
ANALYSE DOCUMENTAIRE VISANT À EXAMINER L'INCIDENCE DE CERTAINS PARAMÈTRES DE LA QUALITÉ DU CARBURANT SUR LES ÉMISSIONS DES VÉHICULES

Préparée pour :

Santé Canada

Division des effets de l'air sur la santé
3^e étage, indice de l'adresse 4903C
269, avenue Laurier Ouest
Ottawa (Ontario)
K1A 0K9

et

Environnement Canada

Division du pétrole, du gaz et de
l'énergie de remplacement
Place Vincent Massey
351, boulevard Saint-Joseph
Gatineau (Québec)
K1A 0H3

Préparée par :

ENVIRON EC (CANADA), INC.

ENVIRON

Projet n° CA12-00199A

Le 15 janvier 2010

Table des matières

	Page
1 INTRODUCTION	1
1.1 OBJECTIFS	1
1.2 RENSEIGNEMENTS GÉNÉRAUX.....	1
1.2.1 Soufre	2
1.2.2 Anticalaminants.....	2
1.2.3 Indice de cétane.....	2
1.2.4 Lubrifiante	3
2 APPROCHE.....	4
2.1 CHOIX DE LA DOCUMENTATION.....	4
2.2 MÉTHODOLOGIE DE L'ANALYSE DOCUMENTAIRE.....	5
3 SYNTHÈSE DE L'ANALYSE DOCUMENTAIRE.....	6
3.1 SOUFRE DANS L'ESSENCE.....	6
3.1.1 Renseignements généraux	6
3.1.2 Principales études	7
3.1.3 Incidence du soufre du carburant sur les émissions des véhicules à essence	8
3.1.4 Résumé des effets du soufre.....	19
3.1.5 Lacunes dans les connaissances.....	21
3.2 ANTICALAMINANTS DANS L'ESSENCE	23
3.2.1 Renseignements généraux	23
3.2.2 Règlement aux États-Unis	24
3.2.3 Principales études	25
3.2.4 Effets des anticalaminants et des dépôts dans les injecteurs de carburant et sur les soupapes d'admission sur les émissions.....	26
3.2.5 Effets des anticalaminants et des dépôts dans la chambre de combustion (DCC) sur les émissions.....	27
3.2.6 Effets des anticalaminants sur la technologie naissante : les moteurs à injection directe....	30
3.2.7 Anticalaminants et émissions toxiques	32
3.2.8 Résumé des effets des anticalaminants.....	33
3.2.9 Lacunes dans les connaissances.....	35
3.3 CÉTANE DANS LE CARBURANT DIESEL.....	37
3.3.1 Renseignements généraux	37
3.3.2 Principales études	37
3.3.3 Détermination de l'indice de cétane.....	38
3.3.4 Méthodes pour augmenter l'indice de cétane	39
3.3.5 Effet du cétane sur les moteurs diesels lourds.....	39
3.3.6 Effet du cétane sur les véhicules légers à moteur diesel	41

3.3.7	<i>Effet sur les technologies naissantes</i>	42
3.3.8	<i>Résumé des effets du cétane</i>	44
3.3.9	<i>Lacunes dans les connaissances</i>	45
3.4	LUBRIFIANCE DU CARBURANT DIESEL	46
3.4.1	<i>Renseignements généraux</i>	46
3.4.2	<i>Principales études</i>	47
3.4.3	<i>Détermination de la lubrifiante</i>	47
3.4.4	<i>Méthodes pour augmenter la lubrifiante</i>	48
3.4.5	<i>Effets de la lubrifiante sur le matériel d'injection du carburant</i>	49
3.4.6	<i>Résumé des effets de la lubrifiante</i>	49
3.4.7	<i>Lacunes dans les connaissances</i>	50
4	LIMITES	52

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Résultats des émissions moyennes liées au carburant, y compris pour les véhicules européens (g/mi)	9
Tableau 2. Influences du soufre du carburant après une accumulation de millage	17
Tableau 3. Lacunes dans les connaissances liées au soufre dans le carburant	22
Tableau 4. Résumé de l'analyse des lacunes relatives aux anticalaminants	36
Tableau 5. Résumé de l'analyse des lacunes relatives au cétane	46
Tableau 6. Résumé de l'analyse des lacunes relatives à la lubrifiante	50

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Changement du pourcentage d'HT par rapport au carburant de référence (20 ppm) selon la teneur en soufre	11
Figure 2. Changement du pourcentage de NOX par rapport au carburant de référence (20 ppm) selon la teneur en soufre.....	12
Figure 3. Réaction des émissions de NOX en fonction du soufre dans le carburant pour les véhicules conformes aux normes californiennes des VPP	14
Figure 4. Formation d'une épaisseur de DCC à la tête de piston avec le temps	28
Figure 5. Augmentation des émissions de NOX à la sortie du moteur avec le temps.....	28

