a été employée dans le premier moteur diesel en Argentine en 1916 (de Vedia, 1944). En 1928, l'ingénieur français Gauthier a publié un article traitant de l'utilisation d'huiles végétales dans les moteurs diesel (Chowdury, 1942). L'intérêt porté à l'utilisation des huiles végétales a continué de se manifester dans différentes régions du monde au cours de la Seconde Guerre mondiale, mais, par la suite, la recherche de carburants de remplacement du diesel a été rendue superflue avec l'arrivée de la période de paix et l'abondance relative de combustibles fossiles bon marché. Toutefois, dans les années 70, l'embargo déclaré par les pays de l'OPEP, l'augmentation subséquente des prix du pétrole et la crainte d'une pénurie de carburant ont fait en sorte de raviver l'intérêt pour des carburants de remplacement, y compris les huiles végétales comme carburants dans les moteurs diesel. Cependant, la viscosité élevée des huiles végétales entraîne une mauvaise atomisation du carburant et une obstruction des injecteurs. Par conséquent, on utilise ces huiles uniquement après leur transformation en esters d'huile végétale mieux connus sous l'appellation de biodiesel.

Récemment, des préoccupations nationales d'ordre environnemental et économique ont relancé l'idée de l'utilisation du biodiesel à l'échelle de la planète. En 1991, la Communauté européenne (CE) a proposé une réduction de taxe de 90 % pour l'utilisation du biodiesel. Plusieurs sociétés européennes construisent actuellement des installations de production de biodiesel; chacune de ces installations permet de produire environ 5 millions de litres de carburant par année. Aux États-Unis (É.-U.) et au Canada, l'intérêt pour le biodiesel se fait aussi grandissant. En Amérique du Nord,

plusieurs programmes de démonstration sont à l'essai concernant l'utilisation du biodiesel comme carburant dans de nombreux véhicules, notamment des autobus, des camions, du matériel de construction et de l'équipement minier ainsi que des bateaux à moteur. De la recherche est aussi en cours sur l'utilisation du biodiesel pour accroître le pouvoir lubrifiant du carburant diesel.

Le National Biodiesel Board (NBB), l'un des principaux organismes de promotion de l'utilisation du biodiesel aux États-Unis, prétend qu'une grande partie du carburant diesel total consommé aux É.-U., environ 190 milliards de litres, pourrait être remplacée par du biodiesel produit à partir d'huiles végétales, animales et de microalgues. En 1996, les États-Unis ont produit environ 13 millions de tonnes (Tyson, 1997) d'huiles végétales (huiles de soja, de maïs, de coton, d'arachides, de tournesol, de canola ainsi que du suif fondu). Si cette huile était uniquement utilisée dans la production de biodiesel, elle permettrait de produire l'équivalent de 15 milliards de litres de carburant. Comme plusieurs huiles animales et végétales sont maintenant retirées du marché américain de l'alimentation pour des motifs de santé, le biodiesel produit à partir de ces sources pourrait offrir un marché de rechange à valeur ajoutée à l'intention des producteurs américains de suif et de graines oléagineuses (BioFacts, 1995).

On estime que le Canada pourrait facilement produire quelque 600 millions de litres de biodiesel par année (Reaney, 1997) à partir des excédents de canola, de soja, de suif et de tallol. En 1995, le Canada a consommé environ 19 milliards de litres de carburant diesel (Statistique Canada, 1996).

1.2 Objectif

La présente étude vise à fournir suffisamment de renseignements à la Division des systèmes de transport d'Environnement Canada pour qu'elle puisse :

- évaluer la situation actuelle et le potentiel du biodiesel comme carburant utilisable dans les moteurs diesel, en particulier au Canada et aux États-Unis;
- établir la politique et le cadre technique à l'appui de décisions ultérieures d'Environnement Canada quant à l'utilisation du biodiesel.

La présente étude vise plus particulièrement les points suivants :

- revoir les travaux antérieurs menés sur l'emploi du biodiesel comme carburant dans les moteurs diesel;
- analyser les renseignements disponibles concernant l'incidence du biodiesel sur les émissions et sur l'efficacité et la durabilité des moteurs;
- évaluer le potentiel de production et d'utilisation de biodiesel au Canada.

1.3 Méthodologie

Aux fins du déroulement de l'étude, on a examiné en profondeur la documentation pertinente; procédé à des entrevues téléphoniques et en personne; tenu des réunions en compagnie de représentants de ministères fédéraux et provinciaux ainsi que de l'industrie; visité des endroits précis au Canada et aux États-Unis où se déroulent les principales activités touchant le biodiesel. En se fondant sur les renseignements disponibles, la société Global Change Strategies International (GCSI) a évalué minutieusement le potentiel du biodiesel au Canada. Un résumé de ses constatations et de ses recommandations figure dans le présent rapport.

2. ÉCONOMIE ET PRODUCTION DE BIODIESEL

Les huiles végétales offrent de bonnes propriétés d'inflammation et ont été employées comme carburants dans les moteurs diesel à l'époque des pénuries de carburant. Toutefois, certaines de leurs caractéristiques, en particulier leur viscosité et leur tendance à s'oxyder rapidement, les rendent impropres à une utilisation dans les moteurs diesel modernes. Quand les huiles végétales sont employées comme carburants, on peut en réduire la viscosité d'au moins quatre façons : par dilution, pyrolyse, microémulsion et transestérification. Parmi ces options, la transestérification est la méthode la plus courante; elle permet de transformer les huiles végétales en un produit appelé « biodiesel » dont les propriétés sont très semblables à celles du carburant diesel. Le biodiesel peut être employé tel quel ou mélangé au carburant diesel ordinaire. Il est possible de transformer divers types de graisses animales, d'huiles et de graisses recyclées ainsi que des huiles à base de microalgues en biodiesel. Il existe deux techniques de transformation des huiles végétales, des huiles dérivées de la biomasse et des graisses animales en biodiesel.

2.1 Biodiesel produit par estérification

La « transestérification » est la technique classique de production de biodiesel. Il s'agit d'un procédé dans lequel les huiles végétales, les graisses animales et (ou) les huiles à base de microalgues sont mélangées à un alcool (éthanol ou méthanol) en présence d'un catalyseur (hydroxyde de sodium ou de potassium) afin de former des esters gras (ester éthylique ou méthylique). La transformation des huiles triglycérides en esters méthyliques ou éthyliques par transestérification permet de réduire la masse moléculaire à un tiers de celle de l'huile, de réduire la viscosité de huit fois et d'accroître la volatilité. La température, le type de catalyseur et sa concentration, le rapport alcool/ester et la vitesse de brassage sont les plus importantes variables qui influent sur le temps de réaction de la transestérification et sur l'efficacité de la transformation. La pureté des agents réactifs, par exemple la présence d'eau, d'acides gras libres et d'autres contaminants qu'on retrouve dans les huiles non raffinées (et autres matières premières) sont aussi des variables très importantes. La figure 1 montre le diagramme du procédé de transestérification.

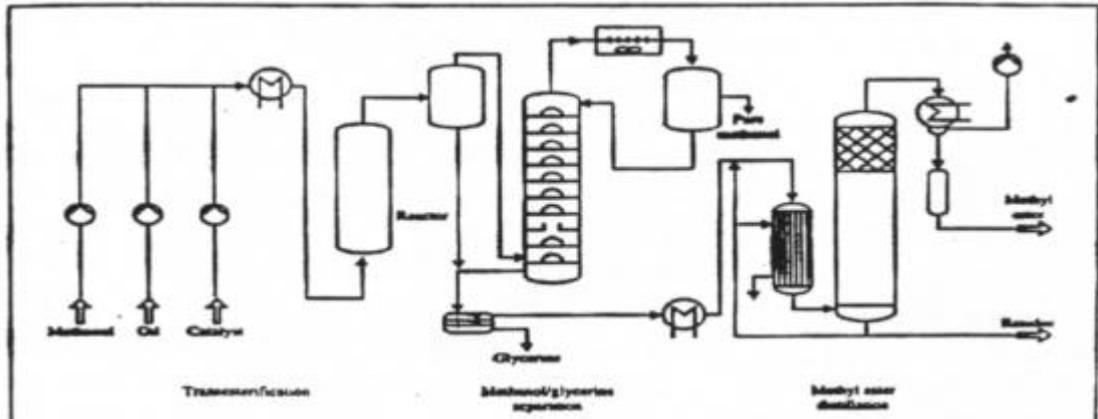
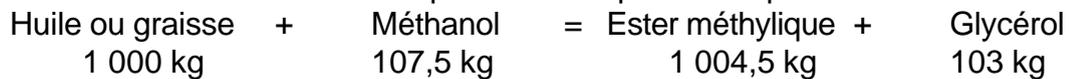


Figure 1 : Diagramme de production d'esters méthyliques par transestérification

Un bilan matière stœchiométrique donne l'équation simplifiée suivante :



À la suite de la réaction, les produits sont séparés en deux phases, ce qui facilite l'enlèvement du glycérol, un sous-produit industriel utile, obtenu au cours de la première phase. Le mélange résiduel alcool/ester est ensuite séparé et l'excédent d'alcool est recyclé. On effectue alors le nettoyage ou l'épuration des esters par lavage à l'eau, distillation, séchage sous vide et filtration. Le biodiesel produit à partir de ce procédé est communément appelé « ester végétal ». Le tableau 1 montre les propriétés élémentaires des esters méthyliques produits à partir de différents types d'huiles végétales.

Tableau 1. Propriétés du biodiesel à base d'ester méthylique

Huile de départ	Densité g/cc @ 15,5°C	Viscosité cSt @ 40°C	Indice de cétane	Valeur calorifi- que MJ/kg	Point de trouble °C
Palmiste (Pischinger <i>et al.</i> , 1982)	0,880	5,7	62	37,8	+13
Graines de soja (Schwab <i>et al.</i> , 1987)	0,884	4,08	46,2	39,8	+2
Tournesol (Pischinger <i>et al.</i> , 1982)	0,880	4,6	49	38,1	+1
Suif (Ali <i>et al.</i> , 1985)	0,877	4,1	58	39,9	+12
Canola	0,880	4,4	49,6	40,1	-1*

Le coût lié à la production de biodiesel en Amérique du Nord est présentement beaucoup plus élevé que le prix du carburant diesel ordinaire. Par exemple, le coût actuel du biodiesel aux États-Unis est d'environ 0,66 \$ le litre comparativement au prix à la pompe du carburant diesel qui est d'environ 0,30 \$ le litre. À environ 2 à 3 fois le prix du carburant diesel, le biodiesel ne peut tout simplement pas être concurrentiel économiquement parlant. Dans de nombreux pays européens, des réductions de taxes sur le biodiesel permettent de vendre à la pompe l'ester méthylique à base d'huile de colza presque au même prix que le carburant diesel. Au Canada et aux États-Unis, ces réductions de taxes n'existent pas encore. Sans cette forme de subvention, le biodiesel est en concurrence non seulement avec le carburant diesel, mais aussi avec d'autres carburants de remplacement.

Environ 75 à 90 p. 100 du coût du biodiesel est imputable aux matières premières. Au Canada, le biodiesel pourrait être produit à partir de graines de canola de qualité alimentaire, mais son coût serait très élevé. Des huiles de canola de qualité inférieure - produites par exemple à partir de graines surchauffées ou dégradées par le froid ou encore de fines particules obtenues par tamisage - pourraient aussi être utilisées, à un coût quatre fois inférieur à celui des graines de qualité alimentaire. L'huile obtenue à partir de matières premières de qualité moindre présente une forte odeur et est de couleur brun foncé, mais ces propriétés n'ont aucune incidence sur la qualité de l'ester produit (Reaney, 1997).

Même si les huiles destinées à être transformées en biodiesel n'ont pas à satisfaire aux normes rigoureuses de l'industrie des huiles alimentaires, elles doivent tout de même être traitées. Selon la norme sur le carburant biodiesel, en cours de préparation, les mêmes étapes de traitement pourraient être nécessaires afin de réduire la teneur en soufre et en phosphore des huiles provenant de graines de qualité inférieure.

Une autre option pour réduire le coût du biodiesel consiste à chercher d'autres sources de graisses et d'huiles pour lesquelles la concurrence est moins forte et qui pourrait faire en sorte que la production de biodiesel en soit le principal consommateur. Par exemple, l'emploi d'huiles de friture recyclées peut réduire substantiellement le coût des matières premières, mais augmente le coût du traitement. Ces huiles sont souvent des huiles hydrogénées dont le point d'écoulement est plus élevé, ce qui pourrait constituer un problème dans le biodiesel. La teneur relativement élevée en acides gras libres des huiles usagées peut aussi poser des problèmes, car il est plus difficile de bien séparer le glycérol et les esters obtenus par transestérification. Par conséquent, au moment de choisir les matières premières, il faut évaluer minutieusement le coût de ces matières, ainsi que le coût du traitement et son effet sur la qualité du biodiesel et d'autres sous-produits.

La valeur marchande du glycérol produit est un paramètre économique important du biodiesel. Les marchés du glycérol sont limités. Ainsi, toute augmentation substantielle de la production de biodiesel pourrait entraîner une baisse du prix de vente du glycérol qu'il faudrait compenser par une augmentation du prix du biodiesel de manière à

couvrir l'augmentation des coûts totaux.

Des améliorations à la technologie de transestérification permettraient aussi d'abaisser les coûts de production. Le biodiesel est actuellement produit en petites quantités en faisant appel à un traitement par lots. L'emploi d'un procédé de traitement en continu serait plus efficace et permettrait de tirer avantage d'économies d'échelle quant aux coûts de production du biodiesel.

Selon les données portant sur les deux dernières décennies, le prix moyen du diesel et de l'huile de soja, sans tenir compte des maximums, s'est élevé à environ 200 \$US et 600 \$US la tonne, respectivement (Krawczyk, 1996). Dans la production de biodiesel à partir d'huile végétale, le rendement du capital investi et le coût de transformation sont essentiellement compensés par les recettes des sous-produits, ce qui ramène le prix du biodiesel à peu près au même niveau que celui de l'huile végétale. Il est difficile de prévoir les rapports de prix car le prix de l'huile végétale est établi en fonction du marché mondial alors que le prix de vente du diesel est soumis à des taxes qui fluctuent d'un pays à un autre. Les taxes imposées en Europe sur le carburant diesel s'élèvent à environ 400 \$US la tonne, ce qui fait que le prix à la pompe du diesel est égal à celui du biodiesel, taxes non comprises. Toutefois, au Canada et aux États-Unis, le biodiesel coûte environ trois fois plus cher car il n'y a pas de mesures de réduction des taxes sur le biodiesel et les taxes sur le diesel ordinaire sont moins élevées.

Selon les conclusions d'une analyse de marché menée récemment aux États-Unis, le coût du biodiesel produit en petites quantités à partir de graines de soja est d'environ 0,66 \$ le litre. La production à grande échelle en faisant appel à la technologie actuelle pourrait permettre de réduire ce coût à 0,40 ou 0,45 \$ le litre. D'autres recherches en cours faisant appel à des matières premières existantes et nouvelles, comme les microalgues, pourraient entraîner une diminution additionnelle des coûts. L'objectif du programme de l'US Department of Energy et du National Renewable Energy Laboratory (DOE/NREL) consiste à réduire le coût de production du biodiesel de 50 à 65 %, c'est-à-dire le ramener à 0,26 \$ le litre.

2.2 Biodiesel produit par hydrogénation

Le deuxième procédé, qui fait appel simultanément à l'hydrogénation catalytique et au craquage des huiles végétales, a été mis au point au Saskatchewan Research Council sous le parrainage du Centre canadien de la technologie des minéraux et de l'énergie (CANMET). Ce procédé a été employé pour produire un type de biodiesel à partir de « tallol », un sous-produit du traitement de la pâte Kraft. Les principaux éléments constitutifs du tallol sont des acides gras C18 non saturés, des acides résiniques et des hydrocarbures insaponifiables comme des alcools et des aldéhydes diterpéniques. On a donné au biodiesel produit selon ce procédé la désignation de « supercétane », du fait que son indice de cétane est voisin de 60.

Une licence de la technologie du CANMET a été accordée à Arbokem de Vancouver, au Canada, afin qu'elle commercialise le procédé mondialement. On estime à environ 1,2 million de tonnes par année la production mondiale de tallol. Plus de 60 % de la production provient des États-Unis. Au Canada, BC Chemicals est le principal

producteur de tallol.

Pour ce qui concerne son usage traditionnel, le tallol brut est d'abord dégoudronné puis distillé afin qu'on puisse obtenir des sous-produits à valeur ajoutée comme des acides gras de tallol et de la résine de tallol. Le procédé du CANMET, qui vise à transformer le tallol en sous-produits à valeur ajoutée, fait appel simultanément à l'hydrogénation catalytique et au craquage du tallol dégoudronné. Dans le cadre du programme de recherche, on a utilisé deux réacteurs à lit de ruissellement continu. Le premier appareil, une ancienne installation semi-pilote en continu munie d'un réacteur de 750 ml, a servi au travail initial. Le deuxième, une unité d'élaboration de procédé ou PDU munie d'un réacteur de 10 litres qui simule les propriétés du procédé dans des unités commerciales, a servi à produire des quantités suffisantes de « supercétane » pour des essais dans des moteurs.

Dans le procédé de production de « supercétane », montré à la figure 2, le tallol dégoudronné est pompé dans un circuit à haute pression où il est mélangé à de l'hydrogène; la phase gaz-liquide passe dans un groupe de réchauffeurs électriques avant d'entrer dans le réacteur catalytique à lit de ruissellement. Le produit est recueilli dans deux colonnes de vaporisation, il est décanté pour en éliminer l'eau, puis est distillé dans un alimenteur-doseur pour l'obtention de la fraction voulue. Le gaz traité est ensuite recyclé après que les impuretés aient été supprimées à l'aide de séparateurs. Des essais longue durée ont été réalisés avec succès dans les installations pilotes des Laboratoires de recherches énergétiques de CANMET à Ottawa, afin de transformer le tallol en « Supercétane ». Le procédé est maintenant prêt pour la phase suivante.

La figure 3 montre la répartition des points d'ébullition du tallol dégoudronné et de l'hydrocarbure liquide séparé en trois fractions distinctes soit : le naphte (IBP -160°C), le supercétane (160°C à 325°C , fraction carburant diesel) et le mazout lourd (325°C et +).

Les propriétés du supercétane et du tallol dégoudronné, ainsi que les caractéristiques du carburant diesel n^o 1 (D-1) sont présentées au tableau 2 à des fins de comparaison.

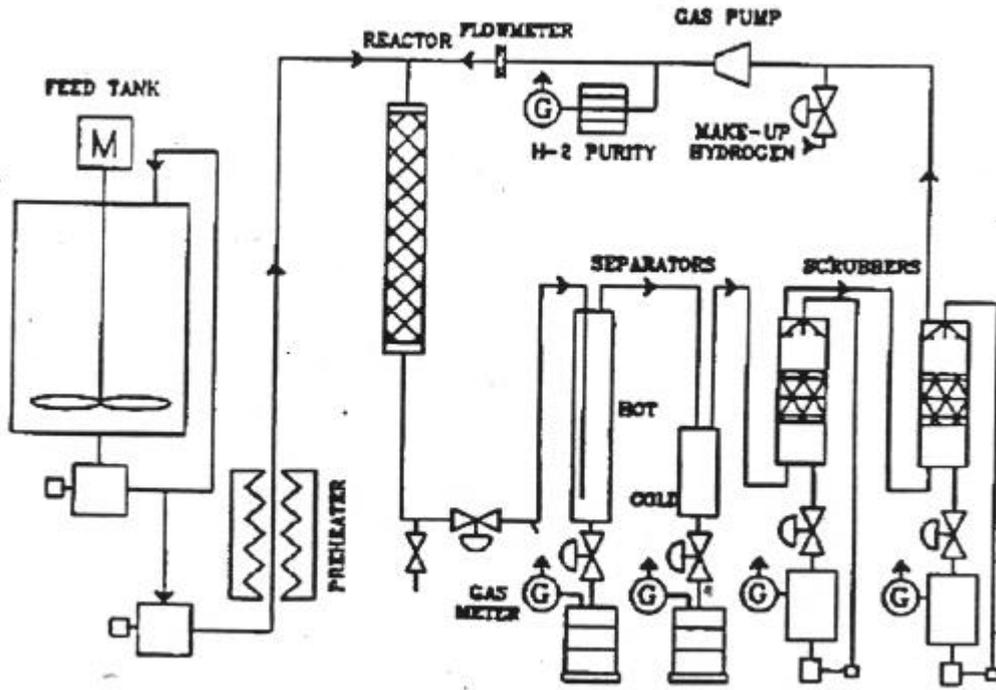


Figure 2: Diagramme du procédé CANMET de production de supercétane

Feed Tank = Bâche d'alimentation

Reactor = Réacteur

Flowmeter = Débitmètre

Gas pump = Pompe à gaz

H-2 Purity = Pureté H-2

Make-up Hydrogen = Hydrogène d'appoint

Preheater = Réchauffeur

Gas Meter = Compteur de gaz

Hot = Côté chaud

Cold = Côté froid

Separators = Séparateurs

Scrubbers = Épurateurs

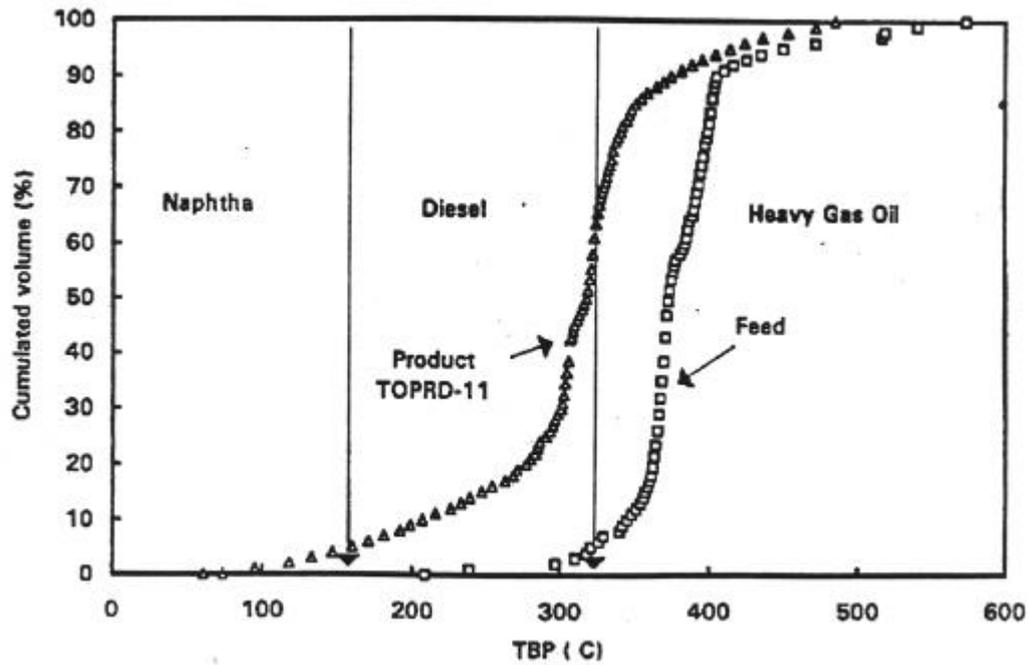


Figure 3 : Répartition des points d'ébullition du tallol dégoudronné et d'un échantillon de produits d'hydrocarbures liquides

Cumulated Volume = Volume cumulé
 TBP (C) = Point d'ébullition réel (° C)
 Naphtha = Naphte
 Diesel = Diesel
 Heavy Gas Oil = Mazout lourd
 Product TOPRD-11 = Produit TOPRD-11
 Feed = Alimentation

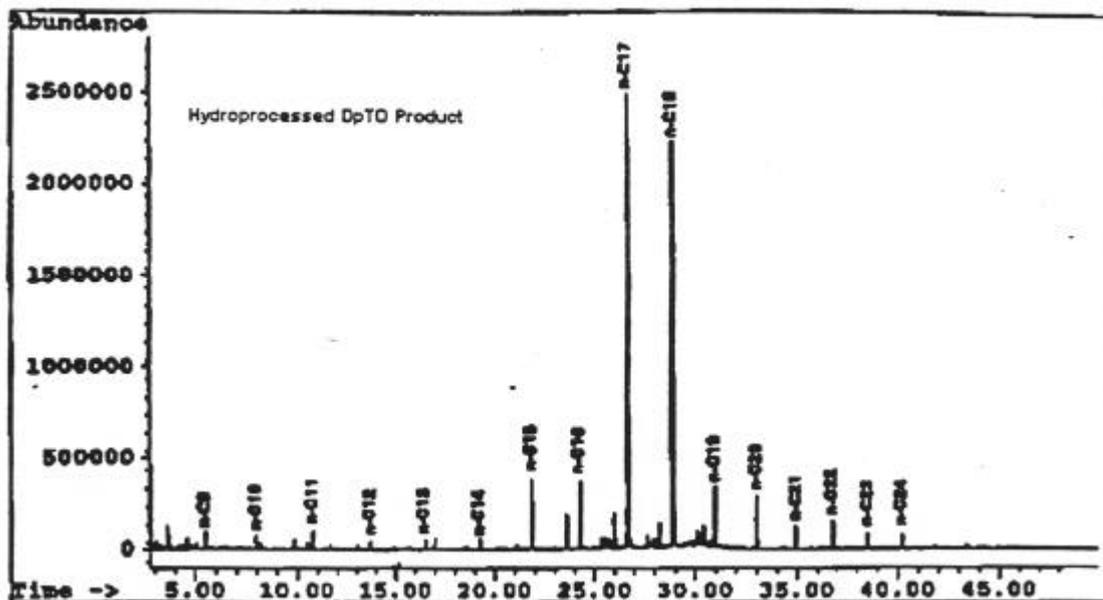


Figure 4 : Chromatogramme du supercétane

Abundance = Abondance

Hydroprocessed DpTO product = Produit de tallol dégoudronné hydrocraqué

Time = Période

Tableau 2. Propriétés du supercétane (SC) et du tallol dégoudronné et caractéristiques du carburant diesel n°1 (D-1)

Propriété	Tallol dég.	SC	D-1
Densité, g/ml	0,9616	0,8297	0,850
API, 60/60 °F	15,7	39,0	-
C, % poids	79,1	86,4	-
H, % poids	11,0	13,5	-
O, % poids	9,5	0,02	-
N, mg/L	58	1,3	-
S, mg/L	993	18,6	500
Thiol S, mg/L	-	50	
Indice d'acidité, g KOH/g	152,2	<0,05	0,1
Distillation			
10 % récupération, °C	345	225	215
90% récupération, °C	404	322	288
Point final de dist., °C	573	344	316
Indice de cétane	-	64	40

L'analyse du couplage CG-SM indique que les composants dominants du supercétane sont les alcanes communs allant de n-C9 à n-C24. Les composants alcanes n-C17 et n-C18 représentent environ 72 % de tous les alcanes dans le produit (Feng, Wong et Monnier, 1993). Le chromatogramme du produit à la figure 4 montre clairement deux crêtes prononcées associées aux alcanes n-C17 et n-C18. Le chromatogramme du carburant diesel ordinaire, montré à la figure 5, indique la présence d'alcane allant de n-C10 à n-C22. L'indice de cétane du produit était supérieur à 55. L'analyse du couplage CG-SM a de plus révélé que la teneur en soufre du supercétane est extrêmement faible, et que la teneur cyclique en hydrocarbures et en aromates est beaucoup plus faible que celle du carburant diesel.

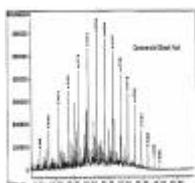


Figure 5. Chromatogramme du carburant diesel ordinaire

Abundance = Abondance

Time = Période

Commercial Diesel Fuel = Carburant diesel commercial

Selon les estimations, les coûts de production du supercétane, y compris les coûts d'exploitation et d'immobilisation d'une usine à grande échelle, varient de 0,10 à 0,12 \$ le litre (Monnier, 1997). Le coût du tallol employé comme matière première pourrait varier de 0,08 à 0,20 \$ le litre de supercétane. Par conséquent, le coût total de ce produit pourrait varier de 0,18 à 0,32 \$ le litre, ce qui en fait un produit beaucoup plus attrayant sur le plan économique que les esters végétaux dont le coût actuel est d'environ 0,66 \$ le litre.

3. DISPONIBILITÉ DES MATIÈRES PREMIÈRES

Les tableaux 3 et 4 présentent des données élémentaires sur la disponibilité des huiles végétales. Les sources mondiales d'huiles et de graisses végétales comptent pour environ 62 millions de tonnes par année (Krawczyk, 1996). La plus grande proportion des huiles végétales sont utilisées à des fins alimentaires et une petite partie est destinée à des fins chimiques. Présentement, l'emploi des huiles végétales comme sources de carburant (sous forme d'esters d'huile végétale ou de biodiesel) est très limité. L'emploi de biodiesel pourrait être envisagé dans trois régions du monde : l'Amérique du Nord dont la production annuelle d'huiles végétales est d'environ 17 millions de tonnes; l'Europe continentale qui en produit environ 16 millions de tonnes; et l'Asie du Sud-est dont la production atteint maintenant environ 8 millions de tonnes. Ces trois régions produisent plus de 66 % de la production mondiale d'huiles végétales.

Tableau 3. Production mondiale des principales huiles végétales

Huile	Production en millions de tonnes
Graines de soja	12,0
Graines de colza	8,5
Graines de coton	5,0
Tournesol	7,0
Arachides	3,5
Noix de coco	2,6
Graines de lin	0,5
Palme	10,0
Olive	1,6
Autres	10,9
Total	61,6

Tableau 4. Répartition de la production d'huiles végétales entre les diverses régions du monde

Région	Millions de tonnes
--------	--------------------

Amérique du Nord	16,6
Amérique du Sud	7,4
Chine	3,0
Inde, Pakistan, Bangladesh	3,7
Ancienne URSS	6,2
Europe (sauf ancienne URSS)	9,8
Afrique	3,1
Malaisie, Philippines, Indonésie	8,0
Autres	3,8
Total	61,6

Actuellement, la production mondiale d'huiles végétales dépasse la consommation en ce qui a trait à l'alimentation humaine et animale et à l'utilisation dans l'industrie. On estime qu'il serait maintenant possible de produire environ 3 à 5 millions de tonnes de biodiesel à partir des surplus d'huiles végétales. Les partisans du biodiesel prétendent que l'emploi de ce carburant renouvelable offrirait de nombreux avantages, y compris l'amélioration de la qualité de l'air dans certaines des régions les plus polluées de la planète; un apport important dans la réduction des émissions de gaz à effet de serre; un carburant biodégradable émettant très peu de substances toxiques; et la création d'une nouvelle industrie offrant de nombreux nouveaux emplois.

Aux États-Unis, la production de biodiesel est très intéressante surtout pour les producteurs de graines de soja qui sont confrontés à une capacité de production excédentaire, à des surplus de produit et à des prix en chute libre. L'ester méthylique à base de soja, produit par réaction de méthanol et d'huile de soja, constitue la principale forme de biodiesel aux États-Unis. En 1996, la production américaine de graisses et d'huiles végétales a été d'environ 13 millions de tonnes. En supposant qu'un excédent de 10 % de la production pourrait servir à la production de biodiesel, on pourrait éventuellement produire 1,5 milliard de litres de biodiesel par année. Aux États-Unis, on estime la capacité de production de biodiesel entre 190 et 570 millions de litres par année. Cette plage étendue de la capacité est probablement imputable au fait que tout l'ester méthylique produit n'est pas uniquement employé comme biodiesel. Il y a plus de 130 producteurs de biodiesel au sein des organismes non producteurs de pétrole, les plus importants étant Agricultural Environmental Products et Twin Rivers Technologies.

3.1 Matières premières au Canada

En 1996, la production prévue de graines de canola et de soja au Canada était de 5 et de 2,17 millions de tonnes respectivement (Canadian Grains Industry Handbook, 1996). L'huile provenant du canola correspond à environ 40 % de la production tandis que celle provenant du soja correspond à environ 20 % de la production. Cela pourrait représenter une production potentielle de 2 millions de tonnes d'huile de canola et de 434 000 tonnes d'huile de soja. La production réelle d'huile de canola et d'huile de soja en 1996 au Canada n'a été respectivement que de 1,153 million de tonnes et de 166 000 tonnes, le reste des graines oléagineuses ayant été exporté. La production canadienne de suif a été d'environ 200 000 tonnes par année, mais le potentiel de

production de tallol est estimé à environ 180 000 tonnes par année.

En supposant une utilisation de 10 % des huiles de canola et de soja pour la production de biodiesel, on pourrait obtenir une production de 277 millions de litres de biodiesel par année. En supposant une utilisation de 25 % du suif et du tallol pour la production de biodiesel, on pourrait obtenir une production de 108 millions de litres de biodiesel par année. Cela correspond donc à une production possible de 385 millions de litres de biodiesel par année, ce qui représente seulement 2 % environ de la consommation totale de carburant diesel au Canada qui est de 19 milliards de litres environ par année.

Il est donc clair que l'emploi du biodiesel doit s'orienter vers des marchés à créneaux offrant des avantages optimaux pour l'environnement. Ces questions seront étudiées ultérieurement dans le rapport.