LISTE DES ANNEXES

Annexe A – Soufre dans l'essence, références A.1 à A.23

Annexe B – Anticalaminants dans l'essence, références B.1 à B.29

Annexe C – Cétane dans le carburant diesel, références C.1 à C.39

Annexe D – Lubrifiante dans le carburant diesel, références D.1 à D.13

Annexe E – Bibliographie

Liste des acronymes

ACCH	Allumage par compression à charge homogène
AEE	Agence européenne pour l'environnement
AIAMC	Association des fabricants internationaux d'automobiles du Canada
ASTM	American Society for Testing and Materials
CAM	Concentration d'additifs minimale
CARB	California Air Resources Board
CO	Monoxyde de carbone
COD	Catalyseur d'oxydation pour moteur diesel
CONCAWE	Organisation européenne des compagnies pétrolières pour l'environnement, la santé et la sécurité
CRC	Coordinating Research Council
CR-DPF	Filtre à particules à régénération continue pour moteur diesel
DCC	Dépôts dans la chambre de combustion
DPF	Filtre à particules pour moteur diesel
DPGER	Division du pétrole, du gaz et de l'énergie de remplacement
DSA	Dépôt sur les soupapes d'admission
DTBP	Peroxyde de di-tert-butyle
ECE	Circuit de conduite urbaine utilisé en Europe pour les véhicules légers
EPEFE	Programme européen pour les émissions, les carburants et les technologies des moteurs
ESC	Cycle stationnaire de l'Union européenne
EUDC	Cycle de conduite extra-urbaine
EURO I à VI	Normes européennes d'émission
FTP	Procédure d'essai fédérale (États-Unis)
GTTQC	Groupe de travail technique sur la qualité du carburant
HC	Hydrocarbures
HCNM	Hydrocarbures non méthaniques
HFRR	Banc alternatif à haute fréquence (High Frequency Reciprocating Rig)
HT	Hydrocarbures totaux
IC	Indice de cétane, une mesure du délai d'allumage du carburant
ICC	Indice de cétane calculé
IDAC	Injection directe et allumage commandé
IMP	Injection multipoint
LPL-EGR	Recirculation des gaz d'échappement - Boucle basse pression
MP	Matière particulaire
MSAT	Toxiques atmosphériques émis par des sources mobiles

NEDC	Nouveau cycle européen de conduite
Niveaux 1 à 4	Normes d'émission de l'EPA des États-Unis
NO _x	Oxydes d'azote
NSR	Catalyseur de réduction de stockage de NO _x
OBD	Diagnostic intégré
ONGC	Office des normes générales du Canada
PBV	Poids brut du véhicule
PCCI	Allumage par compression d'une charge prémélangée
PEA	Polyétheramine
PIBA	Polyisobutyl amine
RGE	Recirculation des gaz d'échappement
RSC	Réduction sélective catalytique
SAE	Society of Automotive Engineers
SLBOCLE	Méthode SLBOCLE (Scuffing Load Ball-on-Cylinder Lubricity Evaluator)
SO ₂	Dioxyde de soufre
SULEV	Véhicule à émissions super ultra-faibles
TGV	Turbocompresseur à géométrie variable
TWC	Convertisseur catalytique à trois voies
ULSD	Diesel à faible teneur en soufre
USEPA	United States Environmental Protection Agency (EPA des États-Unis)
VPP	Véhicule peu polluant
VPPT	Véhicule peu polluant de transition
VTPP	Véhicule très peu polluant
WSD	Diamètre d'impression d'usure

1 Introduction

En réponse à des questions soulevées dans un rapport publié par le Pembina Institute, commandé par l'Association des fabricants internationaux d'automobiles du Canada (AIAMC), le ministre de l'Environnement a chargé la Division du pétrole, du gaz et de l'énergie de remplacement (DPGER) de la Direction générale de l'intendance environnementale d'Environnement Canada, de collaborer avec l'industrie pour émettre des recommandations à l'intention du ministre de l'Environnement quant à la voie à suivre relativement aux quatre paramètres de qualité du carburant se rapportant à l'essence et au diesel destinés aux véhicules routiers. Ces paramètres incluent le soufre dans l'essence, les anticalaminants dans l'essence, la lubrifiante dans le diesel et le cétane dans le diesel. Le ministre a précisé que la recommandation devait être formulée en tenant compte de l'harmonisation avec les États-Unis et des avantages sur le plan de l'environnement ou de la santé. La DPGER a créé un groupe de travail technique sur la qualité du carburant (GTTQC) entre le gouvernement et l'industrie pour élaborer la voie à suivre recommandée, qui comprend Santé Canada, d'autres ministères gouvernementaux et des intervenants de l'industrie.

Santé Canada (Section des carburants, Division des effets de l'air sur la santé) et Environnement Canada (DPGER) souhaitent mieux comprendre l'état des preuves scientifiques existantes afin d'établir un lien entre les éventuelles réductions des émissions des véhicules et les possibles changements de certains paramètres de la qualité du carburant.

Le présent rapport comporte une analyse de la documentation existante au sujet de ces quatre paramètres du carburant et de leur lien avec les émissions des véhicules.

1.1 Objectifs

Quatre objectifs ont été définis dans le cadre de cette analyse documentaire, soit les suivants :

- évaluer l'incidence potentielle de la réduction de la teneur en soufre de l'essence destinée à un usage routier sur les émissions des véhicules;
- évaluer l'incidence potentielle de l'augmentation de la quantité d'anticalaminants dans l'essence destinée à un usage routier sur les émissions des véhicules;
- évaluer l'incidence potentielle de l'augmentation de la teneur en cétane dans le carburant diesel à usage routier sur les émissions des véhicules;
- évaluer l'incidence potentielle de l'augmentation du taux de lubrifiante dans le carburant diesel à usage routier sur les émissions des véhicules.

1.2 Renseignements généraux

La qualité du carburant au Canada est assurée grâce à une combinaison de règlements (fédéraux et provinciaux) et une démarche commerciale soutenue par des processus et des spécifications mis au point par l'Office des normes générales du Canada (ONGC). Les lois fédérales et provinciales instaurent l'autorité en vertu de laquelle les paramètres de la qualité du carburant sont réglementés. La démarche commerciale visant à préserver la qualité du carburant repose sur l'industrie privée, qui adopte volontairement les spécifications de l'ONGC en tant que pratiques commerciales normalisées pour faciliter les transactions de produits commerciaux.

1.2.1 Soufre

Des niveaux de soufre élevés dans l'essence peuvent contribuer à des émissions de matières particulaires (MP) et de dioxyde de soufre (SO₂) et ils peuvent perturber les technologies de post-traitement (p. ex. les catalyseurs) requises pour contrôler efficacement les émissions. Les perturbations du post-traitement peuvent entraîner une augmentation des émissions d'hydrocarbures (HC), de monoxyde de carbone (CO) et d'oxydes d'azote (NO_x).