4. EFFETS DES MATIÈRES PREMIÈRES SUR LES PROPRIÉTÉS DU BIODIESEL

Le biodiesel est chimiquement simple puisqu'il ne contient que six ou sept esters d'acides gras. Cependant, les esters ne revêtent pas tous la même importance en ce qui concerne les propriétés du carburant telles que : l'indice de cétane; la densité; la viscosité; le point de fusion; les caractéristiques d'écoulement par temps froid comme les points de trouble et d'écoulement; la valeur calorifique; ainsi que le degré de saturation. Les données sur les propriétés des esters de composants purs recueillies par le professeur L. Davis Clements de l'Université du Nebraska à partir de plusieurs sources documentaires sont montrées au tableau 5 (Clements, 1996). Différentes huiles végétales et graisses animales peuvent contenir différents types d'acides gras. Par conséquent, les propriétés du biodiesel employé comme carburant sont généralement tributaires du choix des matières premières. Le tableau 6 montre un résumé des données de carburants diesel réels, des esters méthyliques et éthyliques de diverses huiles végétales et du suif (Graboski, 1997), Ces données montrent de légers écarts imputables à l'emploi de matières premières différentes. Des données portant sur les esters de soja produits à partir de divers alcools sont présentées au tableau 7. Il convient de mentionner que les données proviennent de différentes sources, ce qui explique que les valeurs des propriétés indiquées dans les tableaux peuvent différer. Certaines propriétés importantes du biodiesel sont présentées en détail dans les sections qui suivent.

Les propriétés et la composition chimique du biodiesel sont tributaires de la longueur et du degré d'insaturation des chaînes alkylées d'acides gras. Les acides gras peuvent être saturés ou non saturés. Un acide saturé ne peut être hydrogéné chimiquement, mais un acide non saturé peut l'être. Les acides saturés ont un point de congélation plus élevé que celui des acides non saturés. Le point d'ébullition des acides dépend de la longueur de la chaîne de carbone, mais très peu du degré d'insaturation. Les effets de la structure chimique sur les points de fusion et d'ébullition s'appliquent aussi aux esters des acides gras, même si leur valeur dans le cas des esters est

sensiblement inférieure comme le montre le tableau 8.

Pour ce qui touche la variation importante des propriétés du biodiesel selon les matières premières et parfois les conditions opératoires employées, des travaux d'envergure sont en cours afin d'élaborer des caractéristiques pour le biodiesel employé comme carburant pour assurer une qualité et une efficacité uniformes, sans pour autant lier le carburant final produit à une matière première particulière. Un des projets permanents en cours aux États-Unis vise à produire du biodiesel à partir de matières premières peu coûteuses (les détails sont présentés à l'annexe C). Le projet comprend la production, l'essai et l'établissement des caractéristiques des émissions de biodiesel produit à partir de huit matières premières différentes. Le projet permettra d'établir des caractéristiques du carburant susceptibles de s'appliquer aux caractéristiques génériques du biodiesel, peu importe sa source de matières premières.

Tableau 5. Données sur les propriétés de composants purs - Esters méthyliques d'acides gras

Ester	Densité g/cc @15,5°C	Viscosité Cst @ 40°C	Cétane	Valeur calorifique MJ/kg	Point de fusion °C
Palmitate	0,867	4,37	74	39,4	30,6
Stéarate	0,867	5,79	75	40,1	39,1
Oléate	0,878	4,47	55	39,9	-19,8
Linoléate	0,890	3,68	33	39,7	-35,0
Source	Janarthanan <i>et al.</i> , 1996	Janarthanan <i>et al.</i> , 1996	Bagby et Freedman, 1989	Bagby et Freedman, 1989	Teoh et Clements, 1988

Tableau 6. Résumé des propriétés importantes de divers biodiesel (Graboski, 1997)

Carburant	Indice de cétane	Point d'éclair °C	PID °C	T10 °C	T50 °C	T90 °C	PFD °C	Densité	VCÉ MJ/kg	VCF MJ/kg	Point de trouble °C	Point d'écoulement °C	CFPP °C	Viscosité à 40 °C CS	Indice d'iode
D-2	40 à 52	60 à 72	185	210	260	315	345	0,85	44,9	43,4	-25 à -15	-25 à 5	-10 à -20	2,6	8,6
ME soja	50,9	131	299	328	336	340	346	0,885	40,4	37,0	-0,5	-3,8	-4,4	4,08	133,2
RME	52,9	170	326	340	344	348	366	0,883	40,7	37,3	-4,0	-10,8	3,6	4,83	97,4
EE soja	48,2	160	-	-	336	344	-	0,881	40,0	-	-1,0	-4,0	-	4,41	123,0
REE	64,9	185						0,876	40,5	-	-2,0	-15,0	-	6,17	99,7
ME de suif	58,8	117	209	324	328	342	339	0,876	40,2	-	13,9	9	11	4,8	
EE d'huile de friture	61	124						0,872	40,5	37,2	9	8	-	5,78	

Tableau 7. Propriétés de carburant de certains esters de soja (données de Schwab, 1987)

Ester	Viscosité* (mm ² /s)	Indice de cétane	Valeur calorifique (MJ/kg)	Point de trouble (°C)	Point d'écoulement (°C)
Ester méthylique de soja (SME)	4,08	46,2	39,8	2	-1
Ester éthylique de soja (SEE)	4,41	48,2	40,0	1	-4
Ester butylique de soja (SBE)	5,24	51,7	40,7	-3	-7
DF2**	2,39	45,8	45,2	-19	-23

*Viscosité calculée à 40 °C

** Carburant diesel n° 2 comme utilisé dans l'ouvrage de référence de Schwab, 1987.

Tableau 8. Effets de la structure chimique sur les points de fusion et d'ébullition des acides gras et de leurs esters méthyliques (Graboski, 1997)

Chaîne acide	Atomes de carbone	Structure	Point de fusion de l'acide, °C	Point d'ébullition de l'acide, °C	Point de fusion de l'ester méthylique, °C	Point d'ébullition de l'ester méthylique, °C
Caprylique	8	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_6\text{COOH}$	16,5	239	-40	193
Caprique	10	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_8\text{COOH}$	31,3	269	-18	224
Laurique	12	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$	43,6	304	5,2	262
Myristique	14	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{12}\text{COOH}$	58,0	332	19	295
Palmitique	16	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{COOH}$	62,9	349	30	415
Palmitoléique	16	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_5\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	33	--	0	--
Stéarique	18	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH}$	69,9	371	39,1	442
Oléique	18	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	16,3	--	-19,9	--
Linoléique	18	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	-5	--	-35	--
Linoléinique	18	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	-11	--	--	--
Arachidique	20	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{18}\text{COOH}$	75,2	--	50	--
Eicosénique	20	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_9\text{COOH}$	23	--	-15	--
Béhénique	22	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{20}\text{COOH}$	80	--	54	--
Érucique	22	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_{11}\text{COOH}$	34	--	--	--

4.1 Indice de cétane

L'indice de cétane est l'un des principaux indicateurs de la qualité du carburant diesel. Il caractérise le délai d'allumage du carburant au moment de son injection dans la chambre de combustion. Plus le délai d'allumage est court, plus l'indice de cétane est élevé et vice versa. Un indice de cétane élevé facilite le démarrage à froid et réduit le bruit de la marche au ralenti. Des chercheurs ont observé une corrélation entre un indice de cétane élevé et des émissions faibles de NOx. L'échelle de cétane se fonde sur deux composés : l'hexadécane avec un indice de cétane de 100 et l'heptaméthylnonane avec un indice de cétane de 15. L'échelle d'indice de cétane montre aussi que les hydrocarbures saturés (alcanes) à chaîne droite ont un indice de cétane plus élevé que les composés aromatiques ou à chaîne ramifiée ayant une masse moléculaire et un nombre d'atomes de carbone similaires. L'indice de cétane du biodiesel est généralement plus élevé que celui du diesel ordinaire. L'effet du mélange de biodiesel sur l'indice de cétane est presque linéaire pour les mélanges d'esters avec des carburants diesel n° 1 et n° 2 (Graboski, 1997).

Les indices de cétane signalés dans les ouvrages de référence varient considérablement pour le biodiesel. Dans le cas du biodiesel produit à partir d'huile de soja, les valeurs fluctuent de 48 à 67. Une étude récente (Van Gerpen, 1996) a montré que l'indice de cétane du biodiesel dépend de la distribution des acides gras dans l'huile ou la graisse à partir de laquelle il a été produit. Si la chaîne de carbone de l'acide gras est longue et que les molécules sont plus saturées, l'indice de cétane est plus élevé. La matière non saponifiable dans le biodiesel ne semble pas avoir d'effet sur l'indice de cétane.

4.2 Densité et masse volumique

La masse volumique correspond à la masse d'une unité de volume de fluide. La densité est le rapport de la masse volumique d'un liquide sur celle de l'eau. La densité du diesel n° 2 est d'environ 0,85, tandis que celle du biodiesel varie entre 0,87 et 0,89. Le système d'injection de carburant fait appel à un dispositif débitmétrique; si donc le biodiesel a une masse volumique plus élevée, il faudra injecter une masse de carburant légèrement plus élevée. Toutefois, les biodiesel ont une teneur en énergie plus faible du point de vue tant volumétrique que massique. Par conséquent, même si le système d'injection injecte une plus grande masse de biodiesel, l'énergie réelle fournie est inférieure à celle du carburant diesel n° 2.

4.3 Viscosité

La viscosité est une autre propriété importante du biodiesel puisqu'elle influe sur le fonctionnement du système d'injection, particulièrement aux basses températures. En effet, une augmentation de la viscosité affecte la fluidité du carburant. Le biodiesel est plus visqueux que le carburant diesel ordinaire. Une viscosité plus élevée rend plus difficile l'atomisation du carburant et diminue ainsi l'efficacité des injecteurs. Comparativement au carburant diesel, la viscosité du biodiesel et de mélanges de biodiesel augmente plus rapidement lorsque la température baisse. Certaines

impuretés tendent à accroître sensiblement la viscosité du biodiesel.

4.4 Propriétés d'écoulement par temps froid - Point de trouble, point d'écoulement et température limite de filtrabilité (CFPP)

D'autres paramètres importants d'utilisation du carburant aux basses températures sont le point de trouble et le point d'écoulement. Le point de trouble est la température à laquelle la paraffine ou la cire commence à se solidifier lorsque le carburant est refroidi. Le point d'écoulement est la température à laquelle la quantité de paraffine (ou de cire) d'une solution est suffisante pour faire figer le carburant; il s'agit donc de la température la plus basse à laquelle le carburant peut s'écouler. Aucun de ces paramètres ne mesure la température intermédiaire à laquelle la quantité de paraffine est suffisante pour restreindre l'écoulement dans le circuit de carburant d'un véhicule. Bien souvent, le point de trouble sous-estime l'aptitude du carburant à être utilisable à de basses températures, tandis que le point d'écoulement est trop optimiste. Comparativement à ceux du carburant diesel ordinaire, le point de trouble et le point d'écoulement du biodiesel sont plus élevés.

Un essai qui est maintenant généralisé en Europe et dans d'autres régions tempérées du monde porte sur la température limite de filtrabilité (CFPP) des mazouts légers et permet de prévoir l'efficacité de ces carburants par basses températures (IP 309/80). La méthode est aussi publiée dans une norme européenne par le CEN (EN116 : 1981), et sert aussi de norme nationale dans divers pays. Le test de CFPP permet de mesurer la température la plus élevée à laquelle la paraffine qui se sépare de l'échantillon peut freiner ou réduire considérablement l'écoulement du carburant dans un filtre standard dans des conditions d'essai standard. Le test de CFPP n'est pas bien adapté à l'efficacité aux basses températures des carburants nord-américains utilisés dans les véhicules nord-américains et il n'est pas inclus dans le répertoire des normes de l'ASTM (Owen et Coley, 1995).

Pendant les mois d'hiver au Canada, le D-2 est souvent dilué avec du D-1 ou du kérosène pour satisfaire aux prescriptions de rendement en hiver. Les raffineurs établissent divers points de trouble et d'écoulement pour répondre aux conditions climatiques locales. Le tableau 6 renferme les valeurs des points de trouble et d'écoulement ainsi que de la température limite de filtrabilité pour divers biodiesel. Tous les carburants biodiesel présentent des propriétés médiocres par temps froid, les points de trouble et d'écoulement étant de 10 à 15 °C plus élevés que ceux du D-2. À cet égard, les esters de suif fortement saturés sont moins bons que les esters de soja et de colza. Les données sur les mélanges d'ester méthylique de soja et d'ester méthylique de suif dans les carburants D-1 et D-2 indiquent que les points de trouble et d'écoulement augmentent avec une augmentation de la teneur en ester (Midwest Biofuels, 1993). Comme le montre la figure 16, l'effet sur le D-1 est plus marqué que sur le D-2.

Des additifs spéciaux sont couramment employés pour améliorer les propriétés d'écoulement du carburant diesel par temps froid. Ces additifs ne préviennent pas la formation de paraffine, mais empêchent les petits cristaux de paraffine de s'amalguer

les uns aux autres. L'emploi d'additifs de ce genre a aussi fait l'objet d'essais sur les biodiesel avec des résultats concluants. Une étude récente (Dunn *et al.*, 1997) a porté sur l'analyse du refroidissement des huiles végétales entraînant la cristallisation des composants à point de congélation élevé. La phase liquide à point de congélation plus bas a été séparée. À l'aide de cette méthode, le rendement de l'ester de soja ayant un point de trouble de -20°C n'a été que de 30 % en poids. Lorsque des additifs commerciaux destinés à améliorer l'écoulement par temps froid ont été mélangés avant le refroidissement, le rendement de l'ester est passé à 80 % pour un point de trouble de -11°C .

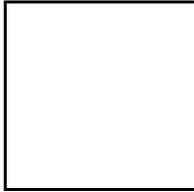


Figure 6 : Effets des mélanges de biodiesel sur les points de trouble et d'écoulement

Cloud Point $^{\circ}\text{C}$ = Point de trouble (en $^{\circ}\text{C}$)

Volume Percent Biodiesel = Pourcentage en volume de biodiesel

Pour Point $^{\circ}\text{C}$ = Point d'écoulement (en $^{\circ}\text{C}$)

4.5 Entreposage et stabilité

Le terme stabilité englobe la stabilité thermique aux températures élevées et basses, la résistance à l'oxydation, la polymérisation, l'absorption d'eau et l'activité microbienne. La principale source d'instabilité des biodiesel est la chaîne des acides gras non saturés. Les métaux et les élastomères en contact avec le biodiesel pendant l'entreposage peuvent aussi influencer sur la stabilité de ce dernier. La présence d'eau dans le biodiesel peut causer de la rouille et de la corrosion, surtout en présence d'acides et d'hydroperoxydes générés par l'oxydation du carburant. La présence d'eau favorise aussi la prolifération microbienne qui se produit à l'interface du biodiesel et de toute phase d'eau libre.

La norme D-975 de l'ASTM autorise une quantité maximale de 500 ppm d'eau dans le D-2. Comme la solubilité de l'eau dans le D-2 n'est environ que de 50 à 60 ppm, toute concentration d'eau au-dessus de cette limite se sépare au bas du réservoir ou demeure en suspension sous forme d'émulsion. La solubilité de l'eau dans l'ester méthylique de soja (SME) est d'environ 1 500 ppm, tandis que dans le mélange B20 (SME dans le D-2), elle est d'environ 40 à 60 ppm Par conséquent, en mélangeant un biodiesel saturé d'eau à du carburant D-2, il peut se produire une séparation de la phase aqueuse qui peut favoriser la prolifération microbienne (Van Gerpen *et al.*, 1997).

On utilise la norme D-2274 de l'ASTM pour mesurer la stabilité à l'oxydation du

carburant diesel. L'oxydation du biodiesel entraîne la formation d'hydroperoxydes qui peuvent se polymériser pour former des gommages insolubles susceptibles d'obstruer les filtres et les circuits de carburant. On a signalé que certains composants du biodiesel étaient des antioxydants naturels et que ceux-ci étaient supprimés pendant l'épuration du biodiesel par distillation (Van Gerpen *et al.*, 1997). Un point intéressant : la présence d'hydroperoxydes améliore l'indice de cétane du biodiesel. Par conséquent, il convient de procéder à une recherche complémentaire afin de comprendre le niveau maximal acceptable d'hydroperoxyde que doit contenir le biodiesel.

4.6 Indice d'iode

L'indice d'iode permet de mesurer le degré d'insaturation d'un carburant (DIN 53241, IP 84/81). L'insaturation peut entraîner la formation de dépôts et des problèmes de stabilité du biodiesel entreposé comme on l'a mentionné précédemment. Les esters méthyliques de soja et de colza ont respectivement un indice d'iode d'environ 133 et 97, comme le montre le tableau 6. Il n'existe pas de données pour les esters de suif, mais on prétend que ces composés ont un indice d'iode plus faible compte tenu de leur degré de saturation plus élevé. Des recherches menées chez Mercedes-Benz (Shafer, 1994) donnent à penser qu'un biodiesel dont l'indice d'iode est supérieur à 115 n'est pas acceptable en raison des dépôts de carbone excessifs produits.

Dans une autre étude (Prankl et Worgetter, 1996), on a testé 5 carburants biodiesel dont l'indice d'iode variait de 100 à 180 dans un moteur à un seul cylindre pendant plus de 250 heures. Aucune différence notable n'a été remarquée quant au niveau de propreté du cylindre, de la chambre de combustion, des soupapes et des injecteurs et de la formation de dépôts sur ces éléments. Selon les résultats des essais, il n'a pas été possible de déterminer avec certitude l'effet de l'indice d'iode sur la formation de dépôts.

5. SITUATION DU BIODIESEL

Deux secteurs d'influence font présentement la promotion du biodiesel : les producteurs de graines oléagineuses comme les cultivateurs de soja, de canola et de colza ainsi que les environnementalistes et les promoteurs du développement durable qui sont préoccupés par les répercussions de la consommation de combustibles fossiles sur le climat mondial.

Faire accepter le biodiesel sur le marché demeure une lutte de tous les instants. En plus du coût plus élevé du biodiesel, d'autres obstacles freinent les progrès du biodiesel, notamment l'approvisionnement et la disponibilité du produit, ainsi que sa qualité uniforme et acceptable. Invariablement, le coût, l'approvisionnement et la qualité du produit vont de pair. Si la qualité du biodiesel comme carburant pour véhicules ou comme composant du carburant diesel est acceptable et uniforme, une plus grande quantité de biodiesel pourrait se retrouver sur des marchés à créneaux. Plus on trouvera d'applications pour le biodiesel, plus on pourra en produire. Une demande accrue de biodiesel pourrait donner lieu à la construction d'installations plus grandes, l'amélioration des procédés et l'emploi de matières premières à plus bas prix, ce qui

entraînerait à terme une diminution du coût du biodiesel.

Des chercheurs examinent maintenant les caractéristiques du biodiesel qui pourraient permettre d'uniformiser et de réglementer la qualité du carburant pour assurer le fonctionnement satisfaisant et la durabilité des moteurs. Même si des graisses et des huiles végétales différentes entraînent de légers écarts dans les caractéristiques du biodiesel, les qualités des matières premières seront d'importance secondaire si le carburant satisfait aux caractéristiques de qualité régissant le bon fonctionnement du moteur.

L'Allemagne a déjà approuvé et adopté des normes sur le carburant biodiesel (DIN V 51606). Ces normes sont présentées au tableau 9 (Krawczyk, 1996). L'Autriche, l'Italie et d'autres pays européens ont aussi mis en place ou prévoient adopter des normes similaires visant l'utilisation de biodiesel comme carburant pour véhicules automobiles. Aux États-Unis, des normes provisoires sur le carburant biodiesel ont été préparées et sont en cours d'évaluation à l'American Society for Testing & Materials (ASTM). Les normes proposées pour l'utilisation du biodiesel tel quel sont présentées au tableau 10 (NBB, 1997).

Des motoristes américains exercent des pressions pour la mise en œuvre de normes sur le carburant « superdiesel » parce qu'il présente un potentiel de carburant plus propre qui pourrait réduire les émissions du moteur et en améliorer l'efficacité. Certains raffineurs produisent et commercialisent peut-être un « superdiesel » plus propre, mais actuellement il n'existe aucune norme pour ce type de carburant. La National Conference on Weights and Measures (NCWM) examine la question.

Le groupe de travail mixte ASTM/NCWM sur le carburant « superdiesel » a terminé ses délibérations et a transmis ses recommandations à l'organisme responsable concernant les normes et les méthodes d'essai visant le carburant « superdiesel ». Le pouvoir lubrifiant, qui constitue le principal avantage du biodiesel dans les mélanges de « superdiesel », n'a pas été inclus dans la liste des caractéristiques mesurables des carburants « superdiesel » du groupe de travail, mais il a été répertorié comme caractéristique possible si l'industrie est en mesure de mettre au point de meilleures méthodes d'analyse du pouvoir lubrifiant. Les méthodes d'essai actuelles ne sont pas assez précises pour différencier les niveaux de lubrification du carburant diesel ordinaire et du « superdiesel ».

5.1 Le biodiesel en Europe

La percée du biodiesel en Europe est surtout imputable à des programmes et à des subventions d'État. En général, des subventions sont versées aux agriculteurs, faisant ainsi chuter les prix des récoltes de graines oléagineuses devant servir de matières premières pour la production de biodiesel. De plus, afin de limiter la surproduction alimentaire, certaines terres doivent être réservées à des fins autres qu'alimentaires conformément aux directives de l'Union européenne.

Comme l'Europe présente une plus forte densité de population et des problèmes de

pollution plus criants qu'au Canada, les pays européens sont obligés d'adopter des programmes de protection de l'environnement visant à freiner la pollution et à favoriser l'emploi de sources d'énergie renouvelable. Les Pays-Bas et l'Allemagne, notamment, ont établi des objectifs de pénétration du marché des ressources énergétiques renouvelables en marge de leurs plans de réduction des émissions de gaz à effet de serre. L'Europe possède aussi un parc proportionnellement plus important de véhicules à moteur diesel, et par conséquent un potentiel de marché plus grand pour le biodiesel. De nombreux motoristes et constructeurs de véhicules européens ont fait l'essai du biodiesel et l'ont approuvé. Dans de nombreux pays européens, le prix élevé du carburant diesel et les mesures de réduction de taxes sur les carburants renouvelables dérivés de la biomasse font en sorte que l'emploi du biodiesel est devenu très attrayant sur le plan économique (Venendaal, 1997).

En France, on compte une usine pilote de production d'une capacité de 1 000 tonnes par année et cinq usines industrielles d'estérification, présentement en exploitation commerciale, ayant une capacité totale de 240 000 tonnes par année d'ester méthylique de colza (RME); on y prévoit aussi une capacité additionnelle de 190 000 tonnes par année. Une étroite collaboration entre les compagnies pétrolières et le secteur de l'agriculture a permis de mettre en place une structure institutionnelle pour la production et l'approvisionnement d'un mélange de diesel (5 % par volume de biodiesel dans le carburant diesel – B5). Une des mesures incitatives adoptées en France pour la production à si grande échelle d'ester méthylique de colza a été d'éliminer les taxes pour les usines pilotes et les projets expérimentaux sur les esters méthyliques employés comme biocarburants dans les moteurs et les chaudières.

En Allemagne, la première usine expérimentale de biodiesel ayant une capacité de 1 000 litres par jour a été construite en 1991 à Leer. En 1995, on a construit une usine commerciale d'une capacité de 60 000 tonnes par année au même endroit. La capacité actuelle de transestérification en Allemagne est de 265 000 tonnes par année. On prévoit construire trois autres usines d'une capacité annuelle totale d'environ 160 000 tonnes. Les résultats concluants d'expériences menées antérieurement avec le RME dans les moteurs diesel ordinaires ont permis d'étendre l'utilisation de biodiesel partout en Allemagne. Par exemple, les taxis de Freiburg et de Berlin fonctionnent au biodiesel (RME), tandis que depuis le mois d'août 1995, tous les nouveaux modèles de véhicules Volkswagen à moteur diesel sont adaptés pour fonctionner au biodiesel (RME). À peu près à la même période, environ 350 stations-service allemandes offraient du carburant biodiesel (RME).

Tableau 9. Norme DIN V 51606 sur le biodiesel (Allemagne)

Propriétés	Unités	Méthodes d'essai	Limite minimale	Limite maximale
Masse volumique à 15 °C	g/ml	ISO 3675	0,875	0,900
Viscosité cinématique à 4 °C	mm ² /s	ISO 3104	3,5	5,0

Point d'éclair (Pensky-Martens)	°C	ISO 2719	100	
Température limite de filtrabilité 15 avr. - 30 sept. 1 oct. - 15 nov. 16 nov. – 28 fév. 1 mars – 14 avr.	°C	DIN EN 116		0 -10 -20 -10
Teneur en soufre	% en masse	ISO 4260		0,01
Résidu de carbone (10 %, distillation)	% en masse	ISO 10370		0,30
Indice de cétane		ISO 5165		49
Cendres	% en masse	ISO 6245		0,01
Eau	mg/kg	ASTM D 1744		300
Impuretés totales	mg/kg	DIN 51419		20
Corrosion sur lame de cuivre (3 h à 50 °C)				1
Indice de neutralisation	mg/KOH			0,5
Méthanol	% en masse	À convenir		0,3
Monoglycérides	% en masse	À convenir		0,8
Diglycérides				0,1
Triglycérides				0,1
Glycérol libre				0,02
Glycérol total				0,25
Indice d'iode	g d'iode/100 g	DIN 53241 Partie I		115
Phosphore	mg/kg	À convenir		10

L'Autriche produit commercialement du biodiesel à partir d'huile de colza et d'huile de tournesol. La capacité totale en place de production de biodiesel est de 35 000 tonnes par année. Vers la fin de 1995, le prix du biodiesel était presque au même niveau que celui du carburant diesel ordinaire. En Autriche, l'exonération de taxation sur le biodiesel tel quel est d'environ 95 %. L'Autriche a éprouvé des problèmes avec l'ester méthylique de tournesol. Initialement, en raison de la teneur élevée en iode de l'huile de tournesol, les motoristes n'ont pas approuvé son ester comme produit de remplacement du carburant diesel car il pouvait causer des dépôts de carbone dans le moteur et faire polymériser l'huile moteur. On a donc mis au point des huiles de tournesol présentant un indice d'iode inférieur. Toutefois, leur teneur élevée en acides gras saturés et leur teneur en paraffine offraient de moins bonnes propriétés d'écoulement par temps froid comparativement à l'ester méthylique de colza (RME) et le carburant diesel ordinaire. On a donc proposé que le biodiesel produit à partir d'huile

de tournesol soit employé comme carburant de véhicules dans les pays du sud de l'Europe au climat plus doux.

La production industrielle de biodiesel à partir de colza et de tournesol est aussi courante en Italie. La capacité actuelle totale de production de biodiesel en Italie est d'environ 1,1 million de tonnes par année. Pour 1994-1995, on a signalé une production totale de 76 500 tonnes d'ester méthylique. L'écart important entre la capacité de production actuelle et la production réelle a été imputable au coût de production élevé et à l'incertitude quant à la politique du gouvernement sur l'exonération de taxes. L'Italie fonctionne avec un système de quota qui limite la quantité annuelle de biodiesel produit aux fins de l'exonération de taxes.

Le biodiesel présente aussi un certain intérêt en Irlande, au Danemark, en Belgique et en Angleterre. Toutefois, son utilisation n'y est pas encore généralisée, en raison soit d'une insuffisance de matières premières, soit d'un coût de production plus élevé.

5.2 Le biodiesel aux États-Unis

Présentement, de nombreuses sociétés américaines produisent du biodiesel. Certaines sont bien connues, notamment NOPEC Corporation, Twin Rivers Technologies, Agricultural Environmental Products, Columbia Foods et Pacific Biodiesel. Le prix du biodiesel est actuellement de deux à trois fois plus élevé que celui du carburant diesel ordinaire. Aux États-Unis, on estime à 50 000 tonnes par année la production actuelle de biodiesel (NBB, 1997). Des normes sur le carburant biodiesel sont en cours de préparation sous l'égide de l'American Society for Testing and Materials (ASTM). Les motoristes et les constructeurs de véhicules n'ont pas encore approuvé l'emploi du biodiesel dans leurs produits.

Tableau 10. Normes proposées sur le biodiesel* (biodiesel pur), juillet 1996

Propriété	Méthode de l'ASTM	Limites	Unités
Point d'éclair	93	100,0 min.	°C
Eau et sédiments	1796	0,050 max.	% en volume
Résidu de carbone, échantillon pur	4530**	0,050 max.	% en masse
Cendres sulfatées	874	0,020 max.	% en masse
Viscosité cinématique, 40 °C	445	1,9 à 6,5	mm ² /s
Soufre	2622	0,05 max.	% en masse
Cétane	613	40 min.	
Point de trouble	2500	Selon client	°C
Corrosion sur lame de cuivre	130	N° 3b max.	
Indice d'acide	664	0,80 max.	mg KOH/g
Glycérine libre	GC***	0,20 max.	% en masse
Glycérine totale	GC***	0,240 max.	% en masse

* Cette norme est en cours d'évaluation à l'ASTM. Les Américains possèdent une expérience considérable avec les mélanges de carburant contenant 20 % de biodiesel et 80 % de diesel. Même si le biodiesel peut être employé tel quel, l'emploi de mélanges contenant plus de 20 % de biodiesel doit être évalué de façon ponctuelle, jusqu'à ce qu'on dispose d'autres résultats découlant d'expériences complémentaires.

** Ou méthode d'essai équivalente de l'ASTM.

*** Mise à jour autrichienne (Christiana Planc) de la méthode d'essai de l'USDA.

Le National Biodiesel Board (NBB) aux États-Unis a été créé en 1992 par des agriculteurs qui y ont investi temps et argent. Au cours des 5 dernières années, le biodiesel est passé d'un carburant expérimental à une source énergétique de remplacement légitimement reconnue. Présentement, le biodiesel n'est pas exonéré des taxes sur les carburants dans la plupart des États et localités. Les efforts que mène le NBB dans cette voie sont décrits à la section 6 du présent rapport.

Les programmes de démonstration du biodiesel aux États-Unis ont normalement mis l'accent sur les marchés offrant la meilleure chance de choisir le biodiesel malgré son prix plus élevé. Ces marchés favorisent les qualités du biodiesel telles que sa nature biodégradable, sa non-toxicité, son faible taux d'émissions et ses avantages généraux sur le plan écologique. Par exemple, une étude qu'a menée l'Université de l'Idaho a montré que le biodiesel se dégradait jusqu'à quatre fois plus rapidement que le diesel ordinaire et que la biodégradation d'un mélange à parts égales (diesel-biodiesel) prenait trois fois moins de temps que celle du carburant diesel. Le projet de camion fonctionnant entièrement au biodiesel, mené dans le parc national de Yellowstone, constitue un autre exemple de l'utilisation avantageuse d'un carburant biodégradable comme le biodiesel dans un environnement non pollué (Peterson, 1996).

Selon des sondages du NBB, en 1992, 98 % des exploitants de systèmes de transport en commun n'avaient jamais entendu parler du biodiesel. En 1994, les gestionnaires de systèmes de transport classaient le biodiesel au second rang, après le gaz naturel comprimé, à titre de carburant de remplacement préféré. Plus récemment, une étude du Energy Resources Center menée en 1996 à l'Université de l'Illinois, à Chicago, a montré que 45 % des gestionnaires de parcs de véhicules dans la région de Chicago pourraient envisager l'utilisation de biodiesel malgré son prix élevé, simplement parce qu'il serait ainsi facile de passer à un carburant de remplacement.

Le NBB prétend que plus de 100 démonstrations ont été effectuées à l'aide de milliers de véhicules fonctionnant avec des mélanges de biodiesel et sur plus de 10 millions de milles sur la route. Des essais de longévité, y compris trois essais sur un million de milles chacun et trente essais sur 50 000 milles chacun, montrent que le carburant offre un rendement similaire à celui du carburant diesel, sans effets néfastes sur les moteurs. Une fois qu'on abaissera le prix du biodiesel pour en favoriser une plus grande utilisation, des démonstrations de ce genre permettront de dissiper les craintes insinuant que le biodiesel est un nouveau carburant ou qu'il n'a pas fait ses preuves. Entre-temps, les travaux se poursuivent en vue d'élargir les marchés à créneaux.

Jusqu'à maintenant aux États-Unis, on a accordé plus d'attention au marché du transport urbain parce qu'il s'agit du premier secteur principal de marché du diesel qui

est réglementé en vertu des modifications de 1990 de la *Clean Air Act* (É.-U.). Le NBB estime qu'environ 80 % des 58 000 autobus de transport en commun exploités à l'échelle du pays (consommation supérieure à 2 milliards de litres de diesel par année) sont assujettis à cette réglementation touchant la réduction des émissions de particules et que le biodiesel pourrait y jouer un rôle important.

Les véhicules du parc du gouvernement réglementés en vertu de l'*Energy Policy Act* de 1992 (EPACT) consomment près de 3,8 milliards de litres de diesel par année. Le NBB prévoit que les ventes de biodiesel pourraient augmenter substantiellement si l'on approuvait l'utilisation de carburant diesel contenant 20 % de biodiesel (B20) dans le cadre de l'EPACT.

Environ un million d'embarcations de plaisance à moteur diesel consomment chaque année environ 380 millions de litres de carburant diesel. Le diesel est aussi employé dans d'autres bâtiments maritimes, y compris les navires commerciaux océaniques, les navires de recherche et la flotte de bâtiments de l'U.S. Coast Guard. Le NBB estime la quantité de biodiesel qui pourrait être employée dans ce marché potentiel à environ 10 millions de litres par année.

Dans les mines souterraines, il faut réglementer les émissions dangereuses. Le biodiesel génère moins de particules que les mineurs pourraient inhaler. De plus, en raison du point d'éclair élevé du biodiesel, le milieu dans lequel travaillent les mineurs est plus sûr. La consommation annuelle de carburant diesel dans des applications minières dépasse les 750 millions de litres. Le NBB estime la quantité maximale de biodiesel qui pourrait être employée dans ce marché à 6 millions de litres par année.

Aux États-Unis, les soi-disant marchés à créneaux de biodiesel utilisent présentement de très grandes quantités de carburant diesel. La pénétration de ces marchés permettrait d'accroître considérablement l'emploi du biodiesel. Qu'il s'agisse de réduire les émissions des véhicules ou de limiter l'impact global sur l'environnement et la dépendance vis-à-vis des carburants classiques d'origine étrangère, la réglementation mise de l'avant par les gouvernements en Europe a fait la différence dans les programmes européens axés sur le biodiesel. Aux États-Unis, une réduction des taxes sur les carburants et d'autres règlements du gouvernement pourraient très certainement jouer un rôle essentiel dans la promotion de l'emploi du biodiesel.