Le Règlement fédéral sur le soufre dans l'essence (DORS/99-236) fixe des limites pour le soufre dans l'essence produite, importée ou vendue au Canada pour un usage routier à un niveau moyen de 30 mg/kg, avec un maximum de 80 mg/kg à ne jamais dépasser. Bien que l'imposition relativement récente de cette limite représente une réduction importante de la teneur en soufre historique dans le carburant, certains auteurs ont suggéré¹ qu'une plus grande amélioration de la quantité des émissions pourrait être obtenue en abaissant davantage les limites de soufre. Pour obtenir des renseignements sur le *Règlement sur le soufre dans l'essence* au Canada, consultez le site Web suivant : <http://laws.justice.gc.ca/fra/DORS-99-236/index.html>.

1.2.2 Anticalaminants

Au fil du temps, les dépôts dans le système d'alimentation en carburant (p. ex., les injecteurs, etc.) peuvent entraîner une diminution du rendement du système de débit du carburant, plus précisément la perte de débit de carburant dans la chambre de combustion du moteur. Cette occurrence peut à son tour avoir un impact sur la combustion, réduire la longévité du moteur et avoir des répercussions négatives sur l'économie de carburant. Ces répercussions peuvent à leur tour entraîner une hausse des émissions d'oxydes d'azote (NO_x), de monoxyde de carbone (CO) et d'hydrocarbures (HC), surtout lorsque le véhicule prend de l'âge. Les anticalaminants, ajoutés au carburant à des taux de traitement précis, sont destinés à réduire ou à éliminer les dépôts et donc à limiter toute augmentation des niveaux d'émissions des véhicules au fil du temps. Les spécifications de l'ONGC préconisent l'ajout volontaire d'anticalaminants à l'essence. Certains ont indiqué¹ qu'une amélioration de la détergence dans le carburant (c'est-à-dire l'augmentation de la quantité d'anticalaminants) réduira les émissions des véhicules.

1.2.3 Indice de cétane

L'indice de cétane (IC) ou le *cetane number* est utilisé comme mesure de la qualité de l'allumage du carburant diesel et il influence les caractéristiques de combustion. L'indice de cétane est en fait une mesure du délai d'allumage, du début de l'injection au début de la combustion, et il dépend de la composition en hydrocarbures du carburant. Cet indice de cétane « naturel » peut être modifié par l'ajout d'« améliorateurs » de cétane, qui augmentent l'indice de cétane avec un changement minimal dans la composition du carburant.

Une mesure liée à l'IC, l'indice de cétane calculé (ICC) ou le *cetane index*, est utilisée comme une estimation de l'indice de cétane lorsqu'un moteur d'essai n'est pas disponible pour

¹ Row, J., et A. Doukas. 2008. « Fuel Quality in Canada Impact on Tailpipe Emissions », préparé par le Pembina Institute, Drayton Valley, Alberta, Canada T7A 1S7; préparé pour l'Association des fabricants internationaux d'automobiles du Canada.

déterminer directement cette propriété. Cependant, l'ICC est fondé sur des corrélations empiriques de l'IC avec certains paramètres du carburant et il ne peut pas rendre compte des améliorateurs de cétane. Par conséquent, cette analyse utilise exclusivement l'indice de cétane.

Les spécifications de l'ONGC pour le carburant diesel déterminent une limite volontaire inférieure de l'indice de cétane (IC), à savoir 40.

Certains ont indiqué¹ que l'augmentation de l'indice de cétane dans le carburant diesel réduira les émissions d'oxydes d'azote (NO_x), d'hydrocarbures (HC) et de monoxyde de carbone (CO).

1.2.4 Lubrifiante

La lubrifiante est une mesure des caractéristiques lubrifiantes d'un carburant diesel et elle a une incidence sur l'usure à long terme des composantes du système d'alimentation en carburant, notamment les pompes, les injecteurs ou d'autres appareils de mesure. Comme les contrôles précis sont essentiels pour le fonctionnement correct de moteurs modernes, la dégradation des contrôles du carburant peut entraîner une augmentation des émissions.

La spécification normalisée de l'ONGC relative au carburant diesel définit un seuil de lubrifiante minimal volontaire. Cette norme permet la démonstration d'une lubrifiante adéquate de plusieurs façons différentes, mais la façon mentionnée le plus fréquemment est un essai au banc standard donnant un diamètre d'impression d'usure maximal de 460 µm à 60 °C. Certains ont suggéré¹ qu'une diminution de cette limite supérieure réduira les émissions au cours de la durée de vie d'un véhicule à moteur diesel.

2 Approche

La présente section décrit l'approche globale utilisée pour réaliser l'analyse décrite dans ce rapport, notamment le processus par lequel la liste des documents techniques a été établie, ainsi que la méthodologie d'évaluation des documents. Les résumés de chaque étude sont présentés dans les annexes A à D et ils respectent la méthodologie et les critères d'évaluation décrits ci-après pour chaque étude.

2.1 Choix de la documentation

Le processus de sélection de la documentation a commencé par l'examen des documents relatifs à l'étude d'impact de la réglementation et d'autres documents de soutien technique qui accompagnent les principaux règlements de contrôle au Canada, aux États-Unis et en Europe. Ces documents relatifs à l'étude d'impact de la réglementation citaient fréquemment des publications évaluées par les pairs à titre de données de base pour le règlement proposé. Ces documents constituaient une source de documentation initiale à partir de laquelle un autre repérage de documentation a été effectué. Bon nombre des études citées dans ces documents ont été incluses dans la documentation mentionnée dans la présente analyse.

Les études citées dans ces documents ont fait l'objet de recherches visant à définir leurs références sous-jacentes, et ces références ont à leur tour fait l'objet de recherches chronologiques dans le passé et dans le futur pour trouver d'autres publications des mêmes auteurs ou citant les mêmes auteurs.