Le Department of Energy (DOE) américain a versé plus de 1,7 million de dollars en subventions dans des projets sur le biodiesel définis par le NBB ou directement applicables au programme de commercialisation du NBB. Parmi les projets financés par le DOE, on peut mentionner les suivants : Analyse des effets sur la santé (*Health Effects Testing*) (plus de 350 000 \$), Soutien à la norme de l'ASTM (*ASTM Specification Support*) (100 000 \$) et Analyse du cycle de vie (*Life Cycle Analysis*) (500 000 \$).

Les programmes de recherche et de commercialisation du biodiesel aux États-Unis sont mis en œuvre avec le soutien et la collaboration de l'USDA, du DOE, du DOT et de l'EPA. Par exemple, le financement par l'USDA d'études sur les additifs et

l'amélioration de la production de biodiesel, études se déroulant dans les laboratoires de l'organisme à Peoria et à Philadelphie; l'établissement au DOE d'un service distinct pour le biodiesel et le programme entièrement financé par son bureau des technologies des transports (Office of Transportation Technologies); les programmes du NREL et les programmes régionaux d'énergie tirée de la biomasse; ainsi que l'approbation par l'EPA de trousseaux de modification/refonte pour le B20 afin de se conformer aux exigences de la CAA (Clean Air Act).

Le programme de biodiesel du NREL pour 1998 visait à mettre au point un carburant de remplacement du diesel pouvant concurrencer celui-ci en matière d'efficacité et de prix. Le NREL entend soutenir l'industrie existante du biodiesel pour qu'elle puisse obtenir sa part du marché et devienne une industrie viable à long terme tout en se consacrant à la R et D en vue de réduire les coûts du biodiesel.

Dans le passé, le NBB a joué un rôle important dans le développement de marchés afin de bien positionner le biodiesel sur le marché de l'énergie. En 1997, le rôle et la démarche du NBB ont substantiellement changé. Maintenant, son objectif n'est plus de développer des marchés, mais de les négocier. Le NBB a constaté que les sociétés pétrolières sont en bien meilleure position pour commercialiser les carburants. Elles sont bien établies et connaissent bien leur secteur d'activités et leurs clients. Le NBB a maintenant adopté une stratégie pour établir des contacts, instruire les chefs du développement de produits et promouvoir les avantages du biodiesel, etc., de manière à vendre le concept du biodiesel aux institutions spécialisées dans le commerce des carburants et des additifs plutôt que de tenter de commercialiser directement le biodiesel.

Les États-Unis soutiennent aussi la recherche et le développement touchant l'utilisation de la biomasse et de carburants de remplacement visant à réduire les émissions de gaz à effet de serre. Le 22 octobre 1997, le Président des États-Unis a annoncé un ensemble de mesures incitatives de R et D et des réductions de taxes destinées à stimuler le développement de nouvelles formes d'énergie de remplacement et d'énergie renouvelable. En décembre 1997, les États-Unis se sont ralliés à tous les autres membres de la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques en adoptant le Protocole de Kyoto (les États-Unis n'ont pas ratifié le Protocole) qui prévoit pour les États-Unis, entre 2008 et 2012, une réduction de 7 % du niveau des émissions par rapport au niveau de 1990. On prévoit cet hiver que l'Administration annoncera d'autres mesures visant à stimuler la R et D dans le secteur des carburants de remplacement.

L'énoncé suivant qu'a fait le DOT le 24 avril 1997 dans le Federal Register à propos du biodiesel indique clairement l'intérêt grandissant pour ce carburant : « Le biodiesel favorise la qualité de l'environnement, accroît la sécurité énergétique nationale, génère des possibilités de développement économique et augmente la vente de produits agricoles intérieurs. »

5.3 Le biodiesel au Canada

Il n'y a présentement au Canada aucune production commerciale de biodiesel. Les petites quantités de biodiesel utilisées aux fins des projets de recherche et de démonstration sont produites dans une usine pilote à Saskatoon. L'usine pilote du CANMET située au Laboratoire de recherche énergétique du Canada à Ottawa a produit du « supercétane » pour des essais à petite échelle. Actuellement au Canada, il n'existe pas de normes sur les carburants biodiesel, et les motoristes et les constructeurs de véhicules n'acceptent pas l'utilisation de biodiesel dans leurs produits.

Agriculture et Agroalimentaire Canada a évalué des huiles végétales et leurs esters comme additifs et carburants de remplacement du diesel dans le cadre du Programme énergétique national au début des années 80 (Stumborg, 1996). Trois études distinctes ont été menées afin de déterminer les méthodes, la complexité et les coûts de production d'esters de canola. Des méthodes normalisées ont servi à produire des esters méthyliques, éthyliques et isopropyliques de canola. Pour une production efficace d'esters méthyliques, il a fallu employer 0,5 % en masse d'hydroxyde de sodium comme catalyseur, tandis que pour les esters éthyliques et isopropyliques, il a fallu employer entre 1,5 et 5,0 % en masse d'acide sulfurique comme catalyseur. Dans tous les cas, la concentration d'alcool a été maintenue à environ 5 fois le niveau stœchiométrique requis car des concentrations plus faibles ne permettaient pas de produire un rendement satisfaisant en ester. D'après des calculs économiques, basés sur une usine ayant une capacité de traitement de 270 000 litres d'huile par année pour produire de l'ester de canola, la production de l'ester augmenterait le coût de la matière première d'environ 0,38 \$CAN le litre. Le prix du biodiesel serait donc beaucoup plus élevé que le prix du gros du diesel (environ 0,25 \$CAN le litre).

Dans une seconde étude (Nye et Southwell, 1983), on a tenté de simplifier le procédé d'estérification et de réduire les coûts. La recette optimale pour produire de l'ester méthylique ou éthylique comprenait les « ingrédients suivants » : 1,0 % en masse d'hydroxyde de sodium, 200 % d'alcool excédentaire, une température de réaction de 24 °C, une agitation mécanique et une période de réaction d'une heure. Des essais au banc à grande échelle ont permis d'obtenir un rendement théorique en ester de 85 %.

Lawson et Thurston (1986) ont mandaté en sous-traitance la société Croda (Leek) Ltd., en Angleterre, pour créer un monoester éthylique de canola en vue d'essais dans des moteurs. En utilisant un mélange de 77,2 % en poids de graines de canola séchées, de 20,7 % en poids d'éthanol et de 2,1 % en poids de méthylate de sodium, on est parvenu à transformer 94 % de l'huile de canola en ECM. Les produits obtenus à terme ont été 80,3 % d'ECM, 5,5 % de distillat d'éthanol et 14,2% de glycérine en poids. Les données économiques de la production n'ont pas été évaluées.

En 1994, Agriculture et Agroalimentaire Canada et la Canola Development Commission de la Saskatchewan ont examiné la faisabilité du biodiesel et analysé un certain nombre d'industries et de marchés canadiens utilisant présentement du carburant diesel et qui pourraient faire usage du biodiesel dans un avenir rapproché (Blondeau, 1996). Les marchés examinés comprenaient notamment : le secteur des mines, le transport urbain, le secteur maritime, les parcs nationaux, les stations de ski,

le secteur des forêts, l'exploration pétrolière et les parcs de véhicules gouvernementaux. L'examen a révélé que le Canada offrait de nombreuses possibilités de marchés pour le biodiesel. Toutefois, il convient de solutionner plusieurs problèmes existants avant de pouvoir faire appel au biodiesel dans ces secteurs. Ces problèmes comprennent entre autres : le prix élevé du biodiesel par rapport à celui du carburant diesel ordinaire; la désapprobation des motoristes et des constructeurs de véhicules quant à l'emploi du biodiesel; l'efficacité et la qualité du biodiesel; la disponibilité de ce produit.

L'industrie minière, en particulier dans le cas des mines souterraines où les travailleurs sont exposés à des niveaux élevés d'émissions du diesel, pourrait avantageusement tirer parti du biodiesel. Les sociétés de transport urbain dans les grandes villes pourraient aussi profiter des avantages du biodiesel sur le plan de la réduction des émissions de particules et de substances toxiques. L'emploi du biodiesel dans le secteur maritime pourrait aussi être avantageux en raison de sa biodégradabilité élevée et des effets potentiellement dommageables des déversements de diesel. Les parcs nationaux et les centres de ski constituent des zones écologiquement sensibles. Le biodiesel pourrait réduire les effets défavorables des émissions et des déversements de diesel sur la faune dans ces zones.

Selon l'expérience américaine, le prix du biodiesel au Canada sera de deux à trois fois plus élevé que celui du carburant diesel ordinaire. Sans mesures d'exonération de taxes ou de règlements gouvernementaux, aucune industrie ne sera disposée à payer le carburant à un prix substantiellement plus élevé. Le tableau 11 présente la réaction des divers secteurs industriels quant au prix du biodiesel (Blondeau *et al.*, 1996).

Tableau 11. Résumé des résultats du sondage sur le biodiesel pour ce qui touche le mélange et le prix

	Prix du biodiesel que les répondants sont disposés à payer	% mélange
Mines	5 % de plus que le prix du diesel	20 %
Exploration pétrolière	5 à 10 % de plus que le prix du diesel	20 %
Secteur maritime	10 % de plus que le prix du diesel	100 %
Ski	10 % de plus que le prix du diesel	100 %
Transports	S.O.	20 %
Secteur des forêts	10 % de plus que le prix du diesel	20 %
Parcs	S.O.	100 %

Dans la plupart des secteurs industriels, les coûts initiaux du matériel sont très élevés. Par conséquent, les sociétés ne sont pas disposées à expérimenter un nouveau

carburant ou de nouveaux additifs à moins que les motoristes et les constructeurs de véhicules consentent à offrir une garantie contre les dommages qui pourraient en résulter.

Même si l'on sait généralement que le biodiesel et que les mélanges de biodiesel réduisent certaines émissions et retardent l'usure des moteurs, on ne connaît pas les avantages réels qu'ils peuvent avoir sur l'usure et les émissions de moteurs de types particuliers. Il est important pour toute industrie de connaître les avantages précis d'un nouveau carburant avant de l'adopter. L'équivalence de puissance par rapport à celle qu'offre le carburant diesel est aussi un point important à considérer dans de nombreuses applications. De nombreuses industries doutent aussi de la qualité uniforme et de la disponibilité du biodiesel. Comme de nombreuses sociétés sont exploitées dans des régions éloignées ou changent souvent de lieu, il leur importe de disposer d'un système de distribution fiable.

Des essais menés récemment à l'Université de la Saskatchewan, à Saskatoon, à l'aide d'ester méthylique et d'un sous-produit de l'huile de canola à faible concentration (1 à 2 %), mélangés à du carburant diesel, ont montré une diminution prononcée de l'usure du moteur et une réduction de la consommation à basse température (Hertz, 1997). Ces résultats sont encourageants pour ce qui concerne les problèmes de faible pouvoir lubrifiant du diesel à faible teneur en soufre et du diesel hydrotraité, en particulier pendant les mois d'hiver au Canada.

6. RÉGLEMENTATION ET NORMES SUR LE CARBURANT

De nombreuses questions relatives à la réglementation émanant du gouvernement et aux normes sur le carburant ont des conséquences sur l'utilisation du biodiesel en tant que carburant pour véhicules, soit tel quel, soit comme élément d'un mélange de carburant diesel. La plupart de ces questions touchent les États-Unis, mais quelques-unes concernent le Canada.

6.1 Initiatives américaines en matière de biodiesel

6.1.1 Règlement sur la notion « essentiellement similaire »

L'article 211(f) de la loi américaine Clean Air Act (CAA) interdit la mise en marché de tout carburant ou de tout additif pour carburant, sauf s'il est « essentiellement similaire » - [la loi dit « substantially similar » (ou « sub sim »)] - au carburant employé pour certifier les émissions d'un véhicule ou pour lequel on a accordé une dérogation à l'exigence en vertu de l'alinéa 211(f)(4). Le règlement avait d'abord été adopté pour l'essence. En 1991, l'EPA a publié un préavis de projet de règlement [Advance Notice of Proposed Rule Making (ANPRM)] sur la définition d'essentiellement similaire (« sub sim ») au carburant diesel. Cette définition a suscité certains commentaires. Ces commentaires, dont ceux de l'American Petroleum Institute (API), ont encouragé l'EPA à élaborer une définition assez large pour englober l'oxygène et la teneur en additif. L'avis final de projet de règlement [Notice of Proposed Rule Making (NPRM)] sur la notion de carburant « essentiellement similaire » (« sub sim ») au diesel a été retardé

et n'a pas encore été publié.

Entre-temps, en vertu de l'alinéa 211 (b)(2) de la loi, l'EPA a publié le 1^{er} juin 1993 une règle finale exigeant d'inclure les effets sur la santé et les données sur les autres émissions en marge de l'enregistrement obligatoire d'un additif de carburant et d'un carburant. De plus, pour que le biodiesel puisse continuer à être vendu légalement aux États-Unis, il doit faire l'objet d'essais conformément aux dispositions de l'alinéa 211(b) de la CAA. Le National Biodiesel Board (NBB) a défini les exigences, élaboré des protocoles d'essai et exécuté le programme pour le compte de l'industrie du soja.

Grâce à une aide financière du Department of Energy (DOE), le NBB a investi plus de 2,5 millions de dollars dans un programme d'essais visant les normes I et II. En fonction des négociations entre le NBB et l'EPA, le délai de soumission des résultats des essais visant la norme I et de signature d'un contrat relatif à l'analyse obligatoire des effets sur la santé de la norme II a été prolongé jusqu'au 17 mars 1998.

Le NBB prévoit transmettre à l'EPA une pétition afin d'obtenir une dérogation pour le biodiesel en vertu du règlement sur la notion « essentiellement similaire ». On croit que l'application ne liera pas le biodiesel à une matière première ou à une méthode de traitement en particulier. La dérogation aux exigences d'essais complets de la règle « essentiellement similaire » pourrait permettre à l'industrie du biodiesel d'économiser des centaines de milliers de dollars imputables aux coûts des essais complémentaires et ainsi accélérer de plus d'un an l'approbation par l'EPA des carburants à mélange de biodiesel.

6.1.2 Energy Policy Act (EPACT) (Loi américaine sur la politique énergétique)

Les États-Unis ont adopté l'Energy Policy Act en 1992. Cette loi est administrée par le Department of Energy. L'objectif principal de l'EPACT est de réduire de 30 % la dépendance des États-Unis vis-à-vis du pétrole importé avant l'année 2010. La réglementation vise à accroître l'autosuffisance des États-Unis en énergie par la promotion de carburants de remplacement et de véhicules fonctionnant avec ces types de carburants en vue de remplacer progressivement l'utilisation du pétrole importé. En vertu de l'EPACT, les véhicules fonctionnant avec des carburants de remplacement doivent, au plus tard en l'an 2000, représenter 75 % de tous les nouveaux véhicules que le gouvernement achète pour son parc, et 90 % de tous les nouveaux véhicules qu'achètent les sociétés qui produisent les carburants de remplacement. En marge du programme « Clean Cities », aussi créé en vertu de l'EPACT, plus de 40 grandes villes américaines ont volontairement accepté d'élargir l'utilisation de véhicules consommant des carburants de remplacement.

La version initiale de l'EPACT ne mentionnait pas le biodiesel comme tel à titre de carburant de remplacement. Toutefois, on a subséquemment ajouté le biodiesel tel quel comme option acceptable satisfaisant aux dispositions du règlement. En octobre 1997, le DOE a annoncé qu'il mettait en branle le processus d'établissement de règles afin d'inclure le B20 comme carburant de remplacement approuvé en vertu de l'EPACT.

Le marché des carburants de remplacement aux États-Unis est essentiellement réglementé par l'EPACT. Jusqu'à maintenant, aucun des constructeurs de matériel (OEM) n'inclut le biodiesel sur sa liste de carburants de remplacement. Les utilisateurs éventuels de B20 ont indiqué qu'ils utiliseraient le B20 si ce carburant était déclaré comme carburant de remplacement et que des véhicules étaient approuvés pour son utilisation (NBB, 1997). Par conséquent, la solution à la situation qui semble sans issue est la suivante : obtenir pour le B20 la désignation de carburant de remplacement de manière à créer une demande pour des véhicules fonctionnant au B20 et afin de satisfaire aux exigences de rentabilisation des constructeurs de matériel (OEM). Le NBB se penche présentement sur la question.

6.1.3 Normes relatives à la modernisation des autobus urbains

Depuis 1995, l'EPA a imposé de nouvelles exigences sur les émissions des gros moteurs diesel remis à neuf (modèles de 1993 ou antérieurs) montés dans les autobus urbains des villes comptant plus de 750 000 habitants afin de réduire les émissions de particules. Les exploitants de parcs d'autobus peuvent se conformer à ces normes de deux façons :

Option 1 :

Tout véhicule doit satisfaire à la norme d'émission de particules (part.) de 0,05 à 0,10 g/hp-h (selon le moteur) au moment de la remise à neuf du moteur, sans augmentation des émissions de HC, de CO, ou de NOx. Pour ce faire, on peut faire appel à la technologie du post-traitement des effluents gazeux pour autant que le coût de l'équipement ne dépasse pas 7 940 \$US. Si cela est impossible, l'exploitant serait tenu d'utiliser un équipement modernisé permettant de réduire de 25 % les émissions de particules et à un coût maximal de 2 000 \$US.

Option 2 :

Un exploitant de parc peut établir des exigences d'émissions annuelles pour l'ensemble de son parc d'autobus de façon que la réduction totale des émissions de l'ensemble de ses véhicules corresponde à celle prévue dans l'option 1.

En juin 1995, Twin Rivers Technologies Inc. a présenté à l'EPA une trousse de certification pour le biodiesel, laquelle fait appel à l'utilisation du B20, à des modifications au calage de la distribution et à l'emploi d'un convertisseur catalytique. Le 15 décembre 1995, l'EPA a publié un avis d'intention pour homologuer la trousse de Twin Rivers sur le biodiesel dans le Federal Register. La période de présentation de commentaires a pris fin le 28 janvier 1996. Le NBB a présenté à l'EPA des commentaires exhaustifs pour appuyer la trousse sur le biodiesel comme moyen technologique de modernisation/remise à neuf. L'approbation finale de la trousse de modernisation/remise à neuf de Twin Rivers a été accordée le 22 octobre 1997.

Le 20 novembre 1997, l'EPA a publié un avis d'intention pour homologuer une trousse pour le biodiesel destinée aux moteurs à deux temps de Detroit Diesel des années 1979 à 1993. La période de présentation de commentaires a pris fin le 5 janvier 1998.

6.1.4 Programme Corporate Average Fuel Economy (CAFE)

La National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA) de l'U.S. Department of Transport (DOT) administre le programme CAFE. Ce programme établit des niveaux moyens de consommation de carburant que doivent respecter les principaux constructeurs pour tous leurs nouveaux véhicules de parc. Les constructeurs dont les véhicules ne satisfont pas aux normes CAFE sont passibles de fortes amendes imposées par le DOT. L'Alternative Motor Fuels Act de 1988 a modifié le programme de normes CAFE afin d'offrir des subventions complémentaires aux constructeurs de véhicules automobiles aux fins des calculs des normes CAFE, si ces constructeurs fabriquent et vendent des véhicules consommant des carburants de remplacement.

En mai 1995, le NBB a déposé une pétition auprès de la NHTSA en vue d'inclure le biodiesel et les carburants à mélange de biodiesel dans le programme CAFE. L'inclusion du biodiesel dans ce programme offrirait aux constructeurs de matériel (OEM) un moyen de rentabiliser l'utilisation de ces types de carburant dans leurs produits. En avril 1997, le Department of Transport (DOT) s'est engagé à mettre en œuvre un processus d'établissement de règles pour inclure le biodiesel et les carburants à mélange de biodiesel dans le programme de normes CAFE (NBB, 1997). La NHTSA attend le dépôt du projet de règle du DOE sur le B20 avant de débattre la question.

6.1.5 Qualité du carburant diesel et normes de l'ASTM

La Californie a réglementé la teneur en soufre du carburant diesel; celle-ci ne doit pas dépasser 0,05 % en poids. Quant à la teneur en aromates de ce carburant, elle ne doit pas dépasser 10 % en volume dans le cas des grandes raffineries (production quotidienne de 50 000 barils ou plus) et 20 % en volume dans le cas des petites raffineries. En octobre 1993, l'EPA a aussi rendu obligatoire une teneur en soufre de 0,05 % en poids pour tous les carburants diesel pour véhicules routiers vendus aux États-Unis. Peu après l'entrée en vigueur de ce règlement, de nombreuses plaintes ont été formulées au sujet de la défaillance des joints toriques des injecteurs et des pompes à carburant diesel, ainsi que du frottement dans la pompe d'injection rotative découlant de la mauvaise lubrification imputable au diesel à faible teneur en soufre.

Le Sub-Committee E-2 on Burner, Diesel, Gas Turbine Fuels de l'American Society for Testing & Materials (ASTM) a conclu que le diesel à faible teneur en soufre pouvait être responsable des pannes de l'équipement en raison de son faible pouvoir lubrifiant. On a demandé à l'industrie de prendre des mesures volontaires, par l'ajout d'additifs ou d'autres moyens, de ramener le pouvoir lubrifiant du diesel à ses niveaux d'avant octobre 1993. Pour le moment, la norme D 9753 de l'ASTM sur les carburants diesels ne contient aucune exigence sur le pouvoir lubrifiant. La Society of Automotive Engineers (SAE) élabore présentement une méthode d'essai du pouvoir lubrifiant.

Le Subcommittee E-2 connaît bien le rôle éventuel que pourrait jouer le biodiesel en tant que composant du carburant diesel ordinaire ou comme carburant de

remplacement de ce dernier. Un groupe de travail a été mis sur pied au milieu de 1993 afin d'élaborer une norme de l'ASTM et de nouvelles méthodes d'essai du biodiesel dans chacune de ces utilisations. Plusieurs membres du groupe ont manifesté un intérêt au sujet de l'éventualité d'améliorer le pouvoir lubrifiant et la compatibilité des matières associées à l'utilisation du biodiesel dans le carburant diesel. Des normes provisoires relatives au biodiesel ont été rédigées et sont en cours d'évaluation à l'ASTM (voir le tableau 10).

6.1.6 Le programme Clean Fuel Fleet

Le programme *Clean Fuel Fleet*, créé en vertu de la CAA de 1990, a été mis en œuvre dans les 22 régions des États-Unis où la qualité de l'air est la moins bonne. Le programme administré par l'EPA vise à accélérer la mise en service de véhicules à faibles émissions fonctionnant avec des carburants propres.

Le programme *Clean Fuel Fleet*, qui devait entrer en vigueur en 1998, oblige certains parcs de véhicules fédéraux, des États et des localités à utiliser des carburants de remplacement dits « propres ». La liste initialement publiée des carburants ainsi désignés comprenait le gaz naturel, le gaz de pétrole liquéfié (propane), les alcools comme l'éthanol et le méthanol, l'électricité, ainsi que l'essence et le carburant diesel dont la composition a été modifiée, mais ne comprenait pas le biodiesel. Ce dernier a été ajouté à la liste ultérieurement. On prévoit que des efforts seront bientôt faits pour inclure le B20 dans le programme.

6.1.7 Efforts interorganismes pour la réduction des gaz à effet de serre

L'administration Clinton a commencé à prendre des mesures en vue de proposer une politique fédérale pour limiter les émissions de gaz à effet de serre, en particulier dans le secteur des transports, la principale source de ces émissions. Ce fut là un enjeu important pour le Vice-Président Al Gore et qui pourrait avoir des conséquences positives sur les efforts que font les États-Unis pour mettre en œuvre un programme sur le biodiesel. Le Plan d'action du Président Clinton portant sur les changements climatiques comprend un programme de réduction volontaire des émissions de gaz à effet de serre désigné sous l'appellation « *Climate-Wise* ».

Dans son ensemble, le plan vise à encourager la mise en œuvre volontaire de diverses mesures de réduction des émissions de gaz à effet de serre, notamment par l'emploi de « ressources renouvelables et de technologies à haut rendement énergétique », « de mesures améliorant l'efficacité des procédés industriels », et de « programmes de transport novateurs permettant de diminuer le recours aux combustibles fossiles ».

D'autres programmes en cours ou prévus dans le cadre du Programme de l'Administration sur les changements climatiques comprennent un programme pour la commercialisation de l'énergie renouvelable à partir de la biomasse, qui devrait permettre, au plus tard en 2010, de réduire les coûts énergétiques de 0,9 milliard de

dollars et de réduire les émissions d'équivalent CO₂ de 8,9 mégatonnes. De plus, plusieurs programmes volontaires destinés à réduire les émissions des véhicules pourraient déboucher sur de nouveaux marchés pour le biodiesel.

6.1.8 Taxes sur le biodiesel

L'Internal Revenue Service (IRS) impose sur le carburant diesel pour véhicules routiers une taxe dont le taux est de 0,244 \$ le gallon. Des exemptions sont prévues pour d'autres utilisations du diesel. Comme dans le cas de l'essence, le carburant diesel pour véhicules routiers est aussi admissible à une réduction du taux de la taxe d'accises s'il est mélangé à au moins 10 % en volume d'alcool autorisé. Jusqu'à maintenant, l'IRS n'a publié aucun règlement qui permettrait un traitement similaire pour d'autres composés oxygénés, y compris les esters.

À moins que l'IRS ne revoie son règlement pour définir les esters comme étant des alcools, ou qu'il ne publie un avis de décision particulier à cet effet, les esters ne pourront faire l'objet d'un taux de taxe inférieur à celui des carburants diesel ordinaires. Dans une lettre d'avis de décision du mois de mars 1990 à l'intention de la société ARCO Chemical Co., l'IRS a interprété le crédit d'impôt de l'article 40 (54 cents le gallon d'alcool autorisé) comme étant applicable à la production d'ETBE (éther de t-butyle et d'éthyle) comme carburant. Si l'interprétation générale de l'IRS s'étendait aussi aux dispositions sur la taxe d'accises des carburants (articles 4081 et 4091), le biodiesel pourrait éventuellement faire l'objet d'une exonération ou d'un crédit d'impôt.

6.1.9 Projets de loi sur le biodiesel déposés au Sénat et à la Chambre des représentants

Le 2 septembre 1997, les sénateurs Johnson, Wellstone et Grassley ont déposé un projet de loi pour que le biodiesel et les mélanges de biodiesel dans le diesel ordinaire soient inclus dans la liste des carburants de remplacement en vertu de l'EPACT.

Le 26 septembre 1997, M. Shimkus et M^{me} McCarthy ont aussi présenté un autre projet de loi (H8025) dans le même sens à la Chambre des représentants du gouvernement des États-Unis.

On a fait valoir qu'au moment de l'adoption de l'EPACT en 1992, le biodiesel n'avait pas été inclus dans la liste des carburants de remplacement parce qu'il s'agissait d'un nouveau carburant qui n'avait pas été testé ni éprouvé. Toutefois, cela n'est plus vrai aujourd'hui. De fait, le biodiesel offre de nombreux avantages sur le plan des émissions et de l'environnement comparativement au carburant diesel ordinaire. Par conséquent, le biodiesel et les mélanges de biodiesel employés dans le diesel ordinaire devraient être reconnus comme carburants de remplacement en vertu de l'EPACT. L'annexe B décrit en détail le contenu de ces projets de lois.

6.2 Initiatives canadiennes en matière de biodiesel

6.2.1 Loi sur les carburants de remplacement

La *Loi sur les carburants de remplacement* est entrée en vigueur le 22 juin 1995 au Canada avec l'adoption du projet de loi 5-7. Cette loi renferme des objectifs stricts qui obligent les ministères et les organismes fédéraux à utiliser des véhicules fonctionnant avec des carburants de remplacement. En vertu de la Loi, il incombe au gouvernement fédéral, à ses ministères et aux sociétés d'État de respecter, pour l'acquisition de véhicules automobiles, lorsque cela est rentable et faisable, les pourcentages suivants de véhicules automobiles munis de moteurs capables de fonctionner au carburant de remplacement :

50 %, pour l'exercice commençant le 1^{er} avril 1997;

60 %, pour l'exercice commençant le 1^{er} avril 1998;

75 %, pour l'exercice commençant le 1^{er} avril 1999 et pour tous les exercices subséquents.

À compter de l'exercice commençant le 1^{er} avril 2004, lorsque cela est rentable et faisable, 75 % de tous les véhicules automobiles exploités par l'ensemble des organismes fédéraux devront fonctionner au carburant de remplacement. La Loi prévoit un cadre de référence pour la conversion d'une partie du parc de véhicules du gouvernement fédéral aux carburants de remplacement, mais un ensemble de règlements doit être édicté avant que les dispositions de la Loi soient mises en œuvre officiellement.

Les carburants de remplacement reconnus dans le Règlement (C.T. 824505) du 19 septembre 1996, relativement à cette Loi, comprennent l'éthanol, le méthanol, le propane, le gaz naturel, l'hydrogène et l'électricité. Présentement, le biodiesel ne figure pas comme tel dans la liste des carburants de remplacement.

6.2.2 Règlement sur la sécurité des véhicules automobiles

Reconnaissant que les véhicules automobiles contribuent encore fortement à la pollution de l'air, le Conseil canadien des ministres de l'Environnement (CCME) a mis sur pied le « Groupe de travail sur les véhicules et les carburants moins polluants » en novembre 1994. Le Groupe de travail a préparé des solutions et des recommandations en vue de l'élaboration de normes nationales sur les émissions des véhicules automobiles. Le 23 octobre 1995, le CCME a entériné les recommandations du Groupe de travail pour que le ministère des Transports mette à jour immédiatement le règlement sur les émissions des véhicules en vertu de la *Loi sur la sécurité des véhicules automobiles* (LSVA) et qu'il harmonise le règlement en fonction des normes fédérales américaines mises en place en vertu de la *Clean Air Act*.

Le 8 juin 1996, Transports Canada a fait publier dans la Partie 1 de la *Gazette du Canada* une proposition pour que le nouveau règlement, harmonisé aux normes américaines, entre en vigueur pour les véhicules de modèles 1998. Les normes seraient identiques aux normes 1 des États-Unis sur les gaz d'échappement. En outre, cette modification permettrait de s'assurer que les normes canadiennes sur les émissions sont continuellement harmonisées avec celles des États-Unis pour les modèles des années subséquentes.

6.2.3 Règlement sur le carburant diesel

Reconnaissant les effets nocifs du soufre contenu dans le carburant diesel, Environnement Canada a fait publier dans la Partie 1 de la *Gazette du Canada*, le 28 septembre 1996, qu'à compter du 1^{er} octobre 1997, tout le carburant diesel vendu ou utilisé au Canada pour les véhicules routiers devra contenir une faible concentration de soufre, c'est-à-dire une concentration maximale de 0,05 % en poids de soufre. Le règlement fait en sorte d'amener le niveau de concentration de soufre du carburant diesel canadien au même niveau que celui aux États-Unis.

6.2.4 Normes de l'Office des normes générales du Canada (ONGC)

De la même façon que l'ASTM le fait aux États-Unis, l'Office des normes générales du Canada (ONGC) établit les normes relatives aux carburants pour véhicules couramment employés au Canada. L'ONGC est un organisme établi par consensus dont les membres proviennent des secteurs des producteurs et des utilisateurs, ainsi que des gouvernements provinciaux et fédéral. Les normes de l'ONGC ne sont pas obligatoires, mais elles sont observées dans de nombreuses provinces et sont aussi employées dans le cadre d'importantes transactions commerciales au Canada. Pour que les motoristes, les constructeurs de véhicules et les consommateurs acceptent un nouveau carburant pour véhicules, il est essentiel que ce carburant soit conforme à une norme de l'ONGC. En général, les normes de l'ONGC s'appuient sur les normes correspondantes de l'ASTM et sont comparables à celles-ci à quelques exceptions mineures près.

Présentement, le biodiesel ne fait pas l'objet d'une norme de l'ONGC. Lorsque la norme sur le biodiesel proposée par l'ASTM sera approuvée aux États-Unis, l'élaboration d'une norme de l'ONGC ne posera pas de problème. Toutefois, il conviendrait de mettre en œuvre immédiatement le processus d'élaboration de normes canadiennes sur le biodiesel.

6.2.5 Programme relatif à la consommation moyenne de carburant de l'entreprise (CMCE)

Le programme CMCE au Canada a été lancé à la fin des années 70 pour refléter le programme CAFE mis en œuvre aux États-Unis. La *Loi sur les normes de consommation de carburant des véhicules automobiles* a été adoptée au Canada en 1981 pour faire appliquer les normes du programme CMCE; toutefois, la loi n'a pas été promulguée à ce moment-là parce que les importateurs et les constructeurs de véhicules canadiens s'engageaient sur une base volontaire à se conformer aux exigences des normes, voire à les dépasser. Le programme est administré par le Comité gouvernement-industrie sur l'énergie utilisée par les véhicules automobiles (CGIEUVA).

Contrairement au programme CAFE, le programme CMCE ne prévoit pas de mesures à l'intention des constructeurs de véhicules pour les inciter à accroître la production de

véhicules fonctionnant avec des carburants de remplacement.

6.2.6 Subventions à caractère fiscal et mesures incitatives

En 1980, le gouvernement fédéral canadien a adopté une politique énergétique nationale mettant l'accent sur la sécurité énergétique et la conservation de l'énergie. Pour favoriser l'utilisation de carburants de remplacement dans le secteur des transports, un programme de subvention a été mis sur pied par l'entremise du ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources. En vertu du programme, un montant forfaitaire était versé en guise de subvention pour l'achat ou la conversion de véhicules fonctionnant au gaz naturel ou au propane. La taxe sur les carburants applicable au gaz naturel et au propane a aussi été abaissée dans de nombreuses régions du pays.