Les deux étapes décrites ci-dessus ont fourni de la documentation associée aux règlements de contrôle aux États-Unis (à la fois du California Air Resources Board [CARB] et de l'Environmental Protection Agency [EPA] des États-Unis) et en Europe. Outre cette documentation, des recherches documentaires de base ont été menées dans les principales revues évaluées par les pairs et dans d'autres bases de données de ressources pour trouver les mots-clés associés aux quatre paramètres du carburant pris en considération dans cette évaluation. Les types de publications recherchées dans la recherche générale sur les paramètres du carburant étaient les suivants :

- les principales revues pour la recherche universitaire (p. ex., Society of Automotive Engineers (SAE), *Transportation Research*, *Atmospheric Environment*);
- des études parrainées par les agences de réglementation (p. ex., l'EPA des États-Unis, le CARB, l'Agence européenne pour l'environnement);
- des études parrainées par l'industrie (p. ex., le Coordinating Research Council [CRC], l'Alliance of Automobile Manufacturers, l'Organisation européenne des compagnies pétrolières pour l'environnement, la santé et la sécurité [CONCAWE]);
- des revues sur la conception des moteurs et d'autres revues spécialisées.

Les articles repérés grâce à des recherches par mot-clé dans les grandes revues, les études parrainées par l'industrie ou dans des documents relatifs à l'étude d'impact de la réglementation ont été examinés en fonction de leur pertinence par rapport aux quatre paramètres spécifiques de la qualité du carburant étudiés dans cette analyse. Ce filtrage initial était requis parce que certaines études semblaient aborder les quatre paramètres de la qualité du carburant dans les recherches par mot-clé ou titre, mais en réalité, elles ne présentaient aucune analyse qui puisse établir un lien entre ces paramètres et les émissions/la technologie automobile.

2.2 Méthodologie de l'analyse documentaire

Le processus décrit ci-dessus a permis à l'équipe de rassembler des études sur chacun des quatre paramètres de la qualité du carburant à partir d'un large éventail de sources. La bibliographie contient la liste finale des études qui ont été recueillies et incluses dans cette analyse. Ces études ont ensuite fait l'objet d'un examen, leurs résultats ont été résumés et une brève analyse a été exécutée pour juger de la qualité de l'étude en tenant compte de plusieurs critères.

Le critère le plus important utilisé pour évaluer les études est le fait de déterminer si les études abordent directement le lien entre le paramètre de la qualité du carburant et les émissions. Le lien peut être direct ou indirect, par l'incidence sur les composantes de la technologie automobile. La majorité des études qui n'ont pas établi le lien en question n'ont pas été incluses dans l'analyse ultérieure; toutefois, certaines études qui traitent du phénomène sous-jacent du paramètre de la qualité du carburant ont été revues et analysées (par exemple, des études qui traitent du lien entre les dépôts dans les moteurs et les émissions, mais qui ne relient pas directement les anticalaminants à ces émissions).

Les études qui montraient un lien direct entre un paramètre de la qualité du carburant et les émissions ou les effets de la technologie automobile ont ensuite été examinées en prenant en considération plusieurs autres facteurs. Les paramètres de l'étude ont fait l'objet d'un examen quant à la méthode d'essai qui était utilisée, le cycle de conduite et l'accumulation des années/du millage (kilométrage) du véhicule, le type de véhicule (année de modèle, type de technologie), le mode de variation des paramètres de la qualité du carburant et les paramètres examinés, le mode de présentation des résultats et la question de savoir si une analyse statistique solide était présentée (écart-type, intervalles de confiance) et les conclusions principales de l'étude.

L'étape finale de l'examen des études était la prise en considération de tous les facteurs susmentionnés pour évaluer la qualité d'une étude précise. Le but de cette analyse finale était de déterminer si l'étude contribue à l'information qui répondrait à la question d'un lien entre les émissions/la technologie automobile et le paramètre de la qualité du carburant, ainsi que la question de savoir si les résultats de l'étude pourraient être généralisés ou s'ils étaient limités par les variables de l'étude. Finalement, chaque étude a été évaluée pour déterminer si suffisamment de données étaient présentées dans l'étude pour examiner tous les facteurs cités ci-dessus ainsi que pour aborder la question fondamentale du lien entre les émissions/la technologie automobile et l'étude. Si les données présentées étaient insuffisantes, qu'il en ait été jugé ainsi par notre équipe lors de la révision de l'étude ou par les auteurs de l'étude eux-mêmes, ces limites et inconnues ont été indiquées.

Une analyse de synthèse a ensuite été mise au point en prenant en compte tous les examens de l'étude effectués. L'objectif de la synthèse était de déterminer si on observait des tendances et un lien clairs entre un paramètre de la qualité du carburant et les émissions ou la technologie automobile dans les études menées (c'est-à-dire dans chaque paramètre de la qualité du carburant). Si plusieurs études de haute qualité (selon les critères établis dans la présente étude) ont produit des résultats contradictoires pour ce lien, l'analyse de synthèse a signalé cette conclusion et elle a indiqué dans quel domaine de futurs travaux sont requis pour bien définir le lien.

3 Synthèse de l'analyse documentaire

Un bref résumé de chaque étude ou document pertinent révisé est inclus dans les annexes, qui se présentent comme suit :

- Annexe A – Soufre dans l'essence, références A.1 à A.23
- Annexe B – Anticalaminants dans l'essence, références B.1 à B.29
- Annexe C – Cétane dans le carburant diesel, références C.1 à C.39
- Annexe D – Lubrifiante dans le carburant diesel, références D.1 à D.13
- Annexe E – Une liste bibliographique complète des références utilisées

La présente section comporte une synthèse de l'évaluation de chaque paramètre du carburant.

3.1 Soufre dans l'essence

3.1.1 Renseignements généraux

Le pétrole brut qui est raffiné pour produire de l'essence peut contenir des quantités de soufre importantes. Le taux d'élimination du soufre pendant le raffinage est fixé pour respecter les exigences réglementaires. Depuis 2005, le Canada exige que l'essence contienne un niveau de soufre moyen inférieur à 30 parties par million (ppm) avec une teneur en soufre du carburant maximale de 80 ppm ou une limite fixe de 40 ppm par lot.