En 1990, on a attribué le symbole Éco-logo aux mélanges éthanol-essence en marge du programme Choix environnemental. À compter du 1^{er} avril 1992, on a aussi supprimé la taxe fédérale d'accises de 8,5 cents le litre sur l'éthanol-carburant produit à partir de biomasse. Actuellement, l'éthanol et le méthanol produits à partir de biomasse profitent d'une réduction de 10 cents le litre de la taxe d'accises fédérale. Plusieurs provinces offrent aussi des réductions de taxes sur l'éthanol produit à partir de biomasse.

Actuellement, le biodiesel ne remplit aucune des conditions applicables aux subventions ou aux réductions de taxes susmentionnées. De plus, aucun puissant groupe de pression n'appuie la cause du biodiesel comme carburant de remplacement au Canada.

7. EXPÉRIENCE DE L'UTILISATION DU BIODIESEL DANS LES MOTEURS DIESEL

Afin de pouvoir débattre le rôle du biodiesel dans la réduction des émissions dangereuses des moteurs diesel, il importe de bien comprendre les sources de polluants et les divers paramètres des moteurs et des carburants qui peuvent influencer sur leur formation et leurs émissions. L'annexe A présente une description détaillée de la technologie du moteur diesel, y compris des renseignements généraux sur les types de polluants qu'il émet, les mécanismes de leur formation et les effets de divers paramètres du moteur et du carburant sur les niveaux d'émissions.

7.1 Effet sur les émissions des véhicules routiers

Au cours de la dernière décennie, l'emploi du biodiesel comme carburant dans les moteurs diesel a fait l'objet d'études approfondies en Europe et en Amérique du Nord. De nombreux chercheurs ont reconnu la capacité du biodiesel à réduire certaines émissions. Les études ont été menées en ayant recours à différents types de moteurs et de carburants. Les carburants employés ont été soit le biodiesel tel quel, soit des mélanges de biodiesel dans du carburant diesel selon différents rapports volumétriques, soit encore du biodiesel produit à partir de diverses matières premières. En raison de ces différences, les résultats obtenus ont souvent été

contrastés, parfois même contradictoires.

Par exemple, Ziejewski *et al.* (1984), Reece, *et al.* (1993), Scholl *et al.* (1993) et Schumacher *et al.* (1992,1993) ont signalé des réductions de la densité des fumées avec le biodiesel comparativement au diesel n° 2. Dans le rapport de Reece *et al.*, on a aussi noté des réductions de la densité des fumées pour un mélange de carburant contenant 20 % en volume de biodiesel et 80 % en volume de diesel. Ziejewski a employé un biodiesel produit à partir de tournesol, Reece a utilisé du biodiesel produit à partir de colza, tandis que Scholl et Schumacher ont employé un biodiesel fait à partir de soja. Dans le rapport de Srinivasan *et al.* (1991), toutefois, on a noté une augmentation de la densité des fumées dans le cas du biodiesel dérivé du « karanja ». Marshall (1993), Schumacher *et al.* (1992), Mittelbach *et al.* (1985,1988) et Scholl *et al.* (1993) ont constaté une diminution des émissions de HC et de CO. Niehaus *et al.* (1985), toutefois, ont constaté une augmentation des émissions de HC et de CO, mais une diminution des émissions de NOx.

Selon les résultats de nombreuses études menées aux États-Unis, qui portaient sur diverses concentrations de mélanges biodiesel-diesel, on a constaté que le mélange contenant 20 % en volume de biodiesel et 80 % en volume de carburant diesel (B20) était le plus efficace. Compte tenu de l'importante base de données sur les émissions mesurées en utilisant divers moteurs et divers types de carburants biodiesel, pour mieux comprendre les effets des mélanges de biodiesel sur les émissions réglementées par l'EPA, comparativement à ceux du carburant diesel, il convient d'examiner les résultats de certaines des études les plus récentes faites en utilisant du B20 comme carburant. Le tableau 12 donne un résumé des données de certaines études récentes sur des moteurs à deux temps fonctionnant avec du biodiesel. Le tableau 13 présente des données similaires dans le cas d'études faites sur des moteurs modernes à quatre temps.

Tableau 12. Résumé des émissions en conditions d'essai transitoires – gros moteurs à deux temps

Ouvrage de référence	Type de moteur	Carburant	g/bhp-h					Chang. dans les part. (en %)	Chang. dans les NOx (en %)
			NOx	Part.	CO	HC	FS		
Fosseen, 1994	6V-71N-77MUI	D-2 B20 SME	9,96	0,83	3,59	2,01	0,729	--	--
			10,2	0,81	2,73	1,43	0,73	-2,4	2,4
Manicom et al, 1993	6V-92TA-91DDEC H	D-1 B20 SME	4,23	0,197	1,51	0,72	0,079	--	--
			4,46	0,175	1,32	0,56	0,089	-11,2	5,4
Stotler, 1995	6V-92TA-87DDC	D-2 B20 SME	10,77	0,59	0,71	--	--	--	--
			11,1	0,56	0,63	--	--	-5,1	3,1
Sharp, 1994	6V-92TA-88DDEC H	D-2 B20 SME	8,52	0,2	1,6	0,6	0,116	--	--
			8,93	0,2	1,39	0,53	0,142	0	4,8
Fosseen, 1995	6V-71N-77MUI de série remis à neuf	D-2 B20 SME	11,72	0,282	3,18	0,86	0,212	--	--
			11,88	0,323	3,1	0,74	0,26	14,5	1,4
Fosseen, 1994 A	6V-92TA-81/89MUI	D-2 B20 SME	10,06	0,268	2,16	0,42	0,144	--	--
			10,5	0,26	1,81	0,36	0,171	-3,0	4,4
Prakash, 1996	6V-92TA-DDC	ARB	5,34	0,27	1,24	0,546	0,141	--	--
		Cert.	5,52	0,263	1,14	0,448	0,161	-2,6	3,4
		D	5,54	0,257	1,2	0,437	0,158	-4,8	3,7
		B20 SME B20 CME							
Prakash, 1996	6V-92TA-DDC	EPA	5,62	0,265	1,19	0,436	0,133	--	--
		Cert. D B20 CME	5,87	0,238	1,04	0,363	0,145	-10,2	4,4

Tableau 13. Résumé des émissions en conditions d'essai transitoires - moteurs à quatre temps

Ouvrage de référence	Type de moteur	Carburant	g/bhp-h					Chang. dans les part. (en %)	Chang. dans les NOx (en %)
			NOx	Part.	CO	HC	FS		
Graboski et al., 1996	DDC Series 60 91 DDECH	D-2 B20 SME	4,64	0,30	4,46	0,164	--	--	--
			4,69	0,26	4,14	0,143	--	-13,72	1,14
Stotler, 1995	Cummins L-10 87 MUI	D-2 B20 SME	5,64	0,31	2,33	0,89	--	--	--
			5,78	0,28	1,96	0,82	--	-9,4	2,5
ORTECH, 1995	Cummins N-14 87 MUI	D-2 B20 RME B20 REE	6,32	0,37	2,20	0,58	0,10	--	--
			6,52	0,31	2,12	0,47	0,106	-14,8	3,0
Sharp, 1996	Cummins B5.9	D-2 B20 SME	4,37	0,106	1,47	0,30	0,05	--	--
			4,39	0,093	1,14	0,22	0,05	-12,3	0,5
			4,31	0,10	1,24	0,23	0,06	-5,7	-1,4
Marshall, 1995	Cummins L-10-92	D-2 B20 SME	5,01	0,105	1,46	0,27	--	--	--
			5,17	0,092	1,22	0,25	--	-12,4	3,2
Starr, 1997	DDC Series 60 260 KW	D-2 B20 SME	4,76	0,222	2,77	0,072	--	--	--
			4,57	0,184	2,25	0,057	--	-17,1	-4,0

L'utilisation du biodiesel dans les moteurs diesel, soit tel quel, soit mélangé à du carburant diesel, permet de réduire les émissions de particules (part.), de monoxyde de carbone (CO) et d'hydrocarbures gazeux (HC), mais augmente les émissions d'oxydes d'azote (NOx). Dans le cas des émissions de particules, la fraction insoluble diminue tandis que la fraction soluble (FS) augmente, ce qui entraîne une réduction des émissions totales de particules.

Dans une étude pour laquelle on a utilisé de l'ester méthylique de soja, [Scholl *et al.* (1993)], on a constaté que « les conditions dans lesquelles la pression et la vitesse d'accroissement de la pression étaient les plus élevées pour une charge et un calage de la distribution donnés favorisaient une plus forte concentration de NOx ». Cependant, compte tenu de ces conditions, « il n'y avait pas d'écart notable entre l'ester méthylique de soja (SME) et le carburant diesel. Cela tend à démontrer que les écarts dans les émissions de NOx des deux types de carburant sont attribuables à des variations uniquement dans le retard à l'allumage et la vitesse de combustion. » Les auteurs en sont venus à la conclusion que « en ce qui a trait aux caractéristiques de combustion et des gaz d'échappement, le SME pourrait essentiellement se substituer au diesel comme carburant ». Selon une étude menée récemment par le Southwest Research Institute (Starr, 1997), les moteurs diesel modernes dotés de commandes électroniques pourraient ne présenter aucune augmentation des émissions de NOx en consommant des mélanges de biodiesel.

La raison de l'augmentation des émissions de NOx avec les mélanges de biodiesel fait encore l'objet de discussions. On a émis les hypothèses suivantes à cet effet : (i) Le biodiesel diminue la fraction insoluble (suie) des émissions de particules. Les carburants oxygénés ont une température adiabatique d'inflammation inférieure, mais les particules de suie absorbent bien la chaleur. La réduction des particules de suie contribue à accroître la température et, par conséquent, à augmenter les émissions de NOx. (ii) Pendant la combustion, les liaisons doubles dans le biodiesel se fractionnent en plus petites molécules d'hydrocarbure. On ne sait pas dans quelle mesure ces molécules peuvent modifier le retard à l'allumage et la vitesse de combustion. (iii) Les différences sur le plan de la viscosité, de la tension superficielle et du point d'ébullition du biodiesel peuvent modifier les caractéristiques d'injection et le régime de combustion. Ces différences pourraient entraîner une variation de la durée relative du régime de combustion du carburant prémélangé par rapport à celui du carburant pulvérisé; par conséquent, les caractéristiques de formation des substances polluantes pourraient être différentes.

La réduction de la quantité totale nette de particules dans le cas du B20 est attribuable à la diminution de la fraction insoluble composée généralement de suie de carbone. Ainsi, l'efficacité des convertisseurs catalytiques qui diminuent la composante soluble pourrait permettre de réduire davantage les émissions de particules avec le B20 qu'avec le diesel ordinaire. La quantité réduite de suie montre bien l'effet positif du biodiesel sur la durabilité du moteur. Utilisés dans des zones à forte densité de population, le B20 et d'autres mélanges de biodiesel pourraient avoir des effets bénéfiques sur la santé humaine en réduisant la quantité de particules fines et en améliorant l'efficacité des convertisseurs catalytiques. Dans les zones où une légère augmentation des émissions de NOx ne constitue pas un problème, on peut employer

le biodiesel ou les mélanges de biodiesel sans avoir à modifier le moteur diesel, le circuit de carburant ou l'infrastructure de soutien.

Retarder le calage à l'allumage de la pompe d'injection constitue une façon simple de réduire les émissions de NOx. Cela permet de diminuer la vitesse d'élévation de la pression et la pression maximale dans la chambre de combustion. La technique s'est révélée efficace pour réduire les émissions de NOx à des niveaux égaux ou inférieurs à ceux du carburant diesel ordinaire. Dans un moteur diesel, la relation entre les émissions de NOx et les émissions de particules est inversement proportionnelle. Si le moteur est réglé pour réduire de façon optimale les émissions de NOx, en général les émissions de particules augmentent. Afin de réduire les émissions de NOx tout en conservant l'avantage de faibles émissions de particules, plusieurs motoristes ont fait appel à une modification du calage à l'allumage et à un convertisseur catalytique d'oxydation.

Les données du tableau 14 montrent l'effet de la modification du calage à l'allumage et de l'emploi d'un convertisseur catalytique d'oxydation sur les émissions de NOx et de particules. Les données laissent à penser que dans certains cas, si l'on utilise du biodiesel, un convertisseur catalytique et une modification du calage à l'allumage, les avantages sont négligeables par rapport à un moteur de série muni d'un convertisseur catalytique et fonctionnant au D-2. Cela peut être attribuable au fait que le convertisseur catalytique d'oxydation réduit seulement la fraction soluble des particules. La figure 7 montre l'effet de l'utilisation du biodiesel avec un convertisseur catalytique d'oxydation et de la modification du calage à l'allumage sur certaines des données (Fosseen, 1994 A).

Certaines études ont été menées sur l'utilisation de différents mélanges de biodiesel et parfois de biodiesel produit à partir de diverses matières premières. Le tableau 15 montre les données relevées dans la documentation. En général, si l'on augmente la concentration de biodiesel dans le mélange, les émissions de NOx augmentent tandis que les émissions de particules diminuent. La figure 8 montre le pourcentage de changement dans les émissions de NOx et de particules en fonction du mélange. À partir d'une régression linéaire, l'augmentation des émissions de NOx est plutôt fixe à environ 4 %, tandis que les émissions de particules tendent à diminuer de façon continue avec une augmentation de la concentration de biodiesel dans le mélange. Dans une étude (Sharp, 1996), les mélanges d'esters éthyliques de soja ont montré des augmentations plus faibles (le cas échéant) des émissions de NOx ainsi qu'une réduction plus faible des émissions de particules comparativement aux esters méthyliques correspondants. Les écarts entre les mélanges d'esters méthyliques de canola et de soja étaient négligeables (Prakash, 1996).

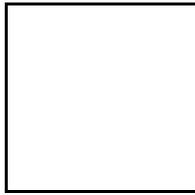
Tableau 14. Effet de la modification du calage à l'allumage et de l'installation d'un convertisseur catalytique d'oxydation sur les émissions transitoires mixtes

Ouvrage de référence	Type de moteur	Montage	Carburant	NOx	Part.	CO g/bhp-h	HC	FS	Change- ment dans les émissions de part. (en %)	Change- ment dans les émissions de NOx (en %)
Sharp, 1994	6V-92TA- 88DDECII	Série	D-2	8,52	0,2	1,6	0,6	0,116	-	-
		Série	B20 SME	8,93	0,2	1,39	0,53	0,142	0	4,8
		1 deg	B20 SME	8,2	0,21	1,59	0,55	0,134	5	-3,8
		Conv. cat.	B20 SME	9,12	0,11	0,95	0,21	0,058	-45	7
		Conv. cat. + 1deg	B20 SME	8,35	0,12	1,05	0,25	0,053	-40	-2
		Conv. cat. + 1deg	D-2	8,18	0,14	1,21	0,29	0,049	-30	-4
Fosseen, 1995	6V-71N- 77MUI	Série	D-2	11,72	0,282	3,18	0,86	0,212	-	-
	Remis à neuf	Série	B20 SME	11,82	0,323	3,1	0,74	0,26	14,5	1,4
		Conv. cat.	D-2	11,72	0,159	1,64	0,42	0,0095	-43,6	0
		Conv. cat.	B20 SME	12,11	0,166	0,86	0,38	0,118	-41,1	3,3
		4 deg	D-2	8,31	0,378	3,88	1,02	0,221	34	-29,1
		4 deg	B20 SME	8,48	0,375	3,4	0,81	0,26	33	-27,7
		Conv. cat. + 4 deg	B20 SME	8,47	0,213	0,94	0,42	0,119	-24,5	-27,7
Fosseen, 1994 A	6V-92TA- 81/89MUI	Série	D-2	10,06	0,268	2,16	0,42	0,114	-	-
		Série	B20 SME	10,5	0,26	1,81	0,36	0,171	-3	4,4
		Conv. cat.	B20 SME	10,4	0,15	1,08	0,14	0,064	-44	3,4

		1,5 deg	D-2	9,69	0,27	2,19	0,35	-	0,8	-10,1
		1,5 deg	B20 SME	10	0,24	1,77	0,32	-	-10,5	-0,6
		2 deg	B20 SME	9,61	0,263	2,03	0,33	0,159	-1,9	-4,5
		Conv. cat. + 2 deg	B20 SME	9,35	0,161	1,54	0,11	0,058	-39,9	-7,1
		3 deg	B20 SME	9,04	0,27	2,19	0,35	-	0,8	-10,1
ORTECH, 1995	Cummins N-14-87MUI	Série	D-2	6,32	0,369	2,2	0,58	0,1	-	-
		Série	B20 SME	6,52	0,314	2,12	0,47	0,106	-14,8	3
		deg ?	B20 SME	6,19	0,384	1,87	0,63	0,173	4,1	-2,1
		Conv. cat.	B20 SME	6,73	0,225	1,17	0,18	0,05	-39,1	6,4
		Conv. cat. + deg?	B20 SME	6,1	0,283	1,32	0,29	0,065	-23,4	-3,5
Sharp, 1996	Cummins B5.9	Série	D-2	4,37	0,106	1,47	0,3	0,05	-	-
		Conv. cat.	D-2	4,25	0,073	1,42	0,25	0,02	-31,1	-2,8
		Série	B20 RME	4,39	0,093	1,14	0,22	0,05	-12,3	0,5
		Conv. cat.	B20 RME	4,33	0,064	0,97	0,15	0,02	-39,6	-0,9
		Série	B20 REE	4,31	0,1	1,24	0,23	0,06	-5,7	-1,4
		Conv. cat.	B20 REE	4,3	0,067	0,94	0,16	0,03	-36,8	-1,6

Tableau 15. Effet de la concentration de biodiesel sur les émissions transitoires mixtes

Ouvrage de référence	Type de moteur	Carburant	NOx Part. CO HC FS					Change-ment dans les émissions de part. (en %)	Change-ment dans les émissions de NOx (en %)
			g/bhp-h						
Manicom, 1993	6V-92TA-91DDECII	D-1	4,23	0,197	1,51	0,72	0,079	-	-
		B10 SME	4,38	0,186	1,43	0,63	-	-5,6	3,6
		B20 SME	4,46	0,175	1,32	0,56	0,089	-11,2	5,4
		B30 SME	4,8	0,173	1,14	0,54	-	12,2	13,5
		B40 SME	4,86	0,162	1,07	0,43	-	-17,8	14,9
ORTECH, 1995	Cummins N-14-87MUI	D-2	6,32	0,369	2,2	0,58	0,1	-	-
		B10 SME	6,45	0,331	2,2	0,52	0,09	-10,3	2
		B20 SME	6,52	0,314	2,12	0,47	0,106	-14,8	3
Graboski, 1996	DDC, série 60-91DDECII	D-2	4,64	0,3	4,46	0,16	-	-	-
		B20 SME	4,69	0,259	4,14	0,14	-	-13,7	1,1
		B35 SME	4,68	0,222	3,67	0,15	-	-26,1	1
		B65 SME	4,85	0,165	3,18	0,12	-	-45,1	4,6
		SME	5,17	0,102	2,36	0,09	-	-66	11,5
Sharp, 1996	Cummins B5.9	D-2	4,37	0,106	1,47	0,3	0,05	-	-
		B20 RME	4,39	0,093	1,14	0,22	0,05	-12,3	0,5
		B20 REE	4,31	0,1	1,24	0,23	0,06	-5,7	-1,4
		B50 RME	4,3	0,087	0,97	0,16	0,06	-24,5	-1,6
		B50 REE	4,25	0,092	1,03	0,17	0,06	-13,2	-2,7
		RME	4,52	0,08	0,9	0,09	0,06	-24,5	3,4
		REE	4,26	0,091	0,95	0,11	0,05	-14,2	-2,5
Prakash, 1996	6V-92TA-DDC	EPA Cert. D	5,62	0,265	1,19	0,44	0,13	-	-
		B6 CME	5,72	0,244	1,06	0,41	0,14	-7,9	1,8
		B10 CME	5,81	0,243	1,02	0,38	0,14	-8,3	3,4
		B20 CME	5,87	0,238	1,04	0,36	0,15	-10,2	4,5
		ARB Cert. D	5,34	0,27	1,24	0,55	0,14	-	-
		B6 CME	5,47	0,247	1,24	0,51	0,16	-8,5	2,4
B20 CME	5,54	0,257	1,2	0,44	0,16	-4,8	3,8		

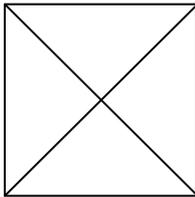


% Change = Changement en %

% Change in PM = Changement dans les émissions de part. (en %)

% Change in NOx = Changement dans les émissions de NOx (en %)

Figure 7 : Effet du biodiesel, du convertisseur catalytique et du changement de réglage de la distribution sur les émissions de NOx et de particules



% Change = Changement en %

% Biodiesel = Concentration de biodiesel (en %)

% Change in PM = Changement dans les émissions de part. (en %)

% Change in NOx = Changement dans les émissions de NOx (en %)

Linear (% Change in PM) = Progression linéaire [Changement dans les émissions de part. (en %)]

Linear (% Change in NOx) = Progression linéaire [Changement dans les émissions de NOx (en %)]

Figure 8 : Effet de la concentration de biodiesel sur les émissions de NOx et de particules

7.2 Emploi du « supercétane »

Les analyses des émissions à l'aide de mélanges de D-2 contenant du « supercétane » dans des concentrations de 20 et de 40 p. 100 par volume ont été exécutées au Laboratoire d'analyse des effluents gazeux de véhicules d'Environnement Canada, à Ottawa. Aux fins de l'essai, on a utilisé un moteur Detroit Diesel 6V71. Le tableau 16 montre les valeurs moyennes mixtes des émissions réglementées compte tenu du cycle instationnaire de l'EPA (Hendren, 1996). L'emploi de « supercétane » a montré des tendances d'augmentation des émissions de NOx et de réduction des

émissions de particules similaires à celles des biodiesel de type ester. On a aussi utilisé du « supercétane » en marge d'une démonstration sur place dans les véhicules de Postes Canada à Vancouver, C.-B. Les conducteurs n'ont remarqué aucune différence significative dans le rendement des véhicules utilisant un mélange de supercétane ou du diesel ordinaire. Les émissions de ces véhicules n'ont pas été mesurées.

Tableau 16. Effet des mélanges de « supercétane » sur les émissions réglementées (g/bhp/heure)

Carburant	NOx	Part.	CO	HC
D-2	12,85	0,93	6,2	0,61
SC à 20 %	13,32	0,81	5,6	0,26
SC à 40 %	13,17	0,80	5,0	0,40

7.3 Émissions non réglementées

Outre les émissions réglementées des moteurs diesel, on s'inquiète de plus en plus des émissions de composés d'hydrocarbures réactifs, cancérigènes et toxiques dans l'atmosphère. Les organismes de réglementation pourraient éventuellement limiter les émissions de certains composés particuliers et c'est pourquoi il importe de bien comprendre l'incidence du biodiesel sur ces émissions. Les émissions de polluants toxiques des moteurs diesel sont réparties en deux groupes : ceux de la portion HC des émissions gazeuses et les hydrocarbures plus lourds volatils, y compris les composés d'hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) qu'on retrouve dans la portion de la FS des particules. De nombreux hydrocarbures volatils sont reconnus pour présenter une activité cancérigène ou mutagène. Les plus importants sont le 1,3-butadiène, le benzène, le formaldéhyde et l'acétaldéhyde. Même si l'on utilise des carburants biodiesel, il existe très peu de données sur ces émissions en Amérique du Nord ou en Europe. Par conséquent, il est difficile présentement de tirer des conclusions sur les émissions non réglementées du biodiesel ou des mélanges de biodiesel. Il est donc nécessaire de procéder à des recherches plus approfondies sur la question.

Des essais dynamométriques effectués sur le châssis de deux autobus dotés de moteurs à deux temps fonctionnant avec du D-2 et du B20 SME ont révélé la présence d'émissions d'aldéhyde (Howes et Rideout, 1995). Les données montrées au tableau 17 indiquent que l'autobus muni d'un moteur DDC 8V-71 1981 présentait des émissions d'aldéhyde et de particules plus élevées et des émissions de NOx plus faibles comparativement à celles du carburant D-2. L'emploi d'un convertisseur catalytique d'oxydation a permis de réduire ces émissions en dessous du niveau de référence. L'autre autobus doté d'un moteur DDC 6V-92 1988 présentait des écarts beaucoup plus faibles au niveau des émissions d'aldéhyde avec du biodiesel par rapport à celles avec du D-2.

Tableau 17. Résultats de l'essai dynamométrique sur châssis touchant les émissions pour le B20 SME, selon le cycle mixte pour autobus de NY

	NOx g/mille	Part. g/mille	FS (en %)	Aldéhydes g/mille
1981DDC 8V-71				
D-2	35,2	0,91	51,8	0,40
B20 SME	30,7	1,48	72,2	0,42
B20 + convertisseur catalytique	32,2	0,89	48,3	0,25
B20 + modification du réglage de l'allumage	26,3	1,55	67,1	0,48
B20 + convertisseur catalytique + mod. du réglage de l'allumage	34,3	1,12	49,4	0,30
1988 DDC 6V-92TA				
D-2	27,3	1,30	65,5	0,31
B20 SME	27,1	1,46	68,0	0,31
B20 + convertisseur catalytique	23,7	1,02	51,0	0,28
B20 + modification du réglage de l'allumage	26,9	1,79	52,0	0,39
B20 + convertisseur catalytique + mod. du réglage de l'allumage	-	1,21	36,5	0,34

7.4 Autres questions

Outre l'effet que produit le biodiesel sur les émissions, de nombreuses autres questions touchent l'emploi du biodiesel dans les moteurs diesel et influent sur le rendement et la durabilité de ces derniers. Certaines des questions importantes sont traitées ci-dessous, notamment le mélange biodiesel-diesel ordinaire, la diminution de la puissance du moteur, les problèmes de démarrage par temps froid, la compatibilité des matériaux, l'usure du moteur et l'effet sur l'huile moteur. Dans l'étude de Schumacher *et al.* (1996), on a examiné ces questions à partir des résultats de diverses recherches et de programmes de démonstration sur le biodiesel. Les problèmes pertinents et les recherches futures requises ont été relevés dans le document de référence susmentionné et sont reproduits au tableau 18. La marque "x" indique que des problèmes ont été constatés lorsque le moteur consommait du biodiesel. Les problèmes rencontrés plus fréquemment devraient faire l'objet d'une attention plus particulière. Par exemple, les exploitants ont continuellement signalé des problèmes de qualité du carburant et une diminution de la puissance (73 %). L'obturation du filtre à carburant constituait le second problème en importance (64 %), tandis que les problèmes de démarrage à froid et de compatibilité des matériaux ont été signalés par environ 45% des exploitants.

Corrosion des réservoirs										
Entreposage et maintenance		X								

7.4.1 Mélange biodiesel-diesel

Pour obtenir une efficacité uniforme des mélanges de biodiesel, il convient de bien mélanger les fractions de biodiesel et de diesel. Initialement, l'industrie du biodiesel aux États-Unis a préconisé le mélange par barbotage du biodiesel dans le carburant diesel. Des recherches ont montré dans bien des cas que le mélange par barbotage était inefficace, particulièrement lorsqu'il est effectué dans de gros réservoirs de stockage ou lorsque les températures des deux carburants sont différentes. Un mélange inadéquat pourrait entraîner une séparation du biodiesel et causer des problèmes d'obturation du filtre à carburant.

Il convient de procéder à des recherches additionnelles afin de déterminer le degré d'agitation requis pour assurer un bon mélange biodiesel-diesel. D'autres recherches sont aussi nécessaires pour déterminer s'il existe des conditions dans lesquelles le biodiesel pourrait se séparer du diesel ordinaire lorsque le carburant est entreposé ou qu'il se trouve dans le réservoir du véhicule.

7.4.2 Diminution de la puissance du moteur

En volume, le biodiesel offre légèrement moins d'énergie que le carburant diesel ordinaire. Par conséquent, pour éviter une légère diminution de la puissance du moteur, il convient de modifier le circuit d'injection pour utiliser ce carburant. Dans une étude, Schumacher (1994) a signalé de très faibles écarts de puissance jusqu'à ce que la concentration de biodiesel dépasse les 50 % en volume.

Toutefois, certains exploitants se sont plaints d'une diminution significative de la puissance attribuable à l'utilisation du biodiesel. Des recherches donnent à penser que la perte de puissance signalée pourrait être attribuable à une obturation du filtre à carburant, à un gommage des pompes d'injection et à la cavitation des injecteurs. Tous ces problèmes sont imputables à la mauvaise qualité du carburant biodiesel.

7.4.3 Démarrage par temps froid

Les points de trouble et d'écoulement du biodiesel sont plus élevés que ceux du carburant diesel, ce qui pourrait créer des problèmes de démarrage par temps froid. Afin de réduire cette tendance, des chercheurs de l'Université du Missouri et de l'Université de l'Idaho ont installé des réchauffeurs de réservoirs de carburant sur les véhicules fonctionnant au biodiesel. Le problème de démarrage par temps froid pourrait aussi limiter l'utilisation du biodiesel dans de nombreuses régions du Canada en hiver.

Il convient donc d'améliorer les propriétés de démarrage par temps froid des carburants biodiesel et des mélanges de biodiesel. Certaines propriétés chimiques et physiques du biodiesel et du diesel ne sont pas linéaires; par conséquent, l'efficacité des additifs améliorant l'écoulement par temps froid, qui sont généralement employés dans le carburant diesel, ne s'est pas révélée aussi bonne dans les mélanges de biodiesel. De plus, la quantité d'additifs nécessaire pour améliorer les propriétés d'écoulement par temps froid du biodiesel et des mélanges de biodiesel dépasse la quantité recommandée par les constructeurs. Un autre problème important de ces additifs est leur effet sur la biodégradabilité du carburant, un des principaux avantages du biodiesel.

7.4.4 Compatibilité des matériaux

Il est possible que le biodiesel ne soit pas compatible avec certains matériaux, ce qui pourrait mener à une rupture prématurée de composants ou à leur remplacement. Par exemple, il a fallu remplacer des conduites de carburant en caoutchouc nitrile sur les véhicules d'essai fonctionnant au biodiesel. Le biodiesel a aussi contribué à dégrader prématurément les membranes de pompes à carburant et les robinets de carburant permettant l'alimentation du carburant au moteur et qu'il a fallu remplacer. Peterson (1997) a indiqué qu'il fallait des réservoirs de carburant en acier inoxydable pour utiliser le biodiesel tel quel. L'industrie du biodiesel reconnaît les aptitudes dissolvantes du biodiesel et que des problèmes pourraient survenir en l'utilisant tel quel. Toutefois, aucune donnée officielle n'est disponible actuellement au sujet des problèmes de compatibilité des matériaux associés à l'utilisation de mélanges de biodiesel. En Europe, des essais de moteurs et des analyses d'huiles usées menés chez Mercedes-Benz ont indiqué que des mélanges contenant jusqu'à 20 % en volume d'ester méthylique ne présentaient pas d'effets secondaires très défavorables sur les matériaux constitutifs du circuit de carburant (ABA, IRI, 1994).

Une autre question est de savoir si le biodiesel, en raison de ses excellentes propriétés dissolvantes, peut dissoudre les gommages et les dépôts dans les réservoirs de stockage de carburant et qui peuvent obturer le filtre à carburant.

7.4.5 Durabilité du moteur et effet sur l'huile moteur

Des essais de durabilité des moteurs utilisant des mélanges de biodiesel sont en cours, mais la plupart des études jusqu'à maintenant n'ont pas révélé d'écart sensible entre le biodiesel et le carburant diesel ordinaire. À partir de l'analyse des particules métalliques dans l'huile moteur, le taux d'usure du moteur constaté après des essais de 200, 500 et 1 000 heures se trouvait dans la plage prescrite (Clark, 1984). Une étude menée par l'Université de l'Idaho a révélé que le diesel ordinaire « produisait généralement des concentrations plus élevées de fer, d'aluminium, de chrome et de plomb dans l'huile du carter » comparativement au biodiesel (Perkins, 1991). Dans la même étude, on a noté une légère diminution de la viscosité de l'huile, mais celle-ci était tout de même dans des limites acceptables. Cette perte de viscosité était attribuable à la présence de carburant dilué dans l'huile du carter.

Blackburn *et al.* (1983) ont constaté des niveaux inacceptables de contamination de

l'huile moteur par des esters. Peterson *et al.* (1996) ont indiqué une dilution de l'huile moteur des véhicules d'essai utilisant tel quel de l'ester éthylique d'huile de colza. Toutefois, l'analyse de l'huile moteur de cinq autobus fonctionnant à l'ester méthylique de soja B20 [Schumacher *et al.* (1995A)] a révélé que la dilution de l'huile moteur était négligeable. D'autres études avec le biodiesel tel quel [Schumacher (1997)] donnent à penser que la présence de carburant dilué dans l'huile moteur ne pose pas de problème. L'Engine Manufacturers Association (EMA) a une position prudente sur cette question. Lorsqu'on utilise le biodiesel, l'EMA recommande de couper de moitié les intervalles de vidange d'huile de manière à réduire au minimum les problèmes liés à l'huile moteur (EMA, 1995). Certains motoristes européens ont aussi recommandé de faire la vidange d'huile plus fréquemment sur les moteurs fonctionnant au biodiesel tel quel.

7.5 Marchés à créneaux

Le biodiesel et les mélanges biodiesel-diesel, notamment le B20, constituent des solutions de rechange attrayantes au carburant diesel dans des marchés à créneaux écologiquement sensibles comme les autobus urbains, les mines souterraines, les parcs nationaux et les forêts, ainsi que le secteur maritime. Plusieurs agences fédérales américaines ont mis en œuvre des programmes pilotes exhaustifs sur l'emploi du biodiesel, ou prévoient le faire. Parmi ces agences, on retrouve notamment : l'US Army, l'US Postal Service, le National Park Service et l'US Bureau of Mines.