Les véhicules modernes utilisant un convertisseur catalytique à trois voies ou une autre technologie avancée peuvent être endommagés par le soufre par l'empoisonnement du catalyseur. Généralement, la portée de l'empoisonnement du catalyseur dépend de la teneur en soufre du carburant, de la configuration du catalyseur et des processus de combustion du moteur. Les études étaient axées principalement sur les points suivants : 1) la défaillance du catalyseur, étant donné qu'il est en rapport avec les changements des émissions du véhicule à court et à long terme; et 2) la question de savoir si les effets du carburant sur les émissions du véhicules sont « réversibles ». Le fonctionnement d'un catalyseur ayant subi un empoisonnement au soufre sera altéré. La réversibilité fait référence à la possibilité qu'aura le catalyseur de retrouver un fonctionnement normal après un empoisonnement au soufre. Si un catalyseur est soumis à des températures élevées en raison de charges élevées du moteur, le catalyseur peut être purifié des composés qui l'altèrent, ce qui permettra dès lors au catalyseur de retrouver un fonctionnement normal sans défaillance causée par le soufre. Le degré de réversibilité qui peut être obtenu dépend de la mesure dans laquelle les conditions de conduite peuvent fournir les températures élevées requises pour purifier le catalyseur.

Les véhicules munis de convertisseurs catalytiques à trois voies (TWC) ont fait l'objet de nombreuses études dans les années 1990. Ces études ont servi à guider la réglementation du soufre dans le carburant aux États-Unis, qui exigeait la réduction du soufre de la fourchette des centaines de ppm à la fourchette inférieure du soufre dans le carburant, ce qui nécessitait que l'essence contienne un niveau de soufre moyen inférieur à 30 parties par million (ppm) avec une teneur en soufre maximale de 80 ppm dans le carburant. Des études récentes se sont concentrées sur les effets sur les émissions d'un passage à un carburant à forte ou faible teneur en soufre à un « carburant sans soufre » (teneur en soufre de moins de 10 ppm dans le carburant) pour les véhicules ayant des moteurs conventionnels à allumage commandé munis

d'un convertisseur catalytique à trois voies, ainsi que des moteurs à allumage commandé à charge stratifiée bénéficiant d'une technologie catalytique avancée.

3.1.2 Principales études

La liste des principales études relatives aux effets du soufre dans l'essence sur les émissions est dressée ci-après. Ces études ont été pilotées principalement par la réglementation fédérale et californienne aux États-Unis, qui régit les concentrations de soufre dans l'essence; bon nombre de ces études faisaient partie de la documentation générale utilisée dans les analyses de l'étude d'impact de la réglementation qui accompagnent la finalisation de cette réglementation.

Il convient de noter que notre analyse s'est appuyée sur ces études clés, mais qu'elle intégrait des connaissances, des données et des résultats issus de nombreuses autres études qui sont mentionnées en annexe. Les tendances et conclusions générales à l'égard des effets des paramètres du carburant sur les émissions ont été guidées par l'ensemble des études que nous avons prises en considération, notamment ces études clés.

- Alliance of Automobile Manufacturers. 2009. « National Clean Gasoline: An Investigation of Costs and Benefits » (juin) [A.1].
- Shen, Y. 2008. Effects of gasoline fuel properties on engine performance. *SAE Paper* 2008-01-0628 [A.4].
- CRC. 2008. « Review of Prior Studies of Fuel Effects on Vehicle Emissions », préparé par M. Albert M. Hochhauser, 12 Celler Rd., Edison, NJ 8817; préparé pour le Coordinating Research Council, CRC Project E-84 [A.5].
- EPA. 2007. « Regulatory Impact Analysis: Control of Hazardous Air Pollutants from Mobile Sources, Chapter 6: Feasibility of the Benzene Control Program », United States Environmental Protection Agency. EPA420-R-07-002 [A.6].
- Ntziachristos, L., A. Mamakos, Z. Samaras, U. Mathis, M. Mohr, N. Thompson, R. Stradling, L. Forti et C. Serves. 2004. Overview of the European "Particulates" Project on the characterization of exhaust particulate emissions from road vehicles: Results for light-duty vehicles. *SAE Paper* 2004-01-1985 [A.7].
- Stradling, R., N., R. Thompson, D. Bazzani, S.D. Rickeard, P.M. Bjordal, P. Martinez, P. Schmelzle, G. Scorletti, P. Wolff et J. Zemroch. 2004. Fuel effects on regulated emissions from modern gasoline vehicles. *SAE Paper* 2004-01-1886 [A.8].
- Durbin, T.D., J.W. Miller, J.T. Pisano, T. Younglove, C.G. Sauer, S.H. Rhee, T. Huai et G.I. Mackay. 2003. « The Effect of Fuel Sulphur on NH₃ and Other Emissions from 2000-2001 Model Year Vehicle », Coordinating Research Council (mai) [A.9].
- Saitoh, K., et M. Hamasaki. 2003. Effects of sulphur, aromatics, T50, T90 and MTBE on mass exhaust emission from vehicles with advanced technology – JCAP Gasoline WG STEP II Report. *SAE Paper* 2003-01-1905 [A.10].
- Mohr, M.U.L., et G. Margaria. 2003. ACEA program on the emissions of fine particulates from passenger cars (2) – Part 2: Effect of sampling conditions and fuel sulphur content on the particle emission. *SAE Paper* 2003-01-1890 [A.11].
- AECC. 2000. « Response to European Commission Consultation on the Need to Reduce the Sulphur Content of Petrol and Diesel Fuels below 50 Parts per Million », Association for Emissions Control by Catalyst (juillet 2000) [A.14].
- Baronick, J., B. Heller et G. Lach. 2000. Impact of sulphur in gasoline on nitrous oxide and other exhaust gas components. *SAE Paper* 2000-01-0857 [A.17].
- ACEA. 2000. « ACEA Data of the Sulphur Effect in Advanced Emission Control Technologies », Association of European Automobile Manufacturers, Bruxelles [A.18].

Lyons, J.M., D. Lax et S. Welstand. 1999. Investigation of sulphur sensitivity and reversibility in late-model vehicles. *SAE Paper* 1999-01-3676 [A.19].

Kwon, Y.K., R. Bazzani, P.J. Bennett, O. Esmilaire, P. Scorletti, T. David, B. Morgan, C.L. Goodfellow, M. Lien, W. Broeckx et P. Liiva. 1999. Emissions response of a European specification direct-injection gasoline vehicle to a fuels matrix incorporating independent variations in both compositional and distillation parameters. *SAE Paper* 1999-01-3663 [A.20].

Schleyer, C.H., K.D. Eng, R.A. Gorse, R.F. Gunst, J. Eckstrom, J. Freil, M. Natarajan et A.M. Schlenker. 1999. Reversibility of sulphur effects on emissions of California low-emission vehicles. *SAE Paper* 1999-01-1544 [A.21].

Schleyer, C.H., R.A. Gorse Jr., R.F. Gunst, G.J. Barnes, J. Eckstrom, K.D. Eng, J. Freil, M. Natarajan et A.M. Schlenker. 1998. Effect of fuel sulphur on emissions in California low emission vehicles. *SAE Paper* 982726 [A.22].

3.1.3 Incidence du soufre du carburant sur les émissions des véhicules à essence

Convertisseur catalytique à trois voies, carburant sans soufre (HC, CO, NO_x)

L'Environmental Protection Agency (EPA) des États-Unis et l'industrie automobile ont réalisé une étude conjointe sur les effets du soufre du carburant sur les émissions des véhicules et l'EPA a utilisé les résultats pour étayer le règlement de l'EPA relatif aux toxiques atmosphériques émis par des sources mobiles (Mobile Source Air Toxics – MSAT) [A.6]. Neuf véhicules homologués du Niveau 2 des années de modèle 2004 à 2007, de la Série 5 ou 8 (c'est-à-dire des véhicules du dernier modèle homologué du Niveau 2 qui sont présents dans le parc de véhicules actuel), ont fait l'objet d'essais avec un carburant ayant une teneur en soufre de 6 ppm et 32 ppm. Avec un degré de certitude de 90 %, pour les HT, le CH₄, le CO et les NO_x, mais pas pour les HCNM, on a relevé des réductions statistiquement significatives en matière d'émissions produites avec un carburant ayant une teneur en soufre de 6 ppm par rapport au carburant ayant une teneur en soufre de 32 ppm. Les réductions des pourcentages d'émissions dues à l'utilisation d'un carburant ayant une teneur en soufre de 6 ppm par rapport à un carburant ayant une teneur en soufre de 32 ppm étaient respectivement de 11, 32, 17 et 33 pour les HT, le CH₄, le CO et les NO_x.

Une étude commandée par le Coordinating Research Council (CRC) et présentée en 2003 [A.9] a enquêté sur les effets du soufre du carburant sur les véhicules à technologie avancée. Douze véhicules homologués par les exigences de la Californie et deux véhicules homologués par la norme d'émission EURO III ont été soumis à des essais. Le parc a été conçu pour représenter certains des véhicules à technologie de pointe sur le marché au moment de l'étude, vers l'an 2001. On a évalué le carburant ayant une teneur en soufre de 5 ppm, 30 ppm et 150 ppm. Le tableau 1 ci-dessous montre les résultats de l'étude pour le cycle d'essai par méthode FTP et le cycle d'essai US06. Le cycle d'essai par méthode FTP est utilisé pour les essais de conformité des émissions et il a été mis au point dans des conditions réelles de conduite sur route à Los Angeles, en Californie. Le cycle de conduite US06 simule une conduite agressive sur autoroute et il constitue une procédure FTP supplémentaire. Les changements dans les émissions entre un carburant ayant une teneur en soufre de 30 ppm et un carburant ayant une teneur en soufre de 5 ppm étaient significatifs pour les émissions d'HCNM et de NO_x du cycle US06, mais pas pour les émissions de CO, tandis que les changements dans les émissions entre une teneur en soufre de 30 ppm et de 5 ppm n'étaient pas significatifs pour le cycle FTP en ce qui concernait les HCNM, le CO ou les NO_x.

Tableau 1. Résultats des émissions moyennes reliées au carburant, y compris pour les véhicules européens (g/mi)

(Source : [A.9])

Teneur en soufre du carburant	FTP			US06		
	HCNM	CO	NO _x	HCNM	CO	NO _x
5	0,049	0,639	0,053 ^c	0,013 ^{b,c}	4,564	0,043 ^{b,c}
30	0,048 ^c	0,629	0,059 ^c	0,021 ^{a,c}	4,676	0,072 ^{a,c}
150	0,052 ^b	0,682	0,072 ^{a,b}	0,038 ^{a,b}	4,953	0,123 ^{a,b}

a : Différence statistiquement significative comparativement à 5 ppm
b : Différence statistiquement significative comparativement à 30 ppm
c : Différence statistiquement significative comparativement à 150 ppm

En 2008, le CRC a demandé une étude et une synthèse d'une analyse documentaire [A.5]. Dans le présent rapport, des études historiques relatives au sujet de la sensibilité des émissions aux propriétés du carburant, notamment au soufre dans l'essence, ont été consultées. Les points de synthèse suivants ont été relevés par rapport aux effets du soufre présent dans le carburant :

Les auteurs indiquent que d'après leur examen des études portant sur le carburant à forte et faible teneur en soufre et sur le carburant sans soufre, il a été conclu que la diminution du soufre dans l'essence réduira les émissions d'HC, de CO et de NO_x. Bien que certaines données soient contradictoires, les réductions des émissions d'HC, de CO et de NO_x sont généralement linéaires en fonction de la teneur en soufre du carburant, surtout à une teneur en soufre inférieure à 150 ppm. Les auteurs ont avancé cet argument sur la base de la révision de nombreuses études, dont bon nombre comprenaient une évaluation des changements dans les émissions causés par le passage d'un carburant à faible teneur en soufre à un carburant sans soufre.