En novembre 1996, dix sociétés minières canadiennes, trois constructeurs de moteurs diesel, le CANMET et ORTECH Inc., ainsi que l'Université du Minnesota se sont engagés dans un programme de recherche triennal de plusieurs millions de dollars, désigné sous l'appellation « Diesel Engine Evaluation Program », ou « DEEP » dans sa forme abrégée. Le programme vise entre autres à élaborer une « trousse d'outils » à partir de laquelle les sociétés minières peuvent puiser des solutions pour protéger les travailleurs dans les mines souterraines.

7.5.1 Autobus urbains

Aux États-Unis, des projets de démonstration sur des autobus urbains visant à vérifier la fiabilité et l'efficacité du biodiesel dans des conditions réelles ont permis d'accumuler des données sur plus de 10 millions de milles sur la route. Les commissions de transport à Érié, en Pennsylvanie; à Sioux Falls, dans le Dakota du Sud; à Cincinnati, en Ohio; à Baltimore, dans le Maryland; et à Oakland, en Californie, ont employé des mélanges B20 et les résultats obtenus ont été favorables (Gay, 1997). D'autres démonstrations récentes de l'utilisation du biodiesel ont été faites, y compris l'emploi de B20 dans l'ensemble du parc d'autobus assurant la navette au cours du Congrès national des Démocrates qui s'est déroulé à Chicago, dans l'Illinois, au mois d'août 1996, et pour l'exploitation de deux bus-navettes lors de la White House Conference on Global Climate Change qui a eu lieu à Washington, au mois d'octobre 1997. Ces démonstrations avaient essentiellement pour but d'acquiescer de l'expérience sur l'utilisation du biodiesel et de sensibiliser l'opinion publique sur l'utilisation et les avantages du biodiesel comme carburant écologique. Les valeurs des émissions et les autres questions traitées dans les sections 7.1 à 7.4 relativement à l'utilisation du

biodiesel dans les véhicules routier portent aussi sur l'utilisation de ce carburant dans les autobus urbains.

7.5.2 Utilisation dans les mines souterraines

Confrontées à la possibilité d'une nouvelle réglementation plus stricte visant à limiter les émissions de carburant diesel dans les mines souterraines, les sociétés minières américaines envisagent d'améliorer leur équipement, de mettre en place une technologie de post-traitement et de remplacer le carburant diesel de leurs moteurs par des carburants plus propres comme le biodiesel. En 1995-1996, la valeur limite admissible (TLV) recommandée par l'American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) pour le taux de particules émises par le diesel était de 0,15 mg de poussières de combustible inhalables par mètre cube, ce qui correspond à environ un sixième de la valeur recommandée présentement au Canada. Les concentrations moyennes types de particules de diesel dans les mines aux États-Unis et au Canada varient de 0,2 à 1,5 mg/m³.

Si le Canada décide d'adopter la réglementation américaine sur les mines, il devra faire des efforts importants pour réduire les émissions de diesel. Seulement en Ontario, on compte 2 250 moteurs diesel dans des mines souterraines. Les moteurs plus propres à commandes électroniques ne représentent que 11 % de l'ensemble des moteurs ainsi exploités (Whiteway, 1997). En Ontario, la consommation annuelle de carburant diesel dans le secteur des mines est d'environ 28 millions de litres. Grâce à son point d'éclair plus élevé et à son pouvoir lubrifiant deux fois plus élevé que celui du diesel à faible teneur en soufre, le biodiesel pourrait accroître la sécurité tout en prolongeant la durée utile de l'équipement diesel. De nombreuses sociétés minières mettent beaucoup d'ardeur à promouvoir le programme DEEP afin de mieux comprendre les nouvelles techniques de réduction des émissions du diesel. L'université du Minnesota, ORTECH, le CANMET et l'Université de technologie du Michigan entreprendront un projet dans le cadre du programme DEEP, afin d'évaluer l'impact de l'utilisation d'un mélange de biodiesel à 50 % et de convertisseurs catalytiques d'oxydation sur les émissions et la qualité de l'air dans une mine souterraine.

L'U.S. Bureau of Mines a fait l'essai de l'ester méthylique de soja (SME) tel quel et de mélanges SME-diesel ordinaire, dans des concentrations de 30 % et de 70 % respectivement, dans un moteur Caterpillar 3304 PCNA fonctionnant pendant environ 50 heures avec chacun des types de carburant (McDonald, 1995). Comparativement au diesel à faible teneur en soufre, le SME tel quel a augmenté la fraction soluble de particules du diesel, mais a considérablement réduit la fraction insoluble, ce qui a permis une diminution nette des émissions totales de particules. L'emploi d'un convertisseur catalytique d'oxydation a aussi permis de réduire davantage la fraction soluble et les émissions totales de particules. Les émissions de NO_x n'ont pas changé avec le mélange 30/70 mais ont été inférieures avec le SME tel quel. Des extraits de particules et de matières organiques en phase gazeuse se sont révélés beaucoup moins mutagènes dans le cas du SME que dans le cas du diesel à faible teneur en soufre.

En 1995, des essais menés sur un moteur CAT 3306 PCNA à la mine Homestake à Lead, dans le Dakota du Sud, ont montré que le biodiesel avait diminué les émissions de particules à environ 0,28 mg par mètre cube par rapport à des émissions initiales d'environ 0,67, soit une diminution d'environ 55 % (USBM, 1995).

L'université du Minnesota a mené un projet visant à comparer le coût de l'utilisation du biodiesel tel quel et de mélanges de biodiesel-diesel ordinaire à celui d'autres moyens de réduction des émissions dans des mines souterraines (Bickel *et al.*, 1997). Les résultats donnent à penser que pour des petits moteurs diesel industriels, le coût d'utilisation du biodiesel était 25 % inférieur à celui de l'utilisation de filtres à particules à régénération (RFC-DPF) si le prix du biodiesel tel quel était de 1,50 \$US le gallon. Si l'on pouvait utiliser un mélange de biodiesel à 50 % pour atteindre le niveau de réduction de particules voulu, le biodiesel serait aussi concurrentiel avec les filtres RFC-DPF, même à un prix de 3 \$US le gallon. Dans le cas de l'équipement lourd et des gros moteurs diesel, dont la consommation de carburant est élevée, le biodiesel tel quel à 3 \$US le gallon ne s'est pas révélé concurrentiel par rapport à des technologies existantes de réduction des particules, par exemple le filtre à particules à paroi céramique (CDPF).

7.5.3 Utilisations dans le secteur maritime

Compte tenu des préoccupations croissantes quant aux déversements de carburant diesel dans les plans d'eau, le biodiesel suscite de plus en plus d'intérêt dans le secteur maritime. Les plongeurs et les propriétaires de bateaux sont conscients des questions de la pollution des eaux et reconnaissent les qualités de biodégradabilité et de combustion plus propre du biodiesel. Des études menées à l'Université de l'Idaho ont permis de comparer la biodégradabilité du biodiesel, du diesel ordinaire et du dextrose (sucre) dans des solutions aqueuses. Les échantillons de biodiesel se sont dégradés à 95 % à la fin de la période de 28 jours. À la fin de cette même période, le carburant diesel était dégradé à 40 %. Le mélange B20 s'est dégradé deux fois plus rapidement que le diesel ordinaire. Aux États-Unis actuellement, les marchés pour le biodiesel se trouvent dans les eaux écologiquement sensibles des Keys, en Floride, dans la baie de San Francisco, dans la baie de Chesapeake au Maryland ainsi que dans les Grands Lacs.

La société NOPEC a été la première, en 1995, à offrir des mélanges de biodiesel (20 %) comme supercarburant diesel en Floride, à un prix supérieur d'environ 0,20 \$US le gallon par rapport au diesel ordinaire. Depuis, la demande en biodiesel en Floride s'est accrue progressivement. La NOPEC a fait équipe avec la Florida Restaurant Association en vue de recycler l'huile de cuisson usée en biodiesel. L'usine de Lakehead, d'une capacité d'environ 75 millions de litres par année, utilise présentement 50 % d'huile de soja vierge et 50 % d'huile usée. La NOPEC prévoit accroître la proportion d'huile usée à 90 %. Selon une récente étude de marché, la Floride, à elle seule, présente un potentiel d'environ 8 millions de litres de biodiesel par année.

Coastal Properties, propriétaire de neuf marinas qui ravitaillent plus de 4 000 bateaux par année dans la baie de Chesapeake, a commencé à vendre du biodiesel à tous ses

postes de ravitaillement. On peut se procurer du biodiesel tel quel à la pompe ou en contenants de 5 gallons. Les contenants portent une étiquette expliquant comment mélanger le biodiesel au diesel dans des proportions de 20 parties de biodiesel pour 80 parties de diesel (Biofuels Update, 1997). Le carburant biodiesel est fourni par la société NOPEC dont le siège social se trouve en Floride.

Un projet financé par le DOE des États-Unis par l'entremise de NREL a pris fin récemment et portait sur l'utilisation de biodiesel marin et la sensibilisation à ce produit. Le projet visait la région de la baie de San Francisco et du nord de la Californie. Il comprenait la mise en place d'une infrastructure de mise en marché et de distribution de biodiesel dans le marché de la navigation de plaisance en Californie.

On a récemment proposé de mettre en place des mesures de sensibilisation et de demande visant le biodiesel et d'établir un réseau de distribution de biodiesel dans le marché du secteur maritime des Grands Lacs. La National Biodiesel Foundation et deux sociétés locales ont obtenu un financement initial dans le cadre du Great Lakes Regional Biomass Energy Program. Le groupe envisage maintenant de trouver du financement complémentaire auprès du Great Lakes Protection Fund afin de partager les autres coûts liés au développement du marché du biodiesel dans la région des Grands Lacs.

Au Canada, il existe un potentiel important pour le biodiesel dans la région côtière de la C.-B. ainsi que dans la région des Grands Lacs.

7.5.4 Le biodiesel pour améliorer le pouvoir lubrifiant

Le biodiesel peut servir d'additif pour l'obtention d'un produit diesel amélioré offrant un pouvoir lubrifiant supérieur destiné à mieux protéger de l'usure les pièces essentielles du moteur (NBB, 1997). Les mélanges de carburant contenant une concentration de biodiesel aussi faible que 1 % peuvent offrir un meilleur pouvoir lubrifiant à un coût net d'environ 0,01 \$ le litre. Des supercarburants diesel contenant un additif de biodiesel sont présentement vendus au public dans plusieurs États du Midwest dans le cadre d'une activité de partenariat entre Farmland Industries et AG Processing, Inc.

Le pouvoir lubrifiant du carburant est une propriété importante car dans de nombreuses pompes à carburant, les pièces mobiles sont lubrifiées par le carburant diesel lui-même. Les méthodes d'essai BOCLE (« Ball On Cylinder Lubricity Evaluator » ou testeur à bille sur cylindre) et HFRR (« High Frequency Reciprocating Rig » ou montage alternatif à haute fréquence) servent à mesurer le pouvoir lubrifiant. L'essai BOCLE est précis à 200 g près et les carburants offrant un bon pouvoir lubrifiant ont des valeurs comprises entre 4 500 et 5 000 (plus le chiffre est élevé, meilleur est le pouvoir lubrifiant). Dans le cas de l'essai HFRR, des valeurs d'impression de plus de 0,4 mm sont jugées non satisfaisantes. Le tableau 19 reproduit les données de pouvoir lubrifiant de carburants diesel et de mélanges de biodiesel, présentées succinctement dans un document récent (Graboski, 1997). D'après ces résultats, les esters méthyliques de soja et de colza ont un meilleur pouvoir lubrifiant que le diesel ordinaire à faible teneur en soufre, et il est possible d'améliorer le pouvoir lubrifiant du carburant diesel en y ajoutant de petites quantités de biodiesel.

Tableau 19. Mesure du pouvoir lubrifiant de mélanges de biodiesel (Graboski, 1997)

CARBURANT	BOCLE (en g)	HFRR (impression en mm)
Diesel ordinaire à faible teneur en soufre	4 250	0,405
Diesel ordinaire à faible teneur en soufre	4 200	0,492
SME	6 100	-
RME	7 000	0,140
REE	>7 000	0,085
B2 - SME	4 400	-
B5 - SME	4 500	-
B10 - SME	5 200	-
B20 - SME	5 200	0,193
B30 - SME	-	0,206
B20 - RME	4 600	0,190
B50 - RME	5 550	0,180
B20 - REE	4 700	0,165
B50 - REE	5 700	0,165

Une nouvelle technique de mesure du pouvoir lubrifiant dite ROCLE (« Roller On Cylinder Lubricity Evaluator » ou testeur à rouleau sur cylindre) a été mise au point à l'Université de la Saskatchewan, au Canada (Galbraith et Hertz, 1997) et elle permet d'obtenir un indice de lubrification adimensionnel (LN). À partir de cette technique, on a enregistré des indices de lubrification allant de 0,5 pour le kérosène à 1,7 pour l'huile de canola. L'ajout d'ester méthylique de canola, dans une concentration de 2 %, au carburant D-1 à faible teneur en soufre a permis d'obtenir un pouvoir lubrifiant équivalent à celui du carburant D-2 à haute teneur en soufre.

À l'hiver de 1997, on a mené une étude à Saskatoon, au Canada, en utilisant 3 véhicules à moteur diesel, et on a évalué l'efficacité d'un sous-produit de l'huile de canola en faible concentration (COD-AC2) et de l'ester méthylique de canola (CME) à réduire l'usure des moteurs. Les résultats de l'étude indiquent que le COD et le CME mélangés en concentrations de 1 ou 2 % dans du carburant diesel d'hiver à faible teneur en soufre ont considérablement réduit l'usure des moteurs (Hertz, 1997). On a aussi enregistré une diminution de la consommation de carburant, de 6 à 10 %, des 3 véhicules d'essai fonctionnant avec des mélanges de diesel à faible concentrations de COD et de CME. Aucun des véhicules d'essai n'a éprouvé de problèmes de démarrage par temps froid, de fonctionnement ou de diminution de la puissance.

7.6 Analyse du cycle de vie

De nombreuses études ont été menées afin d'évaluer l'aspect économique, le bilan énergétique et les coûts de biodiesel et des mélanges de biodiesel utilisés dans les

véhicules pendant toute leur durée utile comparativement à ceux du carburant diesel. En avril 1994, la firme d'experts Booz-Allen & Hamilton a terminé un rapport d'évaluation technique et économique relatif au biodiesel employé comme carburant dans les transports. Dans le rapport, on a identifié et analysé les propriétés du biodiesel et on les a comparées à celles du carburant diesel ordinaire et d'autres carburants de remplacement. On a signalé que le carburant B20 pouvait être économiquement concurrentiel et constituer un carburant de substitution intéressant pour les autobus urbains qui doivent réduire leurs émissions de particules dangereuses en vertu de la *Clean Air Act* (CAA) (Booz-Allen & Hamilton, 1995).

Au mois de mars 1996, une autre étude a comparé les coûts totaux d'immobilisation et d'exploitation du biodiesel dans un parc d'autobus urbains à ceux du diesel ordinaire, du méthanol et du gaz naturel. Dans cette étude, les chercheurs du Department of Agriculture and Applied Economics, de l'Université de la Géorgie, ont constaté que les mélanges de biodiesel dans des concentrations aussi élevées que 35 %, étaient aussi compétitifs sur le plan des coûts que les carburants de remplacement comme le gaz naturel et le méthanol (Ahouissoussi et al., 1996).

En 1993, le gouvernement français a procédé à une analyse du cycle de vie. Les résultats ont montré qu'en tenant compte de tous les coûts pertinents, des intrants, des émissions, des déchets et des coûts externes, le biodiesel était aussi concurrentiel que le carburant diesel ordinaire, même à un prix sur le marché substantiellement plus élevé (Paris, France, 1993). Dans une autre étude européenne, on a calculé le bilan énergétique sur tout le cycle de vie de véhicules fonctionnant à l'ester méthylique de colza. Les calculs ont montré que le carburant biodiesel présentait une valeur énergétique de 2,5 à 3,5 fois plus élevée (Krawczyk, 1996).

Une analyse exhaustive du cycle de vie relative à toutes les émissions du carburant biodiesel comparativement à celles du diesel a été faite au National Renewable Energy Laboratory (NREL) du DOE des É.-U., en collaboration avec le Department of Agriculture des É.-U. et l'EPA. À partir des entretiens que nous avons eus avec le personnel au cours de notre visite du NREL, il appert que les émissions de gaz à effet de serre du biodiesel peuvent être de 20 à 30 % inférieures à celles du carburant diesel. Il convient de mentionner que le NREL n'était pas disposé à nous révéler des chiffres avant la publication du présent rapport dont la parution était prévue en mars 1998 (Tyson, 1998).

8. RÉSUMÉ DES PRINCIPALES QUESTIONS ET RECOMMANDATIONS RELATIVES AU BODIESEL

Disponibilité, prix, réduction de taxes et marchés

Le potentiel de biodiesel au Canada est estimé à environ 385 millions de litres par année, soit environ 2 % de la consommation actuelle de carburant diesel. Le prix du biodiesel demeure environ 2 à 3 fois plus élevé que celui du diesel ordinaire. Des efforts sont faits pour réduire le prix, notamment en utilisant une plus grande quantité de matières premières à bas prix et en effectuant des recherches novatrices, mais il est peu probable, dans un avenir rapproché, que le prix du biodiesel soit comparable à

celui du diesel. Une hausse des taxes sur le carburant diesel et une réduction des taxes sur le biodiesel afin de compenser le prix plus élevé de ce carburant ne semblent pas réalisables pour le moment. Par conséquent, il faut trouver des marchés à créneaux pour le biodiesel dans lesquels ses effets positifs sur l'environnement, la santé ou la sécurité pourraient être suffisants pour justifier son prix plus élevé.

Au Canada, il existe un marché potentiel pour les mélanges de biodiesel dans le secteur des mines souterraines et dans le secteur maritime. Compte tenu des hivers canadiens froids et des propriétés d'écoulement inférieures par temps froid du biodiesel, l'emploi du biodiesel dans les autobus urbains et dans d'autres modes de transport routiers pourrait ne pas constituer un marché intéressant. Il conviendrait d'explorer davantage les possibilités du biodiesel à améliorer le pouvoir lubrifiant du carburant diesel et à améliorer la consommation des véhicules et des moteurs diesel. La justification des avantages du biodiesel en petites concentrations (1 à 2 %) dans le diesel ordinaire pourrait déboucher sur un marché potentiel. Il serait très à propos que le gouvernement fédéral appuie un programme d'essai afin d'évaluer l'effet de mélanges de biodiesel en faibles concentrations sur la consommation de carburant des moteurs diesel ainsi que sur le pouvoir lubrifiant du carburant.

Il est présentement impossible de prévoir la demande de biodiesel au Canada, car le biodiesel n'a pas encore pénétré les marchés à créneaux mentionnés précédemment. Comparativement au Canada, de nombreux groupes aux États-Unis exercent des pressions pour favoriser l'emploi du biodiesel comme composante du carburant diesel. Les marchés au Canada suivront probablement la tendance en fonction du degré d'acceptation du biodiesel sur les marchés américains. Si l'emploi du biodiesel se généralise aux États-Unis, le biodiesel canadien et ses matières premières pourraient trouver leur place sur les marchés américains. Simultanément, d'après l'expérience américaine, des marchés à créneaux similaires pourraient voir le jour au Canada. S'il n'y a pas de production de biodiesel en place au Canada, la demande initiale sera axée sur les importations en provenance des États-Unis.

Qualité du carburant et normes

Le biodiesel est actuellement produit dans de petites usines à partir de diverses matières premières. Par conséquent, la qualité du produit varie considérablement. Il est nécessaire d'améliorer le procédé pour permettre à l'industrie de produire le biodiesel de façon continue et dans des conditions reproductibles plutôt qu'en petits lots distincts.

La production de biodiesel comme carburant doit tenir compte de plusieurs paramètres, notamment : l'origine du produit (huiles végétales, graisses animales); ses antécédents (huile vierge, huile recyclée); et la longueur des chaînes moléculaires (C16, C18, alcool méthylique, alcool éthylique). Le NBB définit le biodiesel comme étant des esters alkylés de triglycérides. Cette définition large ne limite pas le carburant en fonction de sa matière première ou de son origine. Elle fait appel à la définition chimique du biodiesel - une molécule de biodiesel est du biodiesel, peu importe son origine. Des travaux sont en cours en vue d'élaborer des normes ASTM pour le biodiesel; ces normes devraient résoudre les problèmes d'origine et d'antécédents.

Le Canada devrait aussi élaborer des normes relatives au biodiesel par l'entremise de l'ONGC.

Acceptation par les motoristes et l'industrie du pétrole

Avant qu'un nouveau carburant puisse être utilisé commercialement dans le secteur des transports, les motoristes et les constructeurs de véhicules doivent l'approuver sinon la garantie sur leurs produits pourrait être annulée. Pour mélanger le biodiesel à du carburant diesel, l'industrie du pétrole doit aussi en accepter l'utilisation. Pour obtenir l'appui de ces groupes, il est absolument essentiel que le biodiesel ait une qualité uniforme et qu'il fasse l'objet de normes de l'ONGC. Des données suffisantes sur le produit doivent aussi être disponibles pour en justifier les avantages et les propriétés alléguées sur le plan écologique.

Politique du gouvernement et réglementation

La politique du gouvernement et la réglementation jouent souvent un rôle important pour permettre à un carburant de pénétrer des marchés à créneaux. Par exemple, si le gouvernement fédéral ou les gouvernements provinciaux au Canada décident d'imposer une réglementation sévère sur les émissions dans les mines, les marinas et d'autres secteurs écologiquement sensibles, cela aidera certainement le biodiesel à pénétrer ces marchés, même à un prix plus élevé. Des efforts doivent être faits pour inclure le biodiesel dans la liste des carburants de remplacement approuvés en vertu de la *Loi sur les carburants de remplacement*. L'industrie canadienne du biodiesel devrait aussi envisager de demander l'approbation de l'emploi de l'Éco-Logo, logo du programme Choix environnemental.

D'après les renseignements préliminaires obtenus du NREL et de l'examen des données disponibles, il semble probable que l'évaluation continue du cycle de vie relative au biodiesel aux États-Unis donnera des résultats concluants en faveur de ce carburant. Si cela se révèle, le biodiesel pourrait contribuer partiellement à atteindre les objectifs de réduction des émissions de gaz à effet de serre que le Canada a entérinés à Kyoto. Par exemple, en supposant que les émissions de CO₂ du biodiesel pendant tout le cycle de vie correspondent à 20 % de celles du diesel et que la production potentielle de biodiesel au Canada (385 millions de litres par année, soit environ 2 % de la consommation de diesel) est employée comme composante du carburant diesel, il serait possible de réduire d'environ 1,6 % (réduction de 80 % des émissions dans 2% de la consommation de diesel) les émissions de gaz à effet de serre imputables à l'utilisation du diesel.

OUVRAGES DE RÉFÉRENCE

ABA, IRI (1994). *Biodiesel: a technology performance and regulatory overview* Rapport préparé par l'American Biofuels Association et Information Resources, Inc. pour le compte du National Soydiesel Development Board, Jefferson City, MO, USA.

Ahouissoussi, N.B. et Wezstein, M.E., (1996). *The Economics of Engine Replacement / Repair for Biodiesel Fuels, Final Report*, Department of Agricultural and Applied Economics, University of Georgia, mars 1996.

Ali, Y., Hanna, M.A. et Cuppett, S.L. (1995). *Fuel properties of tallow and soybean oil esters*. JAOCS, Vol.72, N° 12, page 1557, 1995.

Bagby, M.O. et Freedman, B. (1989). *Diesel Engine Fuels from Vegetable Oils*, document présenté à la 80^e réunion annuelle de l'American Oil Chemists' Society.

Bickel, K.L., McDonald, J., Fruin, J.E. et Tiffany, D. (1997). *Economic comparison of Biodiesel blends to commercially available exhaust emission reduction technologies for underground mines*. Rapport final au National Biodiesel Board préparé par l'Université du Minnesota, janvier 1997.

Biofacts (1995). Produit pour le compte de l'U.S. Department of Energy par le National Renewable Energy Laboratory, NRELI/SP-42O-5571 - Rev. 2.

Biofuels Update (1997). Rapport de l'U.S. Department of Energy Biofuels Technology, Vol.5, Issue 2, printemps, 1997.

Blackburn, J.H., Pinchin, R. Nobre, J.I.T., Crichton, B.A.L. et Cruse, H.W. (1983). *Performance of lubricating oils in vegetable oil ester fuel diesel engines*. Document de la SAE, n° 831355.

Blondeau, J., Pon, G., Bresciani, S. et Reaney, M. (1996). *Analysis of Selected Diesel Fuel Markets in Canada: Markets for Canola Biodiesel*, rapport pour le compte d'Agriculture Canada et de la Saskatchewan Canola Development Commission.

Booz-Allen & Hamilton (1995). *Technical and Economic Assessment of Biodiesel for Vehicular Fuel Use*, document présenté au National Soydiesel Development Board, avril 1995.

Canadian Grains Industry Handbook (1996). Publié par la Commission canadienne des grains, Winnipeg, Manitoba, Canada.

Chowdury, D.H. (1942). *Indian Vegetable Fuel Oils for Diesel Engines*. Gas and Oil Power, Vol. 37, page 80.

Clark, S.J. et al. (1984). *Methyl and ethyl soybean esters as renewable fuels for diesel engines*, JAOCS, Vol. 61, n° 10.

Clements, L. Davis (1996). *Blending Rules for Formulating Biodiesel Fuel*. Compte rendu de la 3rd Liquid Fuels Conference, organisée par l'ASAE, page 44, Nashville, TN, USA, 15 au 17 sept. 1996.

De Vedia, M.R. (1944). *Vegetable Oil as Diesel Fuel*. Diesel Power, Vol. 22, page 1298, décembre 1944.

Dunn, R.O., Shockley, M.W. et Bagby, M.O. (1997). Document, n° 971682 de la SAE.

Engine Manufacturers Association (1995). *Biodiesel fuels and their use in diesel engine applications*. Rapport préparé par l'Alternative Fuels Committee de l'EMA, Chicago, Ill., USA.

Feug, Y., Wong, A. et Monnier, J. (1993). *Chemical Composition of Tall Oil-Based Cetane Enhancer for Diesel Fuels*. Compte rendu de la First Biomass Conference of the Americas, Burlington, VT, USA, 30 août au 2 sept. 1993.

Fosseen Manufacturing and Development (1994). *Emissions Testing on Biodiesel and Biodiesel Blends*. Rapport final n° NSDB4F15 au National Soy Diesel Development Board, Jefferson City, MO, USA.

Fosseen Manufacturing and Development (1995). *Optimize 20% Methylsoyate and Diesel Blend - 1997 DDC 6V-7IN Coach*. Rapport au National Biodiesel Board, Contract 219-2, janvier 1995.

Freedman, B. et Bagby, M.O. (1989). *Heats of Combustion of Fatty Esters and Triglycerides*. JAOCS, Vol. 66(11), page 1601.

Galbraith, M.C. et Mertz, B.P. (1997). Document no 9728862 de la SAE.

Gay, J. (1997). Présentation du National Biodiesel Board au USDA Office of Procurement and Property Management, Washington, DC, 5 décembre 1997.

Graboski, M.S. et McCormick, R.L. (1997). *Combustion of fat and vegetable oil derived fuels in diesel engines*. À paraître dans Progress in Energy and Combustion Science.

Graboski, M.S., Ross, J.D. et McCormick, R.L. (1996). Document n° 961166 de la SAE.

Hendren, F. (1996). *Results of SuperCetane testing at MSED*, lettre à Ed Hogan, CANMET, 14 février 1996.

Hertz, B.P. (1997). *Winter 1997 Evaluation of Canola Methyl Ester and a Canola Oil Derivative obtained for heated seed as Lubricity Additive for Diesel Fuel*, rapport préparé pour le compte d'Agriculture et Agroalimentaire Canada, novembre 1997.

Howes, P. et Rideout, G. (1995). *Evaluation of Biodiesel in Urban Transit Buses*, rapports n° 95-26743-1 et n° 95-26743-2 du MISTC, Environnement Canada.

Janarthanan, A.K., Clements, E.D., Clements, L.D. (1996). *Densities and Viscosities of Methyl Esters of Fatty Acids and Their Mixtures*, JAOCS.

Krawczyk, T. (1996). *Biodiesel Fuel*. *International News on Fats, Oils and Related Materials (INFORM)*, Vol. 7, n° 8, page 801, août 1996.

Lawson, A. et Thurston, D. (1986). *Design, Development, Fabrication, and Evaluation of a Fuel Management System to Permit a Farm Tractor to Operate on Various Fuels*. Contrat n° 23 SU.01843-2-EL 19, Agriculture Canada.

Manicom, B., Green, C. et Goetz, W. (1993). *Methyl Soyate Evaluation of Various Diesel Blends in a DDC 6V-92TA Engine*, ORTECH International, rapport final no 93-E14-21 à Fosseen Manufacturing and Development, avril 1993.

Marshall, W.F. (1993). *Effects of methylester of tallow and grease on exhaust emissions and performance of a Cummins L-10 engine*. National Institute for Petroleum and Energy Research, Bartlesville, Oklahoma, USA.

Marshall, W., Schumacker, L., Howell, S. (1995). *Engine Exhaust Emissions Evaluation of a Cummins LIOE when Fueled with a Biodiesel Blend*.

McDonald, J.F., Purcell, D.L., McClure, B.T. et Kittelson, D.B. (1995). *Emissions characteristics of soy methyl ester fuels in an IDI compression ignition engine*. Document n° 950400 de la SAE.

Midwest Biofuels Inc. (1993). *Biodiesel Pour Point and Cold Flow Study*, rapport au National Soydiesel Development Board, 30 sept. 1993.

Mittelbach, M.P., Tritthart, P., (1988). *Diesel fuel derived from vegetable oils, III: Emissions tests using methyl esters of used frying oil*. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, Vol. 65 (7), page 1185.

Mittelbach, M.P., Tritthart, P. et Junck, H. (1983). *Diesel fuel derived from vegetable oil, II: Emissions tests using rape oil methyl ester*. *Energy Agriculture*, Vol. 4, page 208.

Monnier, Jacques (1997). Laboratoires de recherches énergétiques de CANMET, Ottawa, Canada. Communications personnelles.

NBB (1997). Communications personnelles et renseignements obtenus auprès du National Biodiesel Board, Jefferson City, MO, USA.

Niehaus, R. A., Goering, C.E., Savage, L.D. et Sovenson, S.C. (1985). *Cracked*

soybean oil as a fuel for a diesel engine. Document n° 85-1560 de l'ASAE.

Nye, M. et Southwell, P. (1983). *A Study of the Catalytic Esterification of Rapeseed Oil as a Fuel for Diesel Engines*. Contrat n° 23 SU. 01843-2-EL 12, Agriculture Canada.

Owen, K. et Coley, T. (1995). *Automotive Fuels Reference Book*, Second Edition, publié par la SAE, Warrendale, PA, USA, 1995.

Paris, France (1993). *Lifecycle Analysis of Biodiesel: Report to the Prolea Onidal*, Ecobalance, Ltd. mars 1993.

Perkins, L.A. et al. (1991). *Durability testing of transesterified winter rape oil as fuel in small bore, multi-cylinder, DI, CI, engines*. Document n° 911764 de la SAE.

Peterson, C.L. (1997). University of Idaho. Communications personnelles.

Peterson, C.L. (1986). *Vegetable Oil as a Diesel Fuel: Status and Research Priorities*. Transactions of ASAE, Vol. 29 (5), page 1413.

Pischinger, G.M., Falcon, A.M., Siekmann, R.W. et Fernandes, F.R. (1982). *Methylesters of plant oils as diesels fuels, either straight or in blends*. *Vegetable Oil Fuels*, publication n° 4-82 de l'ASAE, page 198, Amer. Soc. Agric. Engrs., St. Joseph, MI, USA.

Prakash, C.B. et Goetz, W. (1995). *Impact of Biodiesel on Emissions and Performance of a Heavy Duty Diesel Engine*, compte rendu de la Eleventh International Symposium on Alcohol Fuels, Vol. 3, page 837, SunCity, South Africa, 14 au 17 avril 1996.

Prankl, H. et Worgetter, M. (1996). *Influence of the iodine number of biodiesel to the engine performance*. Compte rendu de la 3rd Liquid Fuels Conference organisée par l'ASAE, page 191, Nashville, TN, USA, 15 au 17 sept. 1996.

Reaney, M. (1997). Agriculture et Agroalimentaire Canada, Saskatoon, Saskatchewan, communications personnelles.

Reece, D.L. et Peterson, C.L. (1993). *A report on the Idaho on-road vehicle test with RME and neat rapeseed oil as an alternative to diesel fuel*. Document no 93-5018 de l'ASAE.

Scholl, K.W. et Sorenson, S.C. (1993). *Combustion of a soybean oil methyl ester in a direct injection diesel engine*. Document n° 930934 de la SAE.

Schumacker, L.G., Hires, W.G. et Borgelt, S.C. (1992). *Fueling a diesel engine with methyl ester soybean oil*. *Liquid Fuels from Renewable Resources* - compte rendu d'une conférence sur les sources énergétiques de remplacement, Nashville, TN, USA.

Schumacker, L.G., Borgelt, S.C. et Hires, W.G. (1993). *Soydiesel I Biodiesel Blend Research*. Document no 93-6523 de l'ASAE.

Schumacker, L., Borgelt, S., Hires, W., Fossen, D. et Goetz, W. (1995). *Fueling Diesel Engines with Blends of Methyl Ester Soybean Oil and Diesel Fuel*.

Schumacker, L.G., Weber, J.L., Russell, M.D., Krahl, J.G. (1995A). *An Alternative Fuel for Urban Buses - Biodiesel Blends*.

Schumacker, L.G. et Van Gerpen, J. (1996). *Research needs resulting from experiences of fueling of diesel engines with biodiesel*, compte rendu de la 3rd Liquid Fuels Conference organisée par l'ASAE, page 207, Nashville, TN, USA, 15 au 17 sept. 1996.