Les auteurs eux-mêmes notent que les niveaux d'émissions de matières particulaires (MP) sont vraisemblablement touchés par la teneur en soufre, mais que les émissions de particules provenant de véhicules plus récents sont trop faibles pour être détectées par les instruments utilisés actuellement pour mesurer les émissions, si bien que ces répercussions directes n'ont pas pu être vérifiées dans l'étude.

Les auteurs indiquent également que la réversibilité est totale dans des conditions de conduite modérées telles que celles du cycle de conduite FTP pour les véhicules antérieurs aux années 1990, mais qu'elle exigeait un fonctionnement « extrême » semblable à celui du cycle de conduite US06 pour atteindre les conditions propices requises afin d'obtenir une réversibilité totale pour les véhicules plus récents.

Les auteurs mentionnent également qu'aux niveaux observés dans l'essence moderne, le soufre ne contribue pas aux « caractéristiques de performance du véhicule », mais qu'il a des répercussions sur le convertisseur catalytique à trois voies (TWC) et d'autres composantes des systèmes de contrôle des émissions.

Les auteurs soulignent aussi que les émissions de benzène et de 1,3 butadiène diminuent et que les émissions de formaldéhyde peuvent augmenter avec les réductions de la teneur en soufre du carburant, bien que l'effet sur l'acétaldéhyde ne soit pas clair.

Les études relatives aux essais de véhicules révisées dans cette analyse documentaire

qui contiennent des renseignements au sujet des effets du soufre du carburant sur les émissions toxiques ont été publiées avant 2002. Les résultats issus de ces études ne peuvent pas être utilisés pour tirer des conclusions fiables concernant les effets du soufre du carburant sur les émissions de substances toxiques pour les modèles de véhicules récents qui répondent à des normes d'émission plus rigoureuses.

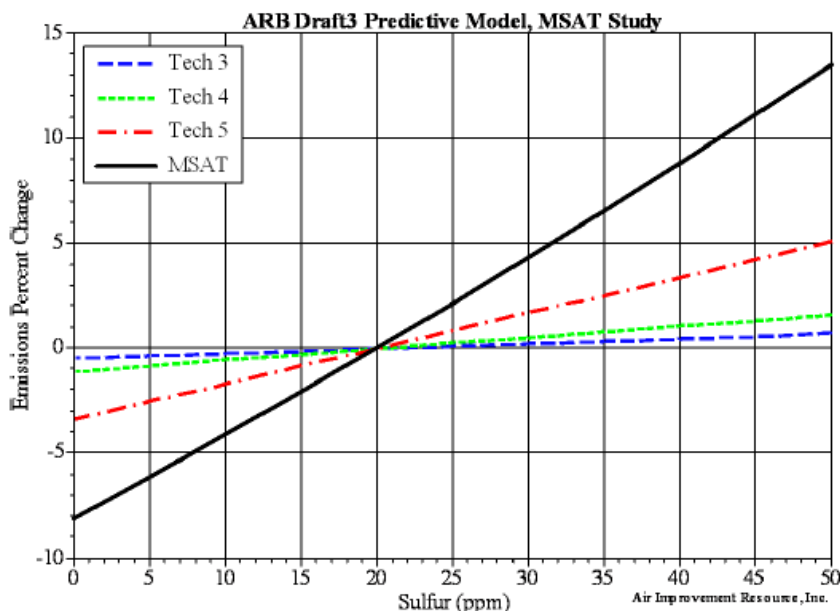
En 2004, la Society of Automotive Engineers (SAE) a publié une étude qui décrivait la méthodologie et les résultats d'un programme d'essai exécuté sur des véhicules munis de moteurs conventionnels et des véhicules munis de moteurs à charge stratifiée [A.8]. On a évalué des carburants ayant une teneur en soufre de 4 ppm, 9 ppm, 49 ppm et 148 ppm. Les véhicules conventionnels comprenaient 1) un véhicule stœchiométrique à injection directe homologué par la norme EURO III avec un convertisseur catalytique à trois voies et 2) un véhicule à injection multipoint (IMP) avec une activation de soupape variable homologué par la norme EURO IV muni d'un convertisseur catalytique à trois voies. Il a été noté que les émissions étaient faibles par rapport aux normes d'émission pour les deux véhicules munis de moteurs conventionnels parmi toutes les teneurs en soufre évaluées dans les carburants. On a remarqué des augmentations statistiquement significatives des émissions d'hydrocarbures en fonction de l'augmentation de la teneur en soufre du carburant, alors que les émissions d'oxydes d'azote (NO_x) n'avaient pas une sensibilité statistiquement significative à la teneur en soufre du carburant. Un véhicule a montré une diminution statistiquement significative des émissions de CO en fonction de l'augmentation de la teneur en soufre du carburant, tandis que l'autre véhicule n'a montré aucune sensibilité statistiquement significative.

En 2000, la Society of Automotive Engineers (SAE) a publié une étude qui décrivait la méthodologie et les résultats d'un programme d'essai exécuté sur trois véhicules munis de moteurs conventionnels homologués par chacune des normes californiennes suivantes : VPP (véhicules peu polluants), VTPP (véhicules très peu polluants) et SULEV (véhicules à émissions super ultra-faibles) [A.15]. La teneur en soufre du carburant variait entre moins d'une partie par million (ppm) et 600 ppm. Bien qu'aucune analyse statistique n'ait été effectuée, on a remarqué que les émissions d'HC et de NO_x pour chacun des trois véhicules s'avéraient sensibles à la teneur en soufre du carburant et que le SULEV s'avérait le plus sensible.