Schwab, A.W., Bagby, M.O. et Freedman, B. (1987). *Preparation and properties of diesel fuels from vegetable oils*. Fuel 66, page 1372.

Shafer, A. (1994). *Biodiesel Research. Mercedes Benz - Engine Warranty Policy*, présenté à Commercialization of Biodiesel: Established of Engine Warranties, page 125, University of Idaho National Center for Advanced Transportation Technology.

Sharp, C.A. (1996). *Emissions and Lubricity Evaluation of Rapeseed Derived Biodiesel Fuels*, rapport final du Southwest Research Institute au Montana Department of Environmental Quality, novembre 1996.

Sharp, C.A. (1994). *Transient Emissions Testing of Biodiesel in a 6V-92tA DDECH Engine*, rapports n^{os} 6602 et 6673 du Southwest Research Institute au National Biodiesel Board, octobre 1994.

Sninivasan, R.P. et Gopalakrishnan, K.V. (1991). *Vegetable oils and their methylesters as fuels for diesel engines*. Indian Journal of Technology, Vol. 29. Page 292.

Starr, M.E. (1997). *Influence on Transient emissions at various Injection Timings, Using Cetane Improvers, Bio-Diesel, and Low Aromatic Fuels*. Document n^o 972904 de la SAE.

Statistique Canada (1996). Demande en carburant diesel au Canada, par provinces.

Stephen, (1993). *The case of biodiesel fuel*. Document présenté à la World Conference of Refinery Processing et Reformulated Gasoline, Information Resources Inc., San Antonio, Texas, USA, 23 au 25 mars 1993.

Stotter, R., Human, D. (1995). *Transient Emission Evaluation of Biodiesel Fuel Blend in a 1987 Cummins L-10 and DDC 6V-92TA*, rapport n^o ETS-95-128 au National Biodiesel Board, novembre 1995.

Stumborg, M. et Craig, W. (1996). *Vegetable Oils as Diesel Substitutes and Extenders: A Canadian Perspective*, rapport à Agriculture Canada.

Teoh, B.C. et Clements, L.D. (1988). *Properties of Fatty Acids and Their Derivatives*, manuscrit non publié, Fats et Oils Laboratory, University of Nebraska, Lincoln.

Tyson, S.K. (1997). Présentation d'un projet du NREL sur le biodiesel au DOE, 16 sept. 1997.

Tyson, S.K. (1998). Communications personnelles et réunion au NREL, 8 janvier 1998.

USBM (1995). *Field trials of soy methyl esters as a fuel for diesel powered equipment in underground mines*. Rapport final de l'AF 95 au National Biodiesel Board, USBM CRDA, n° 6200-0063.

Van Gerpen, J., Hammond, E.G., Yu, L. et Monyen, A. (1997). Document n° 971685 de la SAE.

Van Gerpen, Jon (1996). *Cetane number testing of biodiesel*. Compte rendu de la 3rd Liquid Fuels Conference organisée par l'ASAE, page 197, Nashville, TN, USA, 15 au 17 sept. 1996.

Venendaal, R. (1997). *European Energy Crops Overview - Utilization for Power and Heat Generation and for the Production of Transportation Fuels*. Compte rendu de la Third Biomass Conference of Americas, Vol. 2, page 1291, Montréal, Canada, 24 au 29 août 1997.

Whiteway, P. (1997). *Diesel Stinks*, Canadian Mining Journal, page 10, février 1997.

Williams, P.T., Andrews, G.E. et Bartle, K.D. (1987). *Diesel Particulate Emissions: The Role of Unburnt Fuel in the Organic Fraction Composition*. Document n° 870554 de la SAE.

Ziejewski, M., Kaufman, K.R., Schwab, A.W. et Pryde, E.H. (1984). *Diesel engine evaluation of a nonionic sunflower oil - aqueous ethanol microemulsion*. Journal of the American Oil Chemists Society, Vol. 61(10), page 1620.

ANNEXES

ANNEXE A - TECHNOLOGIE DU MOTEUR DIESEL

C'est l'ingénieur Rodolphe Diesel (1858-1913) qui a conçu le moteur à allumage par compression. Il voulait améliorer l'efficacité thermique décevante des premiers moteurs à essence à allumage par bougie en utilisant un taux de compression plus élevé. Diesel avait imaginé un moteur à allumage par compression pouvant fonctionner avec plusieurs types de carburants injectés par de l'air et enflammés par de l'air comprimé chaud. Le moteur moderne à allumage par compression a évolué à partir du concept initial de Diesel et de celui d'un ingénieur britannique contemporain, Herbert Akroyd-Stuart. Depuis le début du XX^e siècle, le moteur diesel, son circuit d'injection (surtout perfectionné par Robert Bosch) et son carburant ont évolué parallèlement au développement du moteur à étincelle et de ses carburants, mais à un rythme différent.

La plupart des moteurs diesel montés dans des véhicules commerciaux (de cylindrées généralement supérieures à 2,5 litres) sont des moteurs à injection directe (DI), c'est-à-dire que le carburant est injecté directement dans le cylindre et brûlé dans une chambre de combustion, l'espace entre la tête du cylindre et le piston. Les moteurs de plus petites cylindrées destinés aux voitures de tourisme ont été perfectionnés en fonction d'un circuit d'injection indirecte (IDI), dans lequel le carburant est injecté et enflammé dans une chambre de précombustion reliée au cylindre moteur par un étroit passage dans lequel les gaz de combustion se dilatent pour comprimer le piston vers le bas. Les moteurs IDI sont moins efficaces que les moteurs DI en raison des pertes thermiques et des pertes par changement de charge qui sont plus élevées. Ils ne sont toutefois pas aussi dépendants de la qualité du carburant.

Dans les premières années, la grande disponibilité de l'essence à bas prix aux États-Unis faisait en sorte qu'il n'y avait pas lieu d'adopter le moteur diesel, plus économique et plus efficace, dans les transports routiers. Toutefois, depuis la fin de la Seconde Guerre mondiale, le moteur diesel a trouvé sa place dans le transport par autobus et dans le transport longue distance de marchandises aux États-Unis, mais pas vraiment dans les voitures de tourisme. Pour ce qui concerne les gros véhicules routiers à moteur diesel aux États-Unis, l'Environmental Protection Agency (EPA) a publié, au début des années 70, les premières normes sur les émissions. En tenant compte des préoccupations grandissantes au sujet de la qualité de l'air et des effets potentiels des émissions sur la santé, l'EPA a graduellement resserré les normes sur les émissions des gros véhicules en vertu des modifications de 1990 de la *Clean Air Act*. Les normes sur les émissions ont fait l'objet de modifications visant les véhicules et les moteurs de l'année 1994, puis de l'année 1998. L'EPA a aussi mis en œuvre un règlement sur la qualité du carburant diesel. Dans le règlement, la teneur en soufre du carburant est limitée à 0,05 % en poids, l'indice de cétane minimal est de 40 et la teneur maximale en aromates est de 35 % en volume. Les moteurs diesel produisent de nombreux types de polluants dont l'un des plus importants (bien visible de surcroît) est la suie, ainsi que d'autres particules. Une mesure efficace de réduction de ces émissions consiste à employer un carburant de remplacement du diesel qui ne produit pas de suie.

A.1 Combustion dans le moteur diesel

Les émissions du moteur diesel dépendent du mode de combustion. Contrairement aux moteurs à cycle d'Otto (dans lesquels la charge est plus ou moins homogène), tous les moteurs diesel font appel à une combustion hétérogène. Pendant le temps de compression, seul l'air est comprimé. Pendant la compression, l'air s'échauffe à une température de 700 à 900 degrés Celsius, température bien au-dessus du point d'auto-allumage du carburant diesel. Vers la fin du temps de compression, le carburant liquide est injecté dans la chambre de combustion sous une pression très élevée, par de petits orifices à l'extrémité de l'injecteur. La quantité de carburant injectée à chaque course du piston détermine la puissance du moteur.

L'injection à haute pression atomise le carburant. À mesure que le carburant atomisé est injecté dans la chambre, le jet se mélange à l'air chaud qui s'y trouve. Après un très court intervalle appelé délai d'allumage, le mélange carburant-air s'enflamme. Pendant la phase de combustion de prémélange, le mélange carburant-air produit pendant le délai d'allumage brûle très rapidement, ce qui élève rapidement la pression dans le cylindre. Par la suite, la vitesse de combustion est régulée par le débit de brassage du carburant et de l'air résiduels, la combustion se produisant toujours à l'interface entre les deux. La plus grande partie du carburant est brûlée pendant cette phase de combustion diffusante, sauf si la charge est très élevée.

On appelle « mélange stœchiométrique » un mélange carburant-air idéal pour assurer la combustion complète du carburant. Le rapport air-carburant λ correspond à la quantité réelle d'air par unité de carburant par rapport à la quantité stœchiométrique. Dans les moteurs diesel, le mélange carburant-air doit se faire avant la combustion; ainsi, il faut un apport excédentaire important en air pour assurer la combustion complète du carburant dans le court intervalle du temps moteur. Les moteurs diesel doivent donc toujours fonctionner selon un rapport air-carburant beaucoup plus pauvre que le mélange stœchiométrique (λ supérieur à un).

Le rapport air-carburant dans le cylindre pendant un cycle de combustion donné dépend des exigences de puissance motrice qui régissent la quantité de carburant injectée. Les moteurs diesel fonctionnent sans réglage du débit d'admission, de sorte que la quantité d'air dans le cylindre est essentiellement indépendante de la puissance de sortie, sauf dans le cas des moteurs suralimentés. Le rapport minimal air-carburant pour assurer une combustion complète est d'environ $\lambda = 1,5$. Ce rapport est aussi désigné sous l'appellation « limite d'émission de fumée » car si le rapport air-carburant est inférieur à cette valeur, les émissions de fumée augmentent considérablement. La « limite d'émission de fumée » établit la quantité maximale de carburant qui peut être brûlé pendant le temps moteur, et donc la puissance maximale du moteur.

A.2 Émission de polluants du moteur diesel

Les principaux polluants qu'émettent les moteurs diesel sont les oxydes d'azote (NOx), les oxydes de soufre (SOx), les particules (part.), les hydrocarbures imbrûlés (HC) et le monoxyde de carbone (CO). Les moteurs diesel produisent aussi de la fumée visible,

des odeurs désagréables et du bruit. De plus, comme dans le cas de tous les moteurs utilisant des combustibles hydrocarbonés, les moteurs diesel émettent des quantités importantes de dioxyde de carbone (CO₂), élément responsable du réchauffement global de la planète ou de « l'effet de serre ». Toutefois, comme ils ont un rendement thermique généralement supérieur à 40 %, les moteurs diesel sont les moins énergivores de tous les moteurs à combustion les plus courants. Par conséquent, ils émettent moins de CO₂ dans l'atmosphère que tous les autres types de moteurs effectuant le même travail.

Les émissions de NO_x, de HC et de la plupart des particules des moteurs diesel se produisent pendant la combustion et peuvent être contrôlées par une modification du processus de combustion, tout comme peuvent l'être la plupart des émissions non réglementées. Par ailleurs, les oxydes de soufre proviennent directement de la teneur en soufre du carburant et la seule façon de réduire ces émissions consiste à réduire la teneur en soufre du carburant. La plupart des émissions de SO_x sont sous forme de dioxyde de soufre gazeux (SO₂), mais une petite quantité (normalement jusqu'à 5 %) est émise sous forme de particules de sulfates.

Les émissions de particules des moteurs diesel comprennent trois principaux éléments : les suies produites pendant la combustion, les hydrocarbures lourds condensés ou adsorbés par les suies, ainsi que les sulfates. Dans les moteurs diesel plus vieux, les suies représentaient entre 40 et 80 p. 100 de la masse totale des particules. Des moyens perfectionnés de réduction des émissions dans le cylindre ont contribué à réduire considérablement les émissions de suie dans les moteurs diesel modernes. La plus grande quantité de la masse résiduelle de particules est constituée d'hydrocarbures lourds adsorbés ou condensés dans les suies. C'est ce qu'on appelle la fraction organique soluble des particules ou FS. La FS provient en partie de l'huile moteur, en partie du carburant imbrûlé et en partie des composés produits pendant la combustion. L'importance relative de chacune de ces sources varie d'un moteur à l'autre.

Les techniques de contrôle des émissions dans le cylindre se sont révélées les plus efficaces dans la réduction de la suie et des composants particulaires de la FS attribuables au carburant. Ainsi, l'huile moteur et les composés de sulfates revêtent une importance relative plus grande. Il est possible de réduire les émissions attribuables à l'huile moteur en contrôlant la consommation d'huile ou en modifiant l'huile, mais cela peut avoir un effet défavorable sur la durabilité du moteur. La seule façon connue de réduire les émissions de sulfates consiste à réduire la teneur en soufre du carburant diesel.

Les hydrocarbures gazeux et la FS des particules qu'émettent les moteurs diesel contiennent de nombreux contaminants atmosphériques dont les effets toxiques ou cancérigènes sont connus ou soupçonnés. Ces contaminants comprennent les composés d'hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) et de nitro-HAP, le formaldéhyde et d'autres aldéhydes, ainsi que d'autres hydrocarbures oxygénés. Les hydrocarbures oxygénés sont aussi responsables de l'odeur caractéristique des effluents gazeux des moteurs diesel.

A.2.1 Oxydes d'azote

Les oxydes d'azote se forment à partir de l'azote et de l'oxygène libre à des températures élevées voisines du front de flamme. La vitesse de formation des NOx dans un moteur diesel est fonction de la disponibilité en oxygène et est exponentiellement dépendante de la température de la flamme. Dans la phase de combustion diffusante, la température de la flamme dépend de la valeur calorifique du carburant, de la capacité calorifique des produits de la réaction, de la présence de tout gaz inerte et de la température initiale du mélange. Dans la phase de combustion du prémélange, le rapport air-carburant a aussi un effet sur la température de la flamme, mais ce rapport varie d'un endroit à l'autre dans le cylindre et est très difficile à réguler.

Dans les moteurs diesel, la plupart des NOx se forment au début du processus de combustion, lorsque le piston se trouve près du point mort haut. La température et la pression de la charge se trouvent alors à leur valeur maximale. Les résultats d'études (Wade *et al.*, 1987 ; Cartellieri et Wachter, 1987) montrent que la plus grande partie des NOx se forment en réalité pendant la phase de combustion du prémélange. On a constaté qu'en réduisant la quantité de carburant brûlé pendant cette phase, on pouvait réduire sensiblement les émissions de NOx.

On peut aussi réduire les émissions de NOx en abaissant la température de la flamme pendant la combustion. Pour ce faire, on peut retarder la combustion après le point mort haut, refroidir la charge d'air admis dans le cylindre, réduire la vitesse du mélange air-carburant près du point mort haut, ou faire recirculer les effluents gazeux (RGE). Comme la combustion a toujours lieu dans des conditions près des conditions idéales (ou stœchiométriques), il est impossible de réduire la température de la flamme par la technique du mélange pauvre comme dans le cas des moteurs à étincelle.

A.2.2 Particules

Le suie du moteur diesel se forme uniquement pendant la phase de combustion diffusante. Les principales particules de suie, de minuscules sphères de carbone d'environ 0,01 μm de diamètre, se forment pendant la polymérisation rapide de l'acétylène à des températures modérément élevées dans des conditions pauvres en oxygène. Les principales particules s'agglutinent et forment des chaînes et des grappes de particules liées, ce qui donne à la suie son aspect duveteux caractéristique. Pendant la phase de combustion diffusante, la composition des gaz au front de flamme est presque stœchiométrique, c'est-à-dire avec une région riche en oxygène d'un côté et une région riche en carburant de l'autre. Il y a donc toujours présence de températures modérément élevées et d'un excédent de carburant, des paramètres nécessaires à la formation de la suie.

La plus grande partie de la suie formée est ensuite brûlée pendant les dernières portions du temps de détente. Généralement, une quantité inférieure à 10 % de la suie produite dans le cylindre est dissipée dans l'atmosphère. La suie s'oxyde beaucoup plus lentement qu'elle se forme, mais la quantité de suie oxydée dépend en grande partie de la disponibilité de températures élevées et d'un apport suffisant en oxygène

pendant les dernières phases de la combustion. Lorsque les conditions limitent la disponibilité en oxygène (par exemple un mélange pauvre ou un rapport air-carburant faible), ou limitent l'intervalle d'oxydation de la suie (par exemple un retard de l'intervalle de combustion), la formation de la suie a tendance à augmenter.

La composante FS des particules émises par les moteurs diesel est constituée d'hydrocarbures lourds condensés ou adsorbés par la suie. Elle comprend une bonne proportion d'huile moteur imbrûlée, dissipée par les parois du cylindre sous forme de vapeur en présence des gaz chauds au cours du temps moteur. Une partie des hydrocarbures lourds imbrûlés du carburant peut aussi se condenser sur les particules de suie. Enfin, des hydrocarbures lourds peuvent se former par pyrosynthèse pendant la combustion (Williams *et al.*, 1987).

A.2.3 Hydrocarbures

Les moteurs diesel produisent des émissions de HC (ainsi que des éléments imbrûlés de la FS des particules) surtout sous de faibles charges. Ces émissions sont attribuables à un mélange excessif air-carburant, ce qui fait que certains volumes du mélange sont trop pauvres et ne brûlent pas. Les émissions de HC peuvent aussi provenir de dépôts de carburant sur les parois de la chambre de combustion ou dans les interstices de la chambre de combustion à la suite de l'injection; du carburant résiduel dans les orifices des injecteurs et qui se vaporise à la fin du cycle de combustion; et du mélange partiellement débité qui est soumis à un refroidissement rapide causé par le mélange trop rapide avec l'air. Des aldéhydes (sous forme d'hydrocarbures partiellement débités) et de petites quantités de CO produites par les moteurs diesel se forment probablement au cours des mêmes processus que ceux pendant lesquels se forment les HC.

La présence d'hydrocarbures aromatiques polycycliques et de leurs composés nitrés à l'échappement des moteurs diesel pose un problème particulier, car ces composés peuvent renfermer des éléments mutagènes connus et des éléments soupçonnés d'être cancérigènes. Il semblerait qu'une partie importante de ces composés proviennent directement du carburant. Le carburant diesel type contient un bon pourcentage de HAP en volume. En outre, la plupart des plus grosses particules de HAP, les plus dangereuses, semblent se former pendant la combustion, peut-être à partir du même processus de polymérisation de l'acétylène qui produit la suie.

A.2.4 Fumée visible

La fumée visible est surtout imputable à la composante de suie des particules qu'émet le moteur diesel. Dans la plupart des conditions de fonctionnement, la signature de l'échappement d'un moteur diesel bien réglé est normalement invisible, l'opacité totale étant égale ou inférieure à 2 %. Les émissions de fumées visibles des gros moteurs diesel sont généralement imputables à un fonctionnement à un rapport air-carburant égal ou inférieur à la limite d'émission de fumée, ou à un mélange air-carburant pauvre dans le cylindre. Une construction bien adaptée peut éliminer ces conditions.

A.2.5 Bruit

Le bruit dans le moteur diesel est principalement causé par la combustion rapide (et l'élévation rapide de la pression qui en résulte) dans le cylindre pendant la phase de combustion du prémélange. Plus le retard d'allumage est long et plus il y a de carburant mélangé avec l'air, plus l'élévation de la pression est grande et plus il y a de bruit. Le bruit et les émissions de NO_x semblent donc en relation et le fait de réduire la quantité de carburant brûlé pendant la phase de combustion du prémélange permet de réduire ces deux éléments.

A.2.6 Odeur

On croit que l'odeur caractéristique à l'échappement du diesel serait surtout attribuable à des hydrocarbures partiellement oxygénés (aldéhydes et des espèces semblables) qui se forment à la suite d'une combustion incomplète du carburant. Les espèces aldéhydes les plus importantes sont le formaldéhyde, l'acétaldéhyde, le benzaldéhyde et l'acroléine (un irritant puissant). Les émissions d'aldéhydes et les odeurs sont étroitement liées aux émissions totales de HC. Des expériences ont montré que des modifications apportées afin de réduire les émissions totales de HC permettaient aussi de diminuer les émissions d'aldéhydes et les odeurs.

A.3 Influence des variables du moteur sur les émissions

Le rapport air-carburant, le débit de brassage du mélange air-carburant, l'avance à l'injection, le taux de compression, ainsi que la température et la composition de la charge dans le cylindre sont les variables du moteur diesel qui ont le plus d'effets sur les émissions du moteur. La plupart des techniques de contrôle des émissions dans le cylindre font appel à la manipulation d'une ou de plusieurs de ces variables.

A.3.1 Rapport air-carburant

Le rapport air-carburant dans la chambre de combustion joue un rôle très important dans le taux d'émission de HC et de particules. La figure 1 montre la relation typique qui existe entre le rapport air-carburant (λ) et les émissions dans un moteur diesel. Comme on l'a mentionné précédemment, la puissance de sortie du moteur est dépendante de la quantité de carburant injectée au début de chaque temps moteur. Lorsque le rapport air-carburant (λ) est très élevé (ce qui correspond à une charge très légère), la température dans le cylindre à la suite de la combustion est trop basse pour brûler complètement les hydrocarbures résiduels; ainsi les émissions de HC gazeux et de la FS des particules sont élevées. À des rapports air-carburant faibles, il y a moins d'oxygène pour oxyder la suie; ainsi, les émissions de suie sont plus importantes. Tant que la valeur λ demeure supérieure à environ 1,6, cette augmentation se fait graduellement. Les émissions de suie et de fumée visible montrent une forte augmentation non linéaire en dessous de la limite maximale de fumée (lorsque la valeur λ est égale à environ 1,5).

Dans les moteurs à aspiration naturelle (sans compresseur de suralimentation), la quantité d'air dans le cylindre est indépendante de la puissance de sortie. La

puissance de ces moteurs est normalement « limitée par l'émission de fumée », c'est-à-dire limitée par la quantité de carburant qui peut être injectée sans dépassement de la limite maximale d'émission de fumée. Les réglages maximums du mélange carburant de ces moteurs constituent un compromis entre les émissions de fumée et la puissance de sortie.

Dans les moteurs suralimentés, l'augmentation de la quantité de carburant injectée à chaque temps moteur accroît l'énergie dans les gaz d'échappement, ce qui fait tourner plus rapidement le compresseur de suralimentation qui pompe alors une plus grande quantité d'air dans la chambre de combustion. C'est pourquoi les moteurs suralimentés ne sont normalement pas assujettis à la limite d'émission de fumée.

A.3.2 Débit de brassage du mélange air-carburant

Le débit de brassage de l'air comprimé et du carburant injecté constitue l'un des plus importants paramètres du calcul du rendement et des émissions d'un moteur diesel. Pendant la phase de délai d'allumage, le débit de brassage du mélange permet d'établir la quantité de carburant qui se mélange à l'air et qui est donc utilisable pour la combustion pendant la phase de combustion du prémélange. Plus le débit de brassage est élevé, plus il y a de carburant qui brûle en mode de prémélange et plus le bruit et les émissions de NOx seront élevés.

Dans la phase de combustion diffusante, la vitesse de combustion est limitée par la vitesse de brassage de l'air et du carburant. Lorsque le brassage se fait rapidement et complètement, une plus grande quantité de carburant brûle près du point mort haut du piston, ce qui augmente l'efficacité énergétique et réduit les émissions de suie. Toutefois, si le brassage se fait trop rapidement, les émissions de HC peuvent augmenter (surtout aux faibles charges) car de petits volumes du mélange air-carburant se diluent en dessous du niveau de combustion avant d'avoir la chance de brûler. Un brassage intense superflu du mélange dissipe également de l'énergie par turbulence, ce qui accroît la consommation de carburant.

Les vitesses de brassage du mélange air-carburant dans les moteurs actuels à émissions contrôlées sont axées sur l'optimisation de manière à assurer un mélange rapide et complet dans presque toutes les conditions d'exploitation. Un mauvais mélange peut encore se produire en surcharge ou en fonctionnement sous couple élevé lorsque le moteur tourne à bas régime. Des problèmes d'entretien, par exemple la présence de dépôts à l'extrémité des injecteurs, peuvent aussi avoir un effet défavorable sur le brassage du mélange air-carburant et, par conséquent, augmenter considérablement les émissions.

A.3.3 Avance à l'injection

L'avance à l'injection qui consiste à régler le début de l'injection de carburant avant que le piston arrive au point mort haut (temps de compression) a un effet important sur les émissions du moteur diesel et sur la réduction de la consommation de carburant. Pour une meilleure consommation, il est préférable que la combustion s'amorce au point mort haut (PMH) ou un peu avant. Comme il y a un délai donné entre le début de

l'injection et le début de la combustion, l'injection de carburant doit commencer un peu avant ce point (généralement de 5 à 15 degrés de rotation du vilebrequin, avant).

Comme le carburant est injecté avant que le piston arrive au PMH, la température de la charge d'air continue de s'élever à mesure que celle-ci se comprime. Lorsque le carburant est injecté tôt, la charge est plus froide et le délai d'allumage est plus long. Le délai d'allumage plus long donne plus de temps à l'air et au carburant de se mélanger, ce qui augmente la quantité de carburant qui brûle pendant la phase de combustion de prémélange. De plus, une plus grande quantité de carburant brûle au PMH ou avant, ce qui accroît la température et la pression maximales dans le cylindre. Ces deux effets ont tendance à augmenter les émissions de NOx.

Par ailleurs, lorsque l'avance à l'injection est hâtive, les émissions de particules et de HC sous faible charge sont réduites. Le carburant qui brûle pendant la phase de combustion de prémélange produit peu de suie, alors que la suie produite pendant la phase de combustion diffusante au voisinage du PMH demeure assez longtemps à haute température et en situation de brassage intense, ce qui fait que la plus grande partie de cette suie est oxydée. Le point de calage de fin d'injection a aussi un effet important sur les émissions de suie. Si le carburant est injecté plus de quelques degrés avant le PMH, il brûle plus lentement à une température plus basse de sorte que la suie produite a moins de temps pour s'oxyder pendant le temps moteur.

Le calage de l'avance à l'injection doit donc constituer un juste milieu entre les émissions de particules et la réduction de la consommation, d'une part, et le bruit, les émissions de NOx et la pression maximale dans le cylindre, d'autre part.

Comparativement aux moteurs sans dispositif antipollution, les moteurs modernes dotés de ce genre de dispositifs présentent généralement une avance à l'injection modérée afin de réduire les émissions de NOx, ainsi qu'une pression d'injection élevée afin de limiter les effets du retard à l'injection sur les émissions de particules et l'économie de carburant. Le calage de l'avance à l'injection doit se faire avec grande précision, car une modification aussi faible qu'un degré de rotation du vilebrequin peut avoir des conséquences significatives sur les émissions. Le calage optimal de l'avance à l'injection est une opération complexe qui doit tenir compte de la construction du moteur, du régime et de la charge du moteur, ainsi que de la sévérité des normes sur les émissions des divers polluants. L'avance à l'injection a constitué un problème d'envergure que les motoristes ont dû résoudre afin d'obtenir la souplesse et la précision recherchées.

A.3.4 Taux de compression

Les moteurs diesel font appel au chauffage par compression pour enflammer le carburant; ainsi, le taux de compression du moteur a un effet important sur la combustion. Un taux de compression plus élevé hausse davantage la température de la charge comprimée, ce qui réduit le délai d'allumage et augmente la température de la flamme. Un délai d'allumage plus court réduit les émissions de NOx, alors que la température plus élevée de la flamme devrait normalement les augmenter. Dans la pratique, ces effets s'annulent presque l'un l'autre, de sorte que des variations du taux de compression ont un effet négligeable sur les émissions de NOx.

Des taux de compression élevés réduisent les émissions de HC gazeux et de la FS des particules. Le taux de compression a aussi une incidence sur la consommation de carburant et les caractéristiques de démarrage par temps froid du moteur, ainsi que sur les pressions maximales dans les cylindres. Pour favoriser une bonne aptitude du moteur à démarrer par temps froid, le taux de compression de la plupart des moteurs diesel doit être de 15 à 20, voire plus élevé.

A.3.5 Température de la charge d'air

L'abaissement de la température de l'air admis dans les cylindres permet de réduire les émissions de particules et de NOx. Le fait d'abaisser directement la température de la charge d'air diminue la température de la flamme pendant la combustion, ce qui contribue à réduire les émissions de NOx. De plus, l'air froid est plus dense de sorte que (pour une même pression) une plus grande masse d'air peut être contenue dans le même volume fixe du cylindre. Le rapport air-carburant dans le cylindre est ainsi accru et favorise une réduction des émissions de suie. En augmentant la quantité d'air disponible tout en diminuant la température des pistons, le refroidissement par la charge d'air peut aussi accroître la puissance de sortie de façon significative. Toutefois, une charge d'air trop froide peut augmenter la quantité d'hydrocarbures imbrûlés et ainsi augmenter les émissions de HC sous faible charge. Pour contrer cet effet, on peut avancer l'injection ou réduire le refroidissement par l'air aux faibles charges.

A.3.6 Composition de la charge

Les émissions de NOx dépendent fortement de la température de la flamme. En modifiant la composition de la charge d'air afin d'en augmenter la chaleur spécifique et la concentration de gaz inertes, il est possible de diminuer sensiblement la température de la flamme. La façon la plus courante d'y arriver consiste à employer la recirculation des effluents gazeux (RGE). À des charges modérées, la RGE a permis de réduire de deux fois et même plus les émissions de NOx sans vraiment avoir d'effet sur les émissions de particules. La concentration réduite en oxygène tend à augmenter les émissions de suie, mais elle réduit les émissions de la FS des particules et les émissions de HC gazeux, car la température est plus élevée dans le cylindre du fait des effluents gazeux chauds. On ne peut toutefois faire appel à la RGE à des charges élevées, car le déplacement de l'air par les gaz d'échappement pourrait entraîner un rapport air-carburant inférieur à la limite d'émission de fumée et ainsi produire des émissions très importantes de suie et de particules.

A.4 Situation conflictuelle entre les émissions

À la lumière de ce qui précède, il semble exister une situation conflictuelle inhérente entre certaines des techniques les plus efficaces de réduction des NOx des moteurs diesel et les émissions de particules. C'est justement à partir de ces fondements qu'est établie la relation « conflictuelle » entre les émissions de NOx et les émissions de particules des moteurs diesel. Cette situation « conflictuelle » n'est pas absolue, car certaines techniques de réduction des émissions de NOx permettent aussi de réduire,

dans une certaine mesure, les émissions de suie et de HC; de plus, l'importance de ces effets varie en fonction du régime du moteur et de la charge. En raison de ces conflits, toutefois, il y a des limites quant au degré de réduction possible de l'un ou l'autre de ces polluants. La réduction simultanée des émissions de ces deux types de polluants requiert une optimisation étudiée de l'injection de carburant, du brassage du mélange air-carburant et des modes de combustion, dans toutes les conditions d'exploitation du moteur.

En général, on pense que les carburants de remplacement comme le biodiesel pourraient favoriser une réduction des émissions de particules des moteurs diesel. Cela est attribuable en partie au fait que le biodiesel ne contient pas de soufre et ne produit donc pas une fraction de sulfates dans les émissions de particules.

De plus, le biodiesel ne contient pas d'hydrocarbures aromatiques comme les HAP; par conséquent, les émissions de HC gazeux et de la FS des particules sont beaucoup moins toxiques.

ANNEXE B – PROJETS DE LOI AMÉRICAINS - SÉNAT ET CHAMBRE DES REPRÉSENTANTS - SUR LE BODIESEL

PROJET DE LOI 8025 DE LA CHAMBRE DES REPRÉSENTANTS

105^e CONGRÈS

1^{re} Session

H.R. 2568

Pour modifier la *Energy Policy Act* de 1992 afin de tenir compte des nouveaux carburants axés sur l'énergie renouvelable et de mettre en œuvre des mesures incitatives équitables pour l'acquisition de véhicules fonctionnant avec des carburants de remplacement, de manière à offrir plus de souplesse aux propriétaires et exploitants de parcs de véhicules réglementés, ainsi que pour d'autres fins.

DANS LA CHAMBRE DES REPRÉSENTANTS

26 septembre 1997

M. SHIMKUS (pour lui-même, et pour M^{me} MCCARTHY du Missouri, M. GUTKNECHT, M. EVANS, M. HASTERT, M. KLUG, M^{me} EMERSON, M. HULSHOF, M. WELLER, M^{me} DANNER, M. SKELTON, M. GILCHREST, M. BEREUTER, M. LATHAM, M. NUSSLE, M. THOMPSON, M. EWING, M. LEACH, M. GANSKE, M. BOSWELL, M. COSTELLO, M. THUNE, M. LAHOOD, et M. TRICKLAND) a présenté le projet de loi suivant, déposé devant le Committee on Commerce.

UN PROJET DE LOI pour modifier la *Energy Policy Act* de 1992 afin de tenir compte des nouveaux carburants axés sur l'énergie renouvelable et de mettre en œuvre des mesures incitatives équitables pour l'acquisition de véhicules fonctionnant avec des

carburants de remplacement, de manière à offrir plus de souplesse aux propriétaires et exploitants de parcs de véhicules réglementés, ainsi que pour d'autres fins.

Qu'il soit adopté par le Sénat et la Chambre des représentants des États-Unis d'Amérique assemblés en Congrès, *ENERGY POLICY ACT* (Chambre des représentants - 26 septembre 1997)

[Page : H8025]

Le PRÉSIDENT intérimaire. En vertu d'un ordre précédent de la Chambre, Monsieur de l'Illinois [M. Shimkus] a droit de parole pendant 5 minutes.

M. SHIMKUS. M. le Président, en 1992, le Congrès a adopté la *Energy Policy Act* qui établit les exigences fédérales visant l'emploi de véhicules à carburants de remplacement tels que les voitures mues à l'éthanol. En vertu de cette Loi, les administrations fédérales, des États et municipales sont tenues d'utiliser des véhicules plus propres et plus écologiques. La Loi fait état des types de carburants et de véhicules que peuvent utiliser les gestionnaires de parcs pour se conformer à la Loi.

Malheureusement, le biodiesel ne figurait pas dans la liste des carburants de remplacement à ce moment-là parce qu'il s'agissait d'une industrie nouvelle et que le produit n'avait pas fait l'objet d'essais ni n'avait été éprouvé. Aujourd'hui, cependant, ce n'est plus le cas. C'est pourquoi je désire présenter un projet de loi, en compagnie de Madame du Missouri [M^{me} McCarthy], afin de classer le biodiesel parmi les carburants de remplacement en vertu de la *Energy Policy Act* de 1992.

Le biodiesel est un carburant de remplacement renouvelable produit à partir de graines de soja et destiné aux moteurs diesel. Une fois le biodiesel classé comme un carburant de remplacement en vertu du présent projet de loi, il pourra être employé immédiatement dans les moteurs diesel ordinaires, sans qu'il soit nécessaire de modifier les moteurs. Les gros véhicules tels que les autobus urbains, les bateaux et les camions constituent quelques exemples des types de véhicules pouvant utiliser le mélange B-20.

Les moteurs diesel utiliseront le biodiesel dans des mélanges contenant 20 p. 100 de biodiesel et 80 p. 100 de diesel, le mélange le plus efficace, qui offre le meilleur rendement énergétique et qui est le plus écologique.

[HEURE : 12 h 30]

L'emploi du biodiesel permettra des économies sur les dépenses en immobilisations car les gestionnaires de parcs seront en mesure de modifier et d'améliorer leurs véhicules existants plutôt que de remplacer l'ensemble de leurs véhicules.

La production, la vente et l'utilisation du biodiesel créeront un nouveau marché pour nos agriculteurs et, du même coup, stimuleront notre économie. Comme le biodiesel est plus propre que le carburant diesel ordinaire, il permettra de réduire les émissions de polluants dans notre environnement, par exemple les particules, les hydrocarbures et le

monoxyde de carbone.

En accordant au biodiesel le statut de carburant de remplacement, le présent projet de loi favorisera le développement économique et la sécurité énergétique. Le biodiesel créera des emplois et générera des recettes fiscales découlant de la transformation d'une plus grande partie de l'huile de soja que nous produisons aux États-Unis.

Le marché émergent du biodiesel offre un marché stable et durable pour la production intérieure efficace de graines de soja et qui sera directement avantageux pour les agriculteurs américains. L'emploi de biodiesel produit ici permettra aussi d'améliorer notre sécurité énergétique nationale en limitant notre dépendance vis-à-vis de l'énergie importée, comme le pétrole étranger.

Il importe de constater que cette législation ne crée pas d'exonération de taxes ni de nouveau mandat fédéral. Ce projet de loi vise simplement à permettre à l'industrie du biodiesel de compétitionner dans le marché des carburants de remplacement, et à donner aux gestionnaires de parcs de véhicules plus de souplesse afin de se conformer aux mandats auxquels ils sont tenus au niveau fédéral.

La production, la vente et l'utilisation de biodiesel sont avantageuses pour l'environnement, pour les exploitations agricoles familiales, pour l'économie et pour notre sécurité énergétique. En qualité de représentant de l'un des États agricoles les plus importants aux États-Unis, créer de nouveaux marchés pour nos exploitations agricoles familiales, aider l'économie et conserver la bonne qualité de notre air constituent pour moi des enjeux très importants.

Alors que nous cherchons présentement des solutions à nos préoccupations environnementales, de nouveaux marchés pour nos exploitations agricoles et des moyens de relancer l'économie et assurer notre sécurité énergétique, le biodiesel semble une solution tout indiquée pour tout le monde.

H.R.2568

Modifications de 1997 à la *Energy Policy Act* (déposées à la Chambre)

PROJET DE LOI DU SÉNAT SUR LE BIODIESEL

PARRAIN : Sénateur Johnson (présenté le 09/02/97)

TITRE OFFICIEL TEL QUE PRÉSENTÉ :

Un projet de loi pour modifier la *Energy Policy Act* de 1992 afin de tenir compte des nouveaux carburants axés sur l'énergie renouvelable et de mettre en œuvre des

mesures incitatives équitables pour l'acquisition de véhicules fonctionnant avec des carburants de remplacement, de manière à offrir plus de souplesse aux propriétaires et exploitants de parcs de véhicules réglementés, ainsi que pour d'autres fins.

SITUATION : En comité

SITUATION : Contexte législatif détaillé

Action(s) du Sénat

2 septembre 1997 :

Deuxième lecture et renvoi au *Committee on Energy and Natural Resources*.

LA BIODIESEL ENERGY DEVELOPMENT ACT DE 1997

M. CRAIG. M. le Président, il me fait plaisir aujourd'hui de présenter, avec les sénateurs Johnson, Wellstone et Grassley, la *Biodiesel Energy Development Act* de 1997. Cette loi constitue une étape cruciale en vue de l'atteinte d'un objectif très important pour le pays, à savoir faire en sorte que la demande énergétique nationale dépende de moins en moins du pétrole importé et qu'elle soit de plus en plus axée sur des sources renouvelables produites au pays, comme le prescrit la *Energy Policy Act* de 1992, aussi connue sous l'appellation EPACT.

Pour atteindre l'objectif établi dans l'EPACT, qui est de remplacer par des carburants de substitution 10 p. 100, puis 30 p. 100 du pétrole en l'an 2000 et en l'an 2010, respectivement, les gestionnaires de parcs de véhicules des administrations fédérales et des États, ainsi que de certains parcs de véhicules privés seront tenus en vertu de la loi d'acquiescer des véhicules fonctionnant avec des carburants de remplacement (AFV).

Les AFV spécialisés sont des véhicules conçus pour fonctionner uniquement avec des carburants de remplacement. Les véhicules fonctionnant au gaz naturel et les véhicules électriques sont les deux exemples les plus courants d'AFV. Les véhicules multicarburants (FFV) sont des véhicules pouvant fonctionner avec des carburants de remplacement tels le méthanol et l'éthanol, les carburants de pétrole, ou une combinaison des deux types.

Les mandats, les mesures incitatives et les subventions en vertu de EPACT en vigueur ne tiennent pas compte des mélanges de carburant biodiesel en tant que carburant de remplacement ni en tant qu'option pour les propriétaires et les exploitants de parcs de véhicules assujettis à la réglementation sur les émissions. L'EPACT offre peu de mesures incitatives pour les gros FFV qui pourraient utiliser avantageusement le biodiesel; en effet, les gestionnaires de parcs ne peuvent obtenir de crédits pour les gros FFV que s'ils ont acquis le nombre de petits AFV auquel ils sont tenus. De plus, l'EPACT n'autorise pas la conversion des véhicules existants aux normes FFV au moment de leur révision ou de leur remise à neuf, ni n'offre de garantie en ce sens. M. le Président, en excluant le biodiesel de la liste des carburants de remplacement, on

empêche tout simplement les gestionnaires de parcs de véhicules de se conformer aux mandats de l'EPACT.

Laissez-moi vous citer certains des avantages du biodiesel. Le biodiesel est un carburant plus propre fait à partir de sources renouvelables naturelles telles les huiles végétales et qui est produit ici même au pays. Par conséquent, il est clair que l'emploi du biodiesel peut effectivement réduire la dépendance des États-Unis à l'égard du pétrole importé.

Le biodiesel aide aussi à réaliser un autre objectif de cette administration, à savoir protéger l'environnement en réduisant les émissions susceptibles d'appauvrir la couche d'ozone et de contribuer à l'effet de serre. Le biodiesel répond parfaitement à ces exigences.

Mélangé dans une concentration de 20 p. 100 avec du carburant diesel, le biodiesel permet de réduire sensiblement la fumée visible et l'odeur et de diminuer de 14 p. 100 les émissions de particules. Employé avec un convertisseur catalytique d'oxydation, le biodiesel diminue de 45 p. 100 les émissions de particules, de 41 p. 100 les émissions de monoxyde de carbone et de 65 p. 100 les émissions totales d'hydrocarbures.

M. le Président, le biodiesel fait tout ceci sans exiger de modifications coûteuses aux moteurs, sans diminuer la capacité de charge utile ou la gamme des véhicules. Le biodiesel offre un rendement similaire à celui du carburant diesel en matière de couple, de puissance et de consommation (milles/gallon).

Bref, le biodiesel présente un aussi bon rendement que le carburant diesel, mais tout en offrant aux consommateurs les avantages des carburants de remplacement. De plus, une fois le marché du biodiesel bien lancé, on estime à plus de 11 milliards de dollars les retombées économiques pour les États cultivant des graines oléagineuses. Le biodiesel est aussi biodégradable et non toxique; il ne constitue donc pas un danger pour l'environnement.

La *Biodiesel Energy Development Act* permettrait de résoudre de nombreux problèmes de l'EPACT et aiderait les gestionnaires de parcs de véhicules à atteindre les objectifs de l'EPACT. Cette loi permettrait de désigner un mélange diesel-biodiesel comme carburant de remplacement; de mettre en œuvre des mesures incitatives équitables entre les AFV et les carburants de remplacement; de mettre en œuvre des mesures incitatives équitables entre les différents types d'AFV; d'offrir plus de souplesse aux propriétaires et exploitants de parcs de véhicules réglementés en vertu de l'EPACT pour qu'ils puissent se conformer aux exigences d'acquisition d'AFV; et de mettre en place une solution avantageuse pour l'emploi d'AFV multicarburants.

M. le Président, il est temps de permettre aux gestionnaires de parcs de véhicules assujettis aux dispositions de l'EPACT d'acquérir des AFV pouvant fonctionner au biodiesel. Je demande instamment à mes collègues de soutenir cet important projet de loi.

ANNEXE C

PROJETS DE RECHERCHE SUR LE BIODIESEL AUX ÉTATS-UNIS (1994-1995)

Project Management, Market Development, and Public Outreach for Biodiesel

Organisme responsable : U.S. Department of Energy (DOE), 1000 Independence Avenue, SW, Washington, DC 20585

Gestionnaire de projet : J.J. Sheehan, (303) 275-4420

Entrepreneur : National Renewable Energy Laboratory (NREL), 1617 Cole Boulevard, Golden, CO 80401-3393

Enquêteur principal : J.J. Sheehan, (303) 275-4420

Numéro du contrat : DE-ACO2-83CH10093

Durée du contrat : 10/94 à 9/95

Financement du contrat (source) :

AF 1995 : 70 900 \$ (DOE)

Objectif : Établir des plans opérationnels et stratégiques pour le biodiesel, coordonner et soutenir des activités de développement de marché dans l'industrie du biodiesel et au DOE, et accroître le soutien et la sensibilisation du public dans la technologie du biodiesel.

Approche/Contexte : Le biodiesel est un carburant renouvelable de remplacement du diesel et qui est produit par réaction chimique d'un alcool et d'une huile naturelle. L'attitude du DOE face au projet de biodiesel a considérablement évolué depuis les deux dernières années. Au départ, le DOE visait à mettre l'accent sur une recherche à long terme sur du biodiesel produit par transformation en huiles naturelles de microalgues provenant de CO₂ résiduel d'installations énergétiques alimentées par des combustibles fossiles. Cette recherche est nécessaire à long terme pour garantir une source suffisamment abondante en huiles naturelles pour satisfaire aux besoins du secteur des transports. Le projet actuel met l'accent sur des objectifs à court et à long terme. À court terme, il s'agit d'étudier les possibilités du biodiesel produit à partir d'huiles végétales et de graisses animales.

Situation/Réalisations : Nous avons fait de grands pas dans l'élaboration d'une stratégie concertée pour la mise en place d'une industrie américaine du biodiesel. Pour la première fois, nous disposons d'un plan stratégique définissant plusieurs voies fondamentales pour le biodiesel et mettant l'accent sur nos ressources limitées qui peuvent être employées dans les activités essentielles à l'atteinte de nos objectifs.

L'appui du public pour le biodiesel s'accroît de façon exponentielle. Il y a deux ans, le biodiesel était pratiquement inconnu aux États-Unis. Aujourd'hui, il fait l'objet d'essais dans des zones écologiquement sensibles et dans des marchés à créneaux comme les mines, le transport par autobus, les parcs de véhicules de gouvernements et le

secteur maritime. Une bonne part de cet intérêt grandissant est imputable au travail du National Biodiesel Board (NBB). Le NREL a établi une étroite collaboration de travail avec le NBB, pour permettre aux deux organismes de mettre en commun leurs travaux de R et D, de développement de marchés et de recherche de financement.

Rapports des principaux projets : Voir la bibliographie. Date du résumé : septembre 1995

Existing Technology Options for Production of Biodiesel from Low-Cost Feedstocks

Organisme responsable : U.S. Department of Energy (DOE), par l'entremise du National Renewable Energy Laboratory (NREL), 1617 Cole Boulevard, Golden, CO 80401-3393
Gestionnaire de projet : J.J. Sheehan, (303) 275-4420

Entrepreneur : MARC-IV, 6807 W. 202nd Terrace, Bucyrus, KS 66013

Enquêteur principal : S. Howell, (913) 681-0400
Numéro du contrat : ACF-5-14418-01
Durée du contrat : 1/95 à 12/95

Financement du contrat (source) :
AF 1994 : 25 000 \$ (DOE)

Objectif : Établir les options technologiques pour l'évaluation et la production de biodiesel à partir de matières premières à bas prix, dans le cadre d'un projet pilote.

Approche/Contexte : Le coût du biodiesel produit à partir d'huile de soja vierge aux États-Unis est compris entre 2,50 et 3,50 \$ le gallon. Ce coût élevé demeure le principal obstacle à la pénétration du marché par le biodiesel sous forme de mélange ou tel quel. Les trois quarts du coût de la production sont liés à la matière première elle-même. Nos travaux visent à déterminer la possibilité d'utiliser des matières premières moins coûteuses, notamment des huiles de cuisson recyclées et des graisses provenant d'activités de transformation de produits animaux. De concert avec la Fats and Proteins Research Foundation et le National Biodiesel Board, nous avons conclu de mener une analyse techno-économique des technologies commerciales classiques existantes pour le traitement de ces matières premières à bas prix, qui présentent des problèmes particuliers. Le plus important de ces problèmes est le niveau accru d'acides gras libres contenus dans les matières recyclées. Dès que nous pourrons trouver des techniques nous permettant de traiter des niveaux plus élevés d'acides gras libres, nous préparerons un programme de production pilote de petites quantités de biodiesel à partir de ces matières premières. Nous procéderons aussi à des essais pour établir les propriétés physiques et chimiques du carburant et leur impact sur l'efficacité du carburant et le rendement du moteur.

Situation/Réalisations : Des résultats provisoires indiquent que plusieurs solutions technologiques permettent de traiter des matières premières contenant de 10 à 15 p. 100 d'acides gras libres. Nous souhaiterions être en mesure de traiter des matières

contenant des niveaux plus élevés d'acides gras libres, mais ces technologies permettent de traiter des graisses résiduelles de restaurant et d'autres matières. Nous avons établi que des opérations à échelle réduite, qui nous évitent le besoin de construire une usine pilote, sont disponibles pour la production de biodiesel à partir de ces matières premières. Un rapport final de MARC-IV, qui servira de base à la négociation d'un marché en sous-traitance pour l'étape suivante de la recherche, est prévu au début de l'AF 1996. Le rapport comprendra les résultats de la production et de l'essai du carburant.

Rapports principaux : Aucun.

Date du résumé : Septembre 1995

New Process Options for Biodiesel Conversion and Glycerol Utilization

Organisme responsable : U.S. Department of Energy (DOE), 1000 Independence Avenue, SW, Washington, DC 20585

Gestionnaire de projet : J.J. Sheehan, (303) 275-4420

Entrepreneur : National Renewable Energy Laboratory (NREL), 1617 Cole Boulevard, Golden, CO 80401-3393

Enquêteur principal : J.J. Sheehan, (303) 275-4420

Numéro du contrat : DE-ACO2-83CH10093

Durée du contrat : 10/94 à 9/95

Financement du contrat (source) :

AF 1995 : 57 900 \$ (DOE)

Objectif : Évaluer des technologies de traitement de rechange pour la transformation d'huiles naturelles en biodiesel et l'utilisation d'un sous-produit du glycérol.

Approche/Contexte : Le biodiesel est un carburant renouvelable de remplacement du diesel et qui est produit par réaction chimique d'un alcool et d'une huile naturelle. Lorsque les huiles naturelles sont sous forme de triglycérides, la réaction est appelée transestérification et elle est exécutée aujourd'hui en faisant appel à un catalyseur de base tel le NaOH ou le méthylate. La plupart des procédés de transestérification ne sont pas très efficaces lorsque les matières premières contiennent des niveaux élevés d'acides gras libres. Les présents travaux visent à trouver des procédés plus efficaces que les procédés classiques actuels par réaction catalytique et moins sensibles à la teneur en acides gras libres. Un procédé mieux adapté permet d'utiliser une gamme de matières premières à bas prix. Un autre facteur économique important de la transformation des huiles naturelles en biodiesel porte sur l'emploi du glycérol. Même pour des marchés à créneaux, le volume de production de biodiesel requis pour satisfaire à ces petits marchés entraîne une production de glycérol bien supérieure à la

demande actuelle du marché. Il faudra donc de nouveaux marchés à grand volume pour le glycérol pour que le procédé demeure avantageux.

Situation/Réalisations : Nous avons mis l'accent sur le développement de catalyseurs enzymatiques destinés à améliorer la souplesse du procédé de transestérification. À cette fin, nous mettons en place une coopérative de recherche et de développement (CRADA) tripartite avec l'USDA Agricultural Research Service et la Fats and Proteins Research Foundation (FPRF) pour collaborer à l'évaluation initiale de lipases employées comme catalyseurs dans le procédé de transestérification. Des chercheurs de l'USDA Eastern Regional Research Center procèdent à des expériences en laboratoire sur la production de biodiesel en utilisant diverses préparations commerciales de lipases. Ils ont démontré que les lipases offrent beaucoup de souplesse pour le traitement d'une gamme de matières premières contenant jusqu'à 50 % d'acides gras libres. La FPRF, un organisme de recherche privé sans but lucratif fournit sa compétence ainsi que des échantillons de graisses usées provenant de restaurants. Le NREL utilisera ces renseignements pour établir la rentabilité de l'estérification enzymatique faisant appel aux lipases commerciales actuelles.

Nous avons aussi formé un partenariat avec ARCO Chemical dans le but d'évaluer la production de glycérol di-tert-butyle (DTBG), un sous-produit du glycérol, comme additif complémentaire de carburant. ARCO a testé le DTBG à titre d'agent oxygénant pour le carburant diesel. Nous analyserons la production de DTBG liée à la production de biodiesel.

Rapports des principaux projets : Aucun.

Date du résumé : Septembre 1995

Life-Cycle Assessment of Biodiesel

Organisme responsable : U.S. Department of Energy (DOE), par l'entremise du National Renewable Energy Laboratory (NREL), 1617 Cole Boulevard, Golden, CO 80401-3393

Gestionnaire de projet : J.J. Sheehan, (303) 275-4420

Entrepreneur : Ecobalance, Inc., 1 Church Street, Rockville, MD 20850

Enquêteur principal : J. Besnainou, (301) 309-0800

Numéro du contrat : ACG-5-15297-01

Durée du contrat : 8/95 à 5/96

Financement du contrat (source) :

AF 1995 : 50 000 \$ (DOE)

AF 1995 : 50 000 \$ (USDA)

Objectif : Produire un outil analytique pour l'évaluation des avantages énergétiques, environnementaux et économiques de la production de biodiesel à partir de lipides aux États-Unis.

Approche/Contexte : L'analyse du cycle de vie (LCA) (utilisée la première fois par la société Coca-Cola, il y a 20 ans) gagne en popularité à l'échelle mondiale à titre d'outil utile pour la compréhension des répercussions de nouveaux produits et procédés sur l'environnement et les avantages pour les entreprises. Une analyse de ce genre fait appel à une évaluation des impacts d'un produit donné depuis l'extraction de la ou des matières premières jusqu'au traitement, à la distribution et à l'utilisation du produit final.

La définition de carburants renouvelables doit se fonder sur une LCA. L'approche préconisée pour cette étude se fonde sur un nouvel ensemble d'outils logiciels destinés à la LCA et mis au point par Ecobalance. Ainsi, plutôt que de produire uniquement un rapport sur les avantages du biodiesel sur tout son cycle de vie, nous produirons des outils logiciels utilisables sous licence que les sociétés et les organismes gouvernementaux pourront utiliser pour évaluer des scénarios ou des produits particuliers ou des améliorations aux procédés de production du biodiesel.

Compte tenu des possibilités à court terme du biodiesel, l'analyse mettra d'abord l'accent sur la production de biodiesel à partir de diverses huiles naturelles. Plus tard, l'analyse sera élargie pour inclure le biodiesel produit à partir de la transformation du CO₂ résiduel des microalgues en huiles naturelles.

Situation/Réalisations : Pour être valable, une LCA doit se fonder sur une base de renseignements importante provenant de tous les intervenants. Par conséquent, nous travaillons à mettre sur pied un consortium regroupant des intervenants du secteur du biodiesel qui nous fourniront toutes les hypothèses, les méthodes et les limites du système en vue de l'analyse. Nous avons établi un groupe de travail sur le biodiesel (Biodiesel Working Group), auquel participent de très nombreux intérêts privés et publics, notamment l'USDA, le DOE, l'EPA, la ville de Chicago, le National Biodiesel Board, Exxon, ARCO Chemical, Cargill, Twin Rivers Technologies, l'Energy and Environmental Studies Institute et l'American Petroleum Institute. Un document d'orientation provisoire a été rédigé. Nous encourageons toutes les parties intéressées à fournir des renseignements à communiquer avec le gestionnaire du projet.

Rapports des principaux projets : Aucun.

Date du résumé : Septembre 1995

CO₂ Mitigation in Fossil Fueled Power Plants Using Microalgae with Coproduction of Biodiesel

Organisme responsable : U.S. Department of Energy (DOE), 1000 Independence Avenue, SW, Washington, DC 20585

Chef de projet : J.J. Sheehan, (303) 275-4420

Entrepreneur : National Renewable Energy Laboratory, 1617 Cole Boulevard, Golden, CO 80401-3393

Enquêteurs principaux : K.L. Kadam et K. Zeiler, (303) 384-6866

Numéro du contrat : DE-ACO2-83CH10093

Durée du contrat : 10/94 à 9/95

Financement du contrat (source) :

AF 1995 : 67 000 \$ (DOE)

Objectif : Établir un modèle techno-économique de la technologie des microalgues pour la réduction de CO₂ et la coproduction de biodiesel.

Approche/Contexte : Les microalgues sont des organismes de photosynthèse uniques qui accumulent de grandes quantités d'huiles naturelles, prolifèrent en eau fortement salée et utilisent le CO₂ (un important gaz à effet de serre) comme seule source de carbone. Les microalgues qui se développent dans des bassins peuvent être employées pour emprisonner le CO₂ des effluents gazeux d'usines de production de matières premières pour le biodiesel.

Situation/Réalisations : Un modèle économique avec tableur a été mis au point pour la production de microalgues en faisant appel au CO₂ d'effluents gazeux. Ce modèle prévoit des coûts à 2 % près de ceux prévus dans un modèle FORTRAN antérieur, mais il est d'emploi beaucoup plus simple. Il a servi à évaluer des objectifs de teneur en lipides et de prolifération d'algues génétiquement modifiées.

Comme la collecte de CO₂ constitue le facteur coût unique le plus important, nous avons mis au point un modèle qui prévoit les coûts de récupération et de transport du CO₂ provenant d'effluents gazeux, plutôt que d'utiliser le coût du CO₂ sur le marché. Les étapes du procédé comprennent l'extraction de monoéthanolamine (MEA), sa compression, sa déshydratation et son transport aux bassins. Cette méthode permet d'établir le coût du CO₂ à 41 \$/mt, par rapport au prix du marché qui est de 66 \$/mt. Le modèle a aussi montré que le coût de l'extraction de MEA est inférieur de 40 % à celui du réacheminement le plus direct des effluents gazeux en vue de leur utilisation.

Nous avons utilisé nos modèles pour établir des objectifs à moyen et à long terme pour cette technologie. À moyen terme, une amélioration du procédé permettra d'établir à 20 \$/mt le coût net de réduction du CO₂. Cette technique est donc très concurrentielle par rapport à d'autres techniques d'atténuation. À long terme, nous espérons pouvoir fixer des objectifs de traitement qui permettront de réduire à zéro les coûts d'atténuation, par la réduction des coûts opératoires et l'augmentation de la production de biodiesel.

Rapports des principaux projets : Voir la bibliographie.

Date du résumé : Septembre 1995

Genetic Transformation of Microalgae for Enhanced Production of Natural Oils as a Feedstock for Biodiesel

Organisme responsable : U.S. Department of Energy (DOE), 1000 Independence Avenue, SW, Washington, DC 20585

Gestionnaire de projet : J.J. Sheehan, (303) 275-4420
Entrepreneur : National Renewable Energy Laboratory (NREL), 1617 Cole Boulevard, Golden, CO 80401-3393

Enquêteurs principaux : T. Dunahay et P. Roessler, (303) 384-6280/384-6253
Numéro du contrat : DE-ACO2-83CH10093
Durée du contrat : 10/94 à 9/95

Financement du contrat (source) :
AF 1995 : 167 000 \$ (DOE)

Objectif : Mettre au point un système de transformation génétique des microalgues comme outil de formation de microalgues génétiquement modifiées capables d'améliorer la production d'huile naturelle.

Approche/Contexte : Lorsqu'on les fait pousser en culture de masse, les microalgues peuvent accumuler de l'huile. Elles peuvent donc constituer une excellente source de matière première pour la production de carburant biodiesel. On pourrait améliorer sensiblement l'aspect économique de la production de biodiesel à partir de microalgues si l'on parvenait à développer des souches de microalgues possédant de meilleures propriétés de production d'huile. Le génie génétique permet d'introduire ces propriétés souhaitables dans les microalgues, mais les systèmes de transformation génétique ne sont pas disponibles pour la plupart des espèces de microalgues.

Situation/Réalisations : Nous avons mis au point un système de transformation génétique des diatomées, un groupe de microalgues très abondant qui présente un excellent potentiel pour la production de biodiesel. Le système fait appel à l'expression d'un gène marqueur d'antibiorésistance bactérienne sous le contrôle de régions régulatrices à partir d'un gène algal. On peut alors identifier les cellules génétiquement modifiées qui peuvent proliférer en présence de certains antibiotiques. Nous avons employé ce système pour introduire d'autres gènes endogènes et étrangers dans les diatomées *Cyclotella* et *Navicula*. Cela constitue un progrès majeur dans le domaine de la biotechnologie des algues.

Rapports des principaux projets : Voir la bibliographie.

Date du résumé : Septembre 1995

Isolation of a Polyubiquitin Gene Promoter for Expression of Foreign Genes in Microalgae

Organisme responsable : U.S. Department of Energy (DOE), par l'entremise du National Renewable Energy Laboratory (NREL), 1617 Cole Boulevard, Golden, CO 80401-3393

Gestionnaire de projet : J.J. Sheehan, (303) 275-4420

Entrepreneur : George Mason University, 4400 University Drive, Fairfax, VA 22030-4444

Enquêteur principal : A. Christensen, (703) 993-1025

Numéro du contrat : XCHA-14406-01

Durée du contrat : 10/94 à 9/96

Financement du contrat (source) :

AF 1995 : 44 698 \$ (DOE)

Objectif : Isoler un gène d'ubiquitine d'algue et évaluer l'aptitude de ses régions régulatrices à lier l'expression d'un gène étranger dans la microalgue.

Approche/Contexte : Un des principaux points d'intérêt du projet sur le biodiesel au NREL porte sur l'étude de l'utilisation des lipides des microalgues pour la production de carburant biodiesel. Un des objectifs est d'optimiser la production de lipides des microalgues par transformation du carbone en lipides en ayant recours au génie génétique. La disponibilité de sites promoteurs et d'autres régions régulatrices de divers gènes d'algues facilitera notre travail afin d'y parvenir. L'ubiquitine, une protéine très conservée, est exprimée à des niveaux élevés dans de nombreux types de cellules. Le projet porte principalement sur l'isolation et la caractérisation des régions régulatrices d'un gène d'ubiquitine de microalgue et sur l'évaluation de l'aptitude de ces séquences de gènes à lier l'expression de gènes étrangers dans les microalgues productrices d'huile.

Situation/Réalisations : Nous avons examiné une banque de gènes de la diatomée *Cyclotella cryptica* pour relever la présence de séquences de gènes d'ubiquitine en nous servant d'un gène d'ubiquitine de maïs à titre de sonde. Nous avons isolé et caractérisé un clone par cartographie de restriction et détermination des séquences nucléotidiques. Les résultats préliminaires de l'analyse des séquences ont confirmé la présence d'un gène d'ubiquitine dans l'algue. Nous analyserons le clone pour caractériser le site promoteur et les régions régulatrices de terminaison en vue de leur utilisation dans les systèmes d'expression génétique des microalgues.

Rapports des principaux projets : Aucun.

Date du résumé : Septembre 1995

Biochemistry and Metabolic Engineering of Microalgae for Enhanced Biodiesel Production

Organisme responsable : U.S. Department of Energy (DOE), 1000 Independence Avenue, SW, Washington, 20585

Gestionnaire de projet : J.J. Sheehan, (303) 275-4420

Entrepreneur : National Renewable Energy Laboratory (NREL), 1617 Cole Boulevard, Golden, CO 80401-3393

Enquêteurs principaux : P. Roessler et E. Jarvis, (303) 384-6253/384-6147

Numéro du contrat : DE-ACO2-83CH10093

Durée du contrat : 10/94 à 9/95

Financement du contrat (source) :

AF 1995 : 358 000 \$ (DOE)

Objectif : Dégager la biochimie de la synthèse des lipides des microalgues et élaborer des stratégies de génie métabolique pour l'optimisation de leur production.

Approche/Contexte : La création de microalgues génétiquement modifiées et possédant des propriétés améliorées en vue de la production de biodiesel nécessite une connaissance des voies biochimiques qui affectent l'accumulation de lipides. Nous espérons pouvoir manipuler ces voies de manière à modifier la quantité et la qualité des lipides de synthèse.

Situation/Réalisations : Nous étudions deux méthodes pour accroître les taux de production de lipides dans les microalgues.

1. Introduire d'autres copies du gène qui encode l'acétyl-CoA carboxylase (ACCCase), un enzyme clé de la synthèse des lipides (des résultats préliminaires montrent que les cellules de microalgues génétiquement modifiées de cette façon ont une plus grande activité d'ACCCase).
2. Réduire les vitesses de synthèse d'autres composés, comme les glucides de stockage, pour assurer un substrat plus important pour la synthèse des lipides.

Nous avons cloné un gène important actif dans le métabolisme des glucides des microalgues, ce qui pourrait constituer une cible pour l'inactivation.

Rapports des principaux projets : Voir la bibliographie.

Date du résumé : Septembre 1995

LISTE DES PROJETS EN COURS SUR LE BIODIESEL AUX ÉTATS-UNIS

Multi-Feedstock Biodiesel Project (antérieurement intitulé Cost-Effective Options for Testing of Biodiesel from Low-Cost Feedstocks)

Recherche financée par : U.S. Department of Energy (DOE), Office of Fuels Development par l'entremise du National Renewable Energy Laboratory, de la Fats and Proteins Research Foundation, de l'Illinois Soybean Association et du National Biodiesel Board

Gestionnaire de projet : S. Tyson, (303) 275-4616

Organismes d'exécution : Institute of Gas Technology, P.O. Box 91127, Chicago, IL 60693, Chemol Co. Inc., Colorado Institute for Fuels & High Altitude Engine Research, Systems Lab Services Americoach Systems Inc. (provisoire), Columbus Foods, NOPEC (provisoire), la ville de Chicago

Enquêteurs principaux : C. Blazek, (847) 768-0552, F. Wellons, (910) 333-3054, M. Zarkaria, (910) 333-3071, M. Graboski, (303) 299-3143, R. Lawrence, (913) 621-3603, C. Ferrone, (312) 251-3100, M. Gagliardo, (773) 265-6500, M. Rehberg, (941) 683-7199 poste 113, M. Sigmon (312) 744-3635

Numéro du contrat : ACG-7-15177-002

Durée du contrat : 4/97 à 4/98

Financement du contrat :

AF 1996 : 40 000 \$

AF 1997 : 139 000 \$

Objectifs : Le projet explore les avenues concernant la production de biodiesel à partir de matières premières à bas prix, y compris les graisses animales résiduelles et les huiles de cuisson recyclées. Les principales questions de la recherche portent notamment sur les modifications à la technologie de production, le rendement sur les coûts, la caractérisation et le rendement du carburant biodiesel et des mélanges de biodiesel-diesel et sur les essais de démonstration. Au début du projet, on a envisagé l'établissement d'une installation de recherche où l'on pourrait explorer diverses options technologiques. À mesure que le projet a avancé, un entrepreneur privé s'est porté volontaire pour construire une installation de production de ces carburants biodiesel expérimentaux. La phase III du projet est maintenant en cours.

Approche / Contexte : Les travaux se sont déroulés en trois phases, à savoir :

Phase I. Établissement des buts et objectifs d'une usine pilote et préparation d'une liste d'activités, d'échéanciers et de coûts pour la phase II.

Phase II. Détermination de toutes les principales activités requises pour établir la faisabilité commerciale de la production et de la vente de biodiesel à partir de matières premières à bas prix, c'est-à-dire équipement et technologie employés à l'usine, préparation et mise à niveau de l'équipement, besoins de l'installation (services

publics, entreposage), besoins analytiques, échéanciers, besoins en personnel, coût total du projet.