En 2000, l'Association of European Automobile Manufacturers a publié une révision des données internes sur les véhicules ayant été recueillies par des fabricants automobiles et qui avaient trait aux effets du soufre du carburant sur les émissions [A.18], en mettant l'accent sur les données pertinentes à la technologie avancée du contrôle des émissions. Les résultats des moteurs conventionnels à allumage commandé ont fait état de réductions des émissions de NO_x de l'ordre de 13 % lors de l'utilisation de carburant d'une teneur en soufre de 1 ppm au lieu de 30 ppm. Concernant la réversibilité, après avoir fonctionné avec du carburant d'une teneur en soufre de 50 ppm et ensuite de 600 ppm, les catalyseurs qui ont ensuite fonctionné de nouveau avec une teneur en soufre de 50 ppm ont donné des émissions de CO plus élevées par rapport aux émissions de CO initiales avec un carburant à teneur en soufre de 50 ppm, bien qu'aucune analyse de ce type n'ait été présentée pour un passage d'un carburant à faible teneur en soufre à un carburant sans soufre.

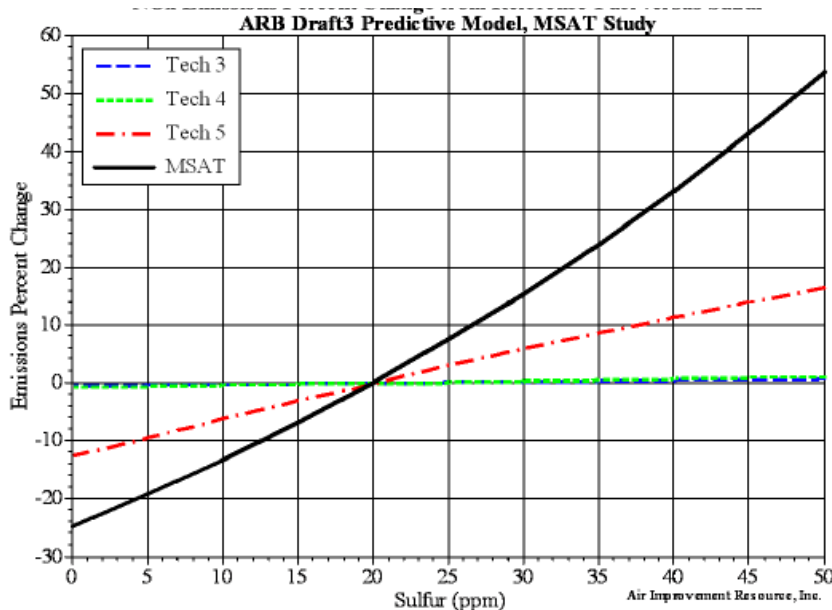
En 2009, l'Alliance of Automobile Manufacturers a publié une étude [A.1] dans laquelle elle présentait la sensibilité des émissions aux effets du soufre du carburant provenant de différentes sources. Les auteurs ont comparé la sensibilité des émissions à la teneur en soufre du carburant entre 0 ppm et 50 ppm, comme il est prévu par le modèle de prévision californien

pour les catégories Tech 3 (véhicules des années de modèle 1981 à 1985), Tech 4 (véhicules des années de modèle 1986 à 1995) et Tech 5 (année de modèle 1996 et années ultérieures) et les résultats de l'étude conjointe de l'EPA et de l'industrie automobile [A.6] pour les HT et les NO_x, comme le montrent les figures 1 et 2 ci-dessous. L'analyse de sensibilité présentée pour l'étude conjointe de l'EPA et de l'industrie automobile (MSAT dans la figure ci-dessous) représente les véhicules du Niveau 2 seulement, pour les années de modèle 2004 à 2007, comme décrit ci-dessus. Tant pour les HT que pour les NO_x, on a remarqué que d'après ces résultats, plus le véhicule était récent, plus il serait sensible aux effets du soufre du carburant.



Axe des y : Changement de pourcentage des émissions
Axe des x : soufre (en ppm)

Figure 1. Changement du pourcentage d'HT par rapport au carburant de référence (20 ppm) selon la teneur en soufre (Source : [A.1])



Axe des y : Changement de pourcentage des émissions

Axe des x : soufre (en ppm)

Figure 2. Changement du pourcentage de NO_x par rapport au carburant de référence (20 ppm) selon la teneur en soufre

(Source : [A.1])

Dans l'étude [A.1], il est mentionné que si les émissions de composés organiques volatils (COV) étaient réduites en diminuant la teneur en soufre du carburant, les substances toxiques telles que le 1,3 butadiène et le formaldéhyde, qu'on estime généralement en tant que fraction des émissions de COV, seraient réduites également. Dans l'étude [A.6], les analyses des émissions relatives aux substances toxiques sur les modèles de véhicules récents incluses dans l'étude ont indiqué, avec un degré de certitude de 90 %, une diminution importante des émissions de formaldéhyde, soit 16,5 %, lorsque la teneur en soufre du carburant était réduite et passait de 32 ppm à 6 ppm. Aucune différence importante n'a été relevée à un degré de certitude de 90 % pour les autres substances toxiques pour lesquelles des analyses des émissions ont été effectuées (1,3-butadiène, acétaldéhyde, benzène, éthylbenzène, n-hexane, styrène, toluène, m-/p-xylène, o-xylène). Les études évaluées ci-dessus pour les véhicules ayant des moteurs conventionnels à allumage commandé par rapport aux effets du soufre du carburant découlant du passage d'un carburant à faible teneur en soufre à un carburant sans soufre indiquent les constatations suivantes :

Sensibilité : La majorité des études évaluées ci-dessus appuie généralement la conclusion selon laquelle les émissions d'HC et de NO_x augmentaient avec l'augmentation de la teneur en soufre du carburant. On a rapporté que la sensibilité des émissions de CO aux effets du soufre du carburant était moins fréquente et que les résultats n'étaient pas concluants.

Vieillessement : Les résultats relatifs aux effets du soufre du carburant sur le vieillissement ne constituaient pas un point de mire des études évaluées ci-dessus.

Réversibilité : Les résultats relatifs aux effets du soufre du carburant sur la réversibilité ne constituaient pas un point de mire des études évaluées ci-dessus.

Technologie : Ces études n'ont mentionné aucun effet sur