Phase III. Cette phase met l'accent sur les questions de développement de la production de biodiesel à partir d'huiles et de graisses (usées) recyclées. Les activités portent sur la production, l'analyse et la caractérisation des émissions de biodiesel produit à partir de huit matières premières. Le principal objectif est d'établir des moyens de réduire le coût du biodiesel en ayant recours à de nouvelles matières premières à prix plus bas afin d'abaisser les coûts de transformation. Les tâches particulières sont les suivantes :

On procédera à des essais en laboratoire pour établir les propriétés et les caractéristiques du biodiesel tel quel à partir de graisse jaune, de suif de bœuf (comestible ou non), de gras de porc, de pâte de neutralisation acidulée, d'huile de soja et d'huile de colza (obtenus en hiver et en été). Les résultats du projet permettront d'obtenir des données sur les caractéristiques du carburant qui pourraient servir à justifier les spécifications neutres des matières premières du biodiesel.

Le biodiesel tel quel sera mélangé dans une proportion de 20 p. 100 à du carburant diesel en marge des analyses pour l'EPA sur les émissions d'un moteur d'autobus DDC série 60. Les données obtenues serviront à préparer un rapport pour le compte de l'EPA. Columbus Food de Chicago est à construire une installation de production et produira les carburants utilisés à l'étape des démonstrations du projet. Les démonstrations des carburants seront effectuées avec le concours d'American Sightseeing-Chicago, un important transporteur possédant une expérience antérieure dans le domaine des essais de biodiesel. La société fournira six autobus pour les essais du biodiesel et deux autres qui serviront de témoins. On s'attend à ce que chaque autobus parcoure 30 000 milles par année. Les responsables du projet espèrent stimuler la production et les activités de recherche pour l'industrie.

Situation/Réalisations : La première phase du projet a commencé en 1994. La deuxième phase a pris fin en avril 1997. La troisième phase s'est amorcée en mars 1997, mais elle met du temps à se mettre en branle. Columbus Food a jeté les fondations de l'usine en août 1997 et prévoit que la production d'esters méthyliques de soja sera maximale vers la fin de 1997. La production d'esters méthyliques à partir de graisses usées, de suif et de gras pourrait exiger d'autres modifications à l'installation et au procédé. Chemol prépare les matières premières destinées aux essais moteur en marge du projet, qui devraient commencer à la fin de 1997. NOPEC a offert de fournir les carburants de démonstration jusqu'à ce que Columbus Food en commence la production. IGT négocie toujours avec les responsables du parc de démonstration initial. On envisage de négocier avec plusieurs autres exploitants de parcs de véhicules au cas où les présentes négociations se révéleraient infructueuses.

Au cours de la phase II, on a rédigé un rapport exhaustif décrivant en détail la meilleure méthode d'atteindre les objectifs du projet. On y retrouve une description détaillée des installations de biodiesel en Europe ainsi que plusieurs scénarios de rentabilité.

Publications et présentations :

1. *Multi-Feedstock Biodiesel Project Phase II* - Rapport final
2. Comptes rendus de la phase III (à venir)

Close-Out of Microalgae Component of Biodiesel Program

Recherche financée par : U.S. Department of Energy, Office of Fuels Development par l'entremise du National Renewable Energy Laboratory

Gestionnaire de projet : S. Tyson, (303) 275-4616

Organismes d'exécution : National Renewable Energy Laboratory, 1617 Cole Boulevard, Golden, CO 80401, Université d'Hawaii (provisoire), 2540 Dole Street, Holmes Hall 246, Honolulu, HI 96822

Enquêteurs principaux : T. Dunahay, (303) 499-3715, J. Benemann, (510) 939-5864, P. Roessler, (303) 275-3733, O. Zaborski, (808) 956-8146

Numéros des contrats : ACG-7-17030-01, ACG-7-1 7031-01, ACO-17026-01

Durée des contrats : 3/97 à 12/97, 7/97 à 12/97, 4/97 à 3/98, 12/97 à 3/98

Financement des contrats :

AF 1997, 36 000 \$

AF 1996, 25 000 \$

AF 1996, 31 180 \$

Objectif : Donner un aperçu historique de l'état des connaissances dans la recherche sur les microalgues en documentant le choix des échantillons de microalgues et la recherche génétique sur le développement de souches améliorées de microalgues.

Approche/Contexte : Pendant l'AF 1996, le programme *Aquatic Species* du DOE a pris fin et le personnel a été mis au chômage ou réaffecté. Au cours de l'AF 1997, le département a demandé au NREL de préparer un document officiel définitif pour résumer 18 ans de recherche. De plus, le NREL devait trouver un dépôt permanent pour la collection de microalgues développées au cours du programme. Pour satisfaire à ces exigences, on a accordé des contrats à du personnel ayant travaillé au projet antérieurement et à d'autres experts de l'industrie afin de préparer un document résumant la recherche et les résultats obtenus en marge du projet.

Situation/Réalisations : Le projet a été mis en œuvre en février 1997 et son parachèvement est prévu en mars 1998, y compris le transfert de la collection de microalgues. Le rapport définitif devrait être publié au début de 1998.

Publications et présentations :

1. Rapport définitif à venir.

Oxidative and Thermal Stability Testing Method(s) for Biodiesel

Recherche financée par : U.S. Department of Energy (DOE), Office of Fuels Development par l'entremise du National Renewable Energy Laboratory, de la Fats and Proteins Research Foundation, de l'Illinois Soybean Association et du National Biodiesel Board

Gestionnaire de projet : S. Tyson, (303) 275-4616

Organisme d'exécution : Southwest Research Institute, 6220 Culebra Road, P.O. Drawer 38510, San Antonio TX 78228-0510

Enquêteurs principaux : S. Westbrook, (210) 522-3185 et L. Stavinoha, (210) 522-2586

Numéro du contrat : ACG-7-17066-01

Durée du contrat : 9/97 à 7/98

Financement du contrat :

AF 1997 : 88 365 \$

Objectifs :

1. Fournir de la documentation pour le choix de méthodes de stabilité du biodiesel en procédant à une recherche documentaire sur l'importance de la stabilité thermique et à l'oxydation du carburant sur l'efficacité du moteur diesel.
2. Déterminer et évaluer des techniques de mesure analytique de la stabilisation thermique et à l'oxydation.
3. Effectuer des essais limités en laboratoire de validation de principe des méthodes recommandées.
4. Élaborer un protocole de matrice d'essai à tour de rôle permettant de faire correspondre les résultats obtenus lors des essais en utilisant les méthodes d'analyse choisies, en fonction de l'équipement d'injection de carburant et de l'efficacité du moteur.

Contexte : L'absence de méthodes d'essai pertinentes pour la stabilité à l'oxydation doit être corrigée pour qu'on puisse recommander des normes et des méthodes d'essai appropriées de l'ASTM relativement au biodiesel. Présentement, les motoristes européens et quelques-uns aux États-Unis emploient l'indice d'iode comme indicateur de stabilité à l'oxydation. Comme il existe actuellement un différend dans l'industrie quant à la valeur de ces méthodes d'essai, il importe de revoir ces méthodes et de recommander des solutions de rechange pertinentes s'il y a lieu.

Situation/Réalisations : Travaux en cours.

Publications et présentations :

1. Compte rendu d'analyse documentaire sur la stabilité à l'oxydation (à paraître)
2. Rapport sur les techniques potentielles de mesure analytique de la stabilité thermique et à l'oxydation (à paraître)
3. Rapport d'analyse et système de cotation recommandé (à paraître)
4. Recommandations sur les méthodes de stabilité pour le biodiesel
5. Lettre d'opinion (à paraître)

6. Rapport de protocole d'essais comparatifs entre laboratoires (à paraître)

Marine Biodiesel and Education Project for San Francisco Bay and Northern California

Recherche financée par : U.S. Department of Energy (DOE), Office of Fuels Development par l'entremise du National Renewable Energy Laboratory, de la Fats and Proteins Research Foundation, de l'Illinois Soybean Association et du National Biodiesel Board

Gestionnaire de projet : S. Tyson, (303) 275-4616

Organisme d'exécution : Cytoculture International Inc., 249 Tewksbury Avenue, Point Richmond, CA 94801-3829

Enquêteur principal : R. Von Wedel (510) 233-0102

Numéro du sous-contrat : ACG-7-16688-01

Durée du contrat : 11/96 à 10/97

Financement du contrat :

AF 1996 : 60 000 \$

Objectifs : Ce projet fait appel à l'établissement d'une infrastructure de mise en marché et de distribution du biodiesel pour le marché de la navigation de plaisance en Californie.

Approche/Contexte :

1. Mousser les ventes de biodiesel dans le marché de la navigation de plaisance en Californie en soutenant les activités d'un entrepreneur local qui doit établir des quais de ravitaillement et d'autres éléments d'une infrastructure de mise en marché du biodiesel.
2. Acheter jusqu'à 4 000 gallons de biodiesel et analyser des échantillons provenant des producteurs actuels de biodiesel.
3. Revoir la réglementation restrictive fédérale, de l'État et locale régissant l'entreposage, la manutention et la distribution de tous les carburants (hydrocarbures) à des postes de ravitaillement désignés et autorisés dans les marinas, les clubs de yachting et d'autres lieux destinés à des embarcations de plaisance.
4. Informer les plaisanciers et les distributeurs de carburant en préparant un guide, une brochure et une présentation donnant des renseignements sur le biodiesel.
5. Mettre en place un « quai de ravitaillement de biodiesel » doté d'au moins cinq distributeurs pour la vente au détail à un nouveau poste de ravitaillement ou au poste en place à l'intention surtout des plaisanciers.
6. Effectuer un sondage auprès d'une centaine d'utilisateurs de biodiesel dans le nord de la Californie afin d'obtenir leurs commentaires quant à leur degré de satisfaction, leurs observations et les problèmes possibles qu'ils ont connus en utilisant du biodiesel dans leurs embarcations.

Situation/Réalisations : Travaux en cours.

Publications et présentations :

1. *Report on Diesel Fuel Dock Environmental and Tax Regulations* (à paraître)
2. *Technical Handbook on Marine Biodiesel* (à paraître)
3. *Biodiesel Information for Boaters* (à paraître)
4. *Report on Use of Marine Biodiesel in Recreational Boats* (à paraître)

Life Cycle Assessment of Petroleum Diesel and Biodiesel

Recherche financée par : U.S. Department of Energy (DOE), Office of Fuels Development par l'entremise du National Renewable Energy Laboratory et U.S. Department of Agriculture, Economic Research Service Office of Energy and New Uses (USDA/ERS/OENU)

Gestionnaire de projet : S. Tyson, (303) 275-4616

Organisme d'exécution : National Renewable Energy Laboratory, 1617 Cole Boulevard, Golden, CO 80401

Enquêteurs principaux : J. Sheehan, (303) 384-6136, J. Duffield, (202) 501-6255, H. Shapouri, (202) 501-6677, V. Camobreco, (301) 548-1753, M. Graboski, (303) 299-3143

Numéro du contrat : ACG-7-16690-01

Durée du contrat : 1/97-12/97

Financement du contrat :

AF 1995 : 30 761 \$

AF 1996 : 64 800 \$

AF 1997 : 46 663 \$

Objectif : Afin de prendre des décisions et de présenter des recommandations, les décideurs et les responsables de la planification énergétique ont besoin de renseignements sur les caractéristiques énergétiques et environnementales de la production de biodiesel aux États-Unis à partir d'huile de soja et de la production de diesel à partir du pétrole.

Approche/Contexte : Quantifier et comparer des jeux complets de diagrammes environnementaux (en provenance et à destination de l'environnement) pour le biodiesel et le diesel, sur tout leur cycle de vie. Le projet est réparti en quatre étapes :

- Étape 1. Établir une méthode d'analyse du cycle de vie (LCA). Cette étape est terminée.
- Étape 2. Préparer un ensemble de données justificatives pour la LCA. Cette étape est presque terminée.
- Étape 3. Effectuer une LCA. Cette étape est terminée à 90 p. 100.
- Étape 4. Compiler les résultats. Le projet en est maintenant rendu à l'étape 4.

Situation/Réalisations : Un groupe de travail sur le biodiesel a été formé et se compose d'intervenants des secteurs privé et public, notamment de l'USDA, du DOE, de l'EPA, de la ville de Chicago, du National Biodiesel Board, d'Exxon, d'ARCO Chemical, de Cargill, de Twin Rivers Technologies, de l'Energy and Environmental Studies Institute et de l'American Petroleum Institute.

Toutes les données ont été compilées et les résultats préliminaires ont été produits. L'analyse fait l'objet d'un examen interne mené par les enquêteurs principaux. Un rapport d'examen interne provisoire sera disponible à la fin de 1997 et le projet se terminera dans les trois mois suivant la parution de ce document.

Publications et présentations :

1. Coulon, R, V. Camobreco, J. Sheehan, J. Duffield (1996). *Life cycle assessment of biodiesel versus petroleum biodiesel fuel*. SETAC 17 Annual Meeting-Abstract Book. Partnerships for the Environment: Science, Education and Policy. Washington, D.C., 17 au 21 novembre. Publié par la Society of Environmental Toxicology and Chemistry, Pensacola, FL.
2. *Life Cycle Assessment of Petroleum-Based Diesel Fuel and Biodiesel-Final Study on the Life Cycle Inventory Comparison* (à paraître, août 1997)
3. *Life Cycle Assessment of Petroleum-Based Diesel Fuel and Biodiesel-Preliminary Report on the Life Cycle Inventories* (à paraître, juin 1997)
4. *Life Cycle Assessment of Petroleum-Based Diesel Fuel and Biodiesel-Data Summary Document*. Juillet 1996.
5. *Life Cycle Assessment of Petroleum-Based Diesel Fuel and Biodiesel-Final Scoping Document*. Décembre 1995.

Establishment of a Biodiesel Consortium in Philadelphia

Recherche financée par : U.S. Department of Energy (DOE), Office of Fuels Development par l'entremise du National Renewable Energy Laboratory

Gestionnaire de projet : S. Tyson, (303) 275-4616

Organisme d'exécution : Seasoned Energy Development Ltd. P.O. Box 7955 Philadelphia, PA 19101-7955

Enquêteur principal : W. Campbell, (215) 422-4587

Numéro du contrat : ACG-7-16661-01

Durée du contrat : 2/97 à 11/97

Financement du contrat :

AF 1996 : 13 850 \$

Objectifs : Le projet vise principalement à promouvoir la formation d'un groupe de travail de l'industrie du biodiesel dans la région de Philadelphie.

Approche/Contexte : Former un consortium d'intervenants de la région de Philadelphie comprenant notamment les universités locales, des entités de la ville, de l'État et du

gouvernement fédéral, des raffineurs et des distributeurs de diesel, des établissements locaux de traitement de carcasses d'animaux, des établissements de collecte de graisses usées de restaurant, le National Biodiesel Board et des producteurs de biodiesel. Les responsables du projet coordonneront les activités du consortium par le truchement d'un bulletin mensuel et de réunions trimestrielles.

Situation/Réalisations : Jusqu'à maintenant, plusieurs bulletins ont été publiés et deux réunions ont eu lieu.

Publications et présentations :

1. Bulletin mensuel

Development of Premium Diesel Standards

Recherche financée par : U.S. Department of Energy (DOE), Office of Fuels
Development par l'entremise du National Renewable Energy Laboratory et de la Fats and Proteins Research Foundation

Gestionnaire de projet : S. Tyson, (303) 275-4616

Organisme d'exécution : James Peeples, Esq., 5894 South 6th Street Falls Church, VA 22041

Enquêteur principal : J. Peeples, (703) 578-3655

Numéro du contrat : CAG-6-16279-01

Durée du contrat : 7/96 à 10/97

Financement du contrat :

AF 1996 : 30 500 \$

Objectifs : Le projet fournit du soutien technique au NREL en présentant les avantages du biodiesel, en mettant en place un programme décrivant les spécifications du supercarburant diesel et les rôles potentiels du biodiesel dans ce marché.

Approche/Contexte :

1. La National Conference on Weights and Measures prépare des recommandations relatives aux spécifications du supercarburant diesel. Des soi-disant carburants de ce type abondent sur le marché, mais il n'existe aucune norme ni réglementation quant à la composition de ce type de carburant. Depuis un certain temps, les motoristes exercent des pressions pour la mise en place de spécifications en ce sens en raison de la réduction des émissions et de l'amélioration de l'efficacité du moteur que peut offrir un supercarburant diesel bien défini. Le consultant assistera aux réunions de cette conférence pour y présenter les questions et les préoccupations concernant le biodiesel.
2. Préparer un Guide pratique à l'intention des fournisseurs de biodiesel pour qu'ils se conforment à la réglementation fédérale. À mesure que de nouveaux producteurs de biodiesel arrivent sur le marché du carburant aux États-Unis, ils sont

confrontés à un ensemble parfois déroutant de règlements régissant la production, la vente et l'utilisation de biodiesel.

Situation/Réalisations : Le groupe de travail mixte ASTM/NCWM sur le supercarburant diesel a terminé ses délibérations et a transmis ses recommandations sur les spécifications et les méthodes d'analyse du supercarburant diesel aux responsables des organismes pertinents. Le pouvoir lubrifiant, qui est le principal avantage du biodiesel dans les mélanges de supercarburant diesel, n'a pas été inclus dans la liste des caractéristiques mesurables du supercarburant diesel, préparée par le groupe de travail, mais il a été consigné comme sixième spécification possible pour autant que l'industrie soit en mesure de perfectionner les méthodes d'analyse du pouvoir lubrifiant. Les méthodes d'analyse actuelles du pouvoir lubrifiant ne sont pas assez précises pour faire la distinction entre le pouvoir lubrifiant du carburant diesel « moyen » et celui du supercarburant diesel. Il est à espérer que le groupe de travail sur le pouvoir lubrifiant de l'ASTM étudiera cette question au cours de ses prochaines réunions car elle touche l'ensemble de l'industrie. Au cours de l'AF 1998, le NREL préparera les données requises pour démontrer les avantages du pouvoir lubrifiant du biodiesel dans les mélanges à faible teneur en biodiesel, dans le but d'aider les producteurs à percer ce marché à valeur élevée. Diverses lettres d'opinion décrivant l'état d'avancement des travaux du groupe de travail mixte ASTM/NCWM sur le supercarburant diesel ont été rendues publiques pendant la période du contrat. Une version très provisoire du Guide pratique à l'intention des fournisseurs a été présentée.

Publications et présentations :

1. Guide pratique pour se conformer à la réglementation (version provisoire).

Technoeconomic Analysis of Enzymatic Esterification of Highly Fatty Acid Feedstocks

Recherche financée par : U.S. Department of Energy (DOE), Office of Fuels Development par l'entremise du National Renewable Energy Laboratory et de l'U.S. Department of Agriculture, Eastern Regional Research Center

Gestionnaire de projet : S. Tyson, (303) 275-4616

Organisme d'exécution : National Renewable Energy Laboratory, 1617 Cole Boulevard, Golden, CO 80401

Enquêteurs principaux : J. Sheehan, (303) 384-6136, T. Foglia, (215) 233-6480, G. Pearl, (309) 829-7744

Numéro du contrat : CRADA 58-3K95-M-395

Durée du contrat : 8/95 – en cours

Financement du contrat :

AF 1996 : 42 020 \$

AF 1998 : 5 000 \$

Objectifs : Une entente de collaboration de recherche et de développement (CRADA) tripartite a été convenue entre le NREL, l'Agricultural Research Service (ARS) et la Fats and Proteins Research Foundation (FPRF) en vue de mener une étude de faisabilité provisoire sur le potentiel du traitement enzymatique de sources de lipides à bas prix telles les graisses animales et les huiles de cuisson recyclées avec différents alcools, à titre de première étape de la détermination du potentiel commercial de cette nouvelle technologie destinée à la production de biodiesel et de biolubrifiant.

Approche/Contexte :

1. Le NREL, l'ARS et la FPRF mèneront de concert des études expérimentales et technoéconomiques sur le potentiel de la biocatalyse pour la production de biodiesel ou de biolubrifiant. La recherche permettra de comparer l'efficacité de différents enzymes employés comme catalyseurs pour la production de biodiesel par rapport à celle des catalyseurs inorganiques classiques employés actuellement.
2. Les travaux comprendront des expériences par lots qui seront menées au centre de recherche de l'ARS, à Philadelphie, avec des enzymes offerts dans le commerce.
3. L'analyse technoéconomique sera effectuée au NREL à partir des données expérimentales obtenues de l'ARS, et à partir de renseignements techniques sur le procédé fournis par l'ARS et la FPRP. Des modèles informatisés seront élaborés pour évaluer le coût du biodiesel produit par voie enzymatique. Les modèles serviront aussi à des études de sensibilité afin d'établir les améliorations nécessaires à apporter à l'efficacité enzymatique pour que ce procédé technologique soit commercialisable.

Situation/Réalisations : Les chercheurs du Eastern Regional Research Center de l'USDA ont effectué des expériences afin d'évaluer les caractéristiques de rendement du biodiesel produit à partir de diverses matières premières et de combinaisons de matières premières et en utilisant des procédés enzymatiques de transformation. Dans le cadre du projet, on a aussi examiné l'emploi d'additifs pour améliorer les paramètres critiques du carburant, tels le point de trouble et le point d'écoulement. La FPRF, un organisme de recherche privé sans but lucratif, a offert son expertise ainsi que des échantillons provenant d'une collecte de graisses usées de restaurant. Le NREL, quant à lui, a élaboré un modèle informatisé avec tableur de la production de biodiesel par procédé enzymatique en vue d'établir un point de référence relativement aux coûts en cause.

Publications et présentations :

1. Rapport final du projet (à paraître)

Toxicity of Particle and Semi-Volatile Emissions from SME and Biodiesel Blended Fuels

Recherche financée par : U.S. Department of Energy, Office of Fuels Development par l'entremise du National Renewable Energy Laboratory, National Biodiesel Board et Caterpillar Inc.

Gestionnaire de projet : S. Tyson, (303) 275-4616

Organismes d'exécution : Colorado Institute for Fuels and High Altitude Engine Research (CIFER), Colorado School of Mines, University of California - Davis

Enquêteurs principaux : M. Graboski, (303) 299-3143 et N. Kado (916) 752-4830

Numéros des contrats : ACG-7-17106-01 et ACG-7-xxxxx

Durée des contrats : 10/97 à 3/98 et 10/97 à 9/98

Financement des contrats :

AF 1997 : 36 000 \$

AF 1997 : 114 000 \$

Objectifs : Ce projet de recherche vise à préparer un corps de données à transmettre à l'EPA et décrivant les propriétés chimiques et biologiques des émissions de particules en phase gazeuse et en phase solide, de manière à justifier l'inscription du biodiesel au chapitre 40 du Code CFR 79, article 211 (f) « Registration of Fuels and Fuel Additives ». Les carburants biodiesel produits à partir de matières premières autres que l'huile de soja sont présentement inclus dans le répertoire de biodiesel de l'EPA, mais l'agence a demandé des renseignements montrant les propriétés chimiques et biologiques réelles des émissions de moteurs fonctionnant aux esters de graisses et d'huiles autres que de soja. Personne ne sait si ces données seront similaires ou substantiellement différentes par rapport à celles de l'ester méthylique de soja (SME).

Les travaux comprennent des essais de démarrage à froid avec cinq types de carburants biodiesel et un carburant étalon, ainsi que l'analyse de certaines émissions non réglementées d'un moteur Detroit Diesel Series 60 de 1990, à l'aide d'un banc dynamométrique fixe. La matrice d'essai comprend l'analyse périodique du carburant étalon afin d'évaluer tout écart du moteur.

Approche/Contexte : Un groupe de composés toxicologiquement importants qu'on peut retrouver dans le diesel, voire dans les gaz d'échappement des moteurs biodiesel, sont les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) et leurs dérivés, les nHAP (ou nitro-HAP). Certains HAP et nHAP sont potentiellement mutagènes et cancérigènes chez les animaux de laboratoire et les humains. Des essais biologiques sont aussi employés pour établir le pouvoir mutagène d'émissions particulières. Cette recherche pourrait être très à propos compte tenu des poursuites qui ont cours contre les raffineries et les associations de camionnage en Californie, et dans lesquelles on prétend que les gaz d'échappement des moteurs diesel constituent un danger pour la santé. Des recherches menées antérieurement sur les esters méthyliques et éthyliques de colza (RME et REE) indiquent que le biodiesel peut réduire la toxicité des gaz d'échappement des moteurs à essence. Le NREL a tiré parti de plusieurs essais permanents sur des moteurs afin de recueillir des données pour ce projet.

Partie du projet exécutée par le CIFER : Ce projet profite de la recherche permanente en cours en vertu du projet sur le biodiesel produit à partir de matières premières multiples (*Multi-Feedstock Biodiesel Project*). À cet effet, un sous-contrat distinct a été

attribué au CIFER pour l'exécution d'une recherche complémentaire. Le contrat antérieur accordé au groupe IGT-CIFER précisait que le CIFER devait seulement effectuer des essais à chaud, en conditions transitoires, sur des mélanges de biodiesel produits à partir de graisses usées et de graisses animales afin de minimiser les coûts. Des renseignements complémentaires ont été demandés depuis le début du sous-contrat et le projet prévoit des sommes additionnelles à verser au CIFER pour qu'il effectue d'autres analyses des émissions. Plus particulièrement, le CIFER est tenu d'inclure des essais à froid, en conditions transitoires, la spéciation de C1-C12 et d'aldéhydes, ainsi que le prélèvement d'échantillons supplémentaires de particules pour l'analyse de biodosage, tout en poursuivant sa recherche à l'appui du projet sur le biodiesel produit à partir de matières premières multiples. Tous les biodiesel analysés dans cette partie du projet sont des mélanges contenant 20 p. 100 de biodiesel et 80 p. 100 de diesel.

Partie du projet exécutée par le NBB et Caterpillar : Le NBB travaille en collaboration avec Caterpillar afin de recueillir des données sur les émissions d'un moteur d'essai 3406 D au laboratoire de Caterpillar, à Peoria, Illinois. Le NREL consentira à compenser le temps et les dépenses du personnel d'UCD affecté à la collecte d'une quantité suffisante d'émissions de particules et de la fraction soluble de particules (FS) pour faire les essais. Le NBB et Caterpillar se partageront les autres coûts liés aux essais sur le moteur. Seul l'ester méthylique de soja (SME) tel quel fait l'objet de cette partie de l'essai.

Université de la Californie et Davis (UCD) : Le groupe UCD procédera à des analyses chimiques des émissions gazeuses et particulaires de SME découlant des essais de Caterpillar et des analyses de biodosage afin d'établir le pouvoir mutagène des émissions de particules. L'USDA procédera aussi à des analyses de biodosage sur les mélanges de biodiesel employés en marge du projet sur le biodiesel produit à partir de matières premières multiples, comprenant notamment de la graisse jaune, du suif, du lard, du soja et des pâtes de neutralisation acidulées.

Situation/Réalisations : Le projet vient de s'amorcer et il se poursuivra jusqu'en septembre 1998.

Publications et présentations :

1. Effets sur la santé des émissions provenant de divers mélanges de biodiesel utilisés dans un ddc series 60 (à paraître)
2. Analyse de biodosage de biodiesel produit à partir de matières premières à bas prix (à paraître)
3. Analyse chimique et de biodosage des émissions particulaires de SME employé dans un moteur Caterpillar 3406 de 435 HP (à paraître)

Biodiesel Research Progress : 1992-1997

Recherche financée par : U.S. Department of Energy, Office of Fuels Development par l'entremise du National Renewable Energy Laboratory

Gestionnaire de projet : S. Tyson, (303) 275-4616

Organismes d'exécution : Information Resources, Inc. (IRI), 1925 N. Lynn Street, Suite 1000, Arlington, VA 22209 et Dyncorp Information and Engineering Technology, Energy Programs Group, 6101 Stevenson Avenue, Alexandria, VA 22304

Enquêteurs principaux : J. Hamilton, (703) 522-0612 et J. Finnell, (703) 461-2029

Numéros des contrats : ACG-7-17046-01 et ACG-7-xxxxx-xx

Durée des contrats : 5/97 à 10/97

Financement des contrats:

AF 1997 : 30 000 \$

AF 1997 : 15 000 \$

Objectifs : Pour améliorer la coordination et orienter la recherche future, NREL a demandé à IRI de préparer un résumé de la recherche menée sur le biodiesel au cours des cinq dernières années. Ce rapport visera aussi à appuyer l'élaboration d'un plan stratégique de recherche du DOE sur le biodiesel.

Approche/Contexte : Depuis quelques années, de nombreux organismes effectuent de la recherche sur le biodiesel. Les groupes de recherche de l'industrie consacrent beaucoup de temps à établir qui fait quoi et ce qu'il reste à faire dans ce domaine.

Situation/Réalisations : Le projet est présentement terminé à 95 p. 100 et est actuellement dans sa phase d'examen interne final.

Publications et présentations :

1. Avancement des travaux dans la recherche sur le biodiesel : 1992 à 1997 (à paraître)

Biodiesel Fuel Certification and Quality Assurance

Recherche financée par : U.S. Department of Energy, Office of Fuels Developments, par l'entremise du National Renewable Energy Laboratory et du National Biodiesel Board

Gestionnaire de projet : S. Tyson, (303) 275-4616

Organismes d'exécution : National Renewable Energy Laboratory, 1617 Cole Boulevard, Golden, CO 80401

Enquêteurs principaux : S. Tyson, (303) 275-4616 et S. Howell, (816) 635-5772

Financement du contrat :

AF 1997 : 25 000 \$

AF 1998 : 25 000 \$

Objectifs : Pendant de nombreuses années, les recherches et les démonstrations relatives au biodiesel ont avancé sans tenir compte de la qualité du carburant. L'industrie semblait croire que les esters méthyliques de qualité industrielle étaient convenables pour être employés comme carburants. Avec les années, on a constaté que la qualité du carburant constituait un élément extrêmement important. Le NBB a donc décidé d'élaborer des propositions de normes ASTM pour le biodiesel. Le projet constitue la deuxième étape vers une institutionnalisation de normes sur la qualité du carburant à l'échelle de toute l'industrie.

Approche/Contexte : Le NBB a décidé d'aller de l'avant en procédant à l'analyse d'échantillons de carburant de l'industrie pour les comparer aux normes proposées de l'ASTM sur le biodiesel, en travaillant de concert avec les producteurs en vue de mettre en place des programmes d'assurance de la qualité du carburant au sein de chaque compagnie et ainsi faire en sorte que les producteurs puissent se conformer à ces normes sur le carburant. Le NREL a décidé d'aller de l'avant et de préparer un rapport traitant de l'importance de la qualité du carburant et des normes sur le carburant, aux yeux du consommateur, y compris la mise en place de mécanismes contractuels pour l'achat de biodiesel conforme aux normes. Le rapport contiendra aussi des protocoles à l'intention des consommateurs et d'autres entités œuvrant dans la chaîne de manutention du carburant. Ces protocoles seront nécessaires au maintien de la qualité du carburant tout au long du processus de distribution et d'entreposage du carburant, à partir du moment où le biodiesel quittera les installations du producteur.

Situation/Réalisations : Le projet commencera au cours de l'AF 1998 et se terminera en juin 1998.

Publications et présentations :

1. Normes de qualité du carburant biodiesel et protocoles d'exploitation recommandés pour le maintien de la qualité du carburant (à paraître).

DOE's Biodiesel Strategic Plan

Recherche financée par : U.S. Department of Energy, Office of Fuels Developments,
par l'entremise du National Renewable Energy Laboratory
Gestionnaire de projet : S. Tyson, (303) 275-4616

Organisme d'exécution : National Renewable Energy Laboratory, 1617 Cole
Boulevard, Golden, CO 80401

Enquêteur principal : S. Tyson, (303) 275-4616

Financement du contrat :
AF 1997 : 25 000 \$

AF 1998 : 25 000 \$

Objectifs : Le NREL organisera et tiendra des réunions avec les intervenants du secteur du biodiesel afin de déterminer les objectifs et les besoins en matière de recherche et de développement dans l'industrie. Un plan stratégique provisoire découlant de ces réunions sera préparé et transmis aux intervenants à des fins de commentaires. Une réunion pourra être tenue en marge d'une conférence sur le biodiesel ou d'une réunion du NBB en vue de régler, dans la mesure du possible, les divergences d'opinions. Un rapport final sera transmis au DOE et servira à établir les priorités dans le cadre de programmes de recherche futurs du DOE sur les biocarburants.

Approche/Contexte : En 1996, le DOE a mis fin à la composante du projet sur le biodiesel portant sur les microalgues et a modifié considérablement l'orientation du reste de la recherche au NREL. Le DOE pourrait se servir de ce plan pour élaborer des initiatives de recherche et recommander des enveloppes budgétaires pour les prochaines années.

Le projet sur le biodiesel qui se déroule au NREL présentement est orienté de manière à soutenir la mise en marché de l'industrie du biodiesel. Compte tenu du financement limité qu'offrent les secteurs public et privé pour la recherche, il importe de soutenir les activités prioritaires de recherche, la recherche doit être coordonnée lorsque cela est possible, et les objectifs à long terme et à court terme doivent être étudiés convenablement. Pour favoriser ces activités, le NBB et le NREL ont travaillé de concert avec d'autres organismes et avec l'industrie du biodiesel afin d'améliorer la compréhension de l'organisation sur la façon dont l'industrie du biodiesel doit évoluer, sur les principales occasions de mise en marché offertes et sur les obstacles technologiques et réglementaires auxquels pourrait faire face le développement du biodiesel.

Situation/Réalisations : Plusieurs réunions ont eu lieu avec les producteurs, l'USDA, le NBB, le DOE, les gestionnaires du RBEP et d'autres intervenants afin de préciser les principaux problèmes auxquels est confrontée l'industrie du biodiesel aujourd'hui. Un plan stratégique provisoire sera préparé à la fin de 1997 à des fins de diffusion et de commentaires. Un plan stratégique final paraîtra en juin 1998.

Publications et présentations :

1. Plan stratégique du DOE sur le biodiesel (à paraître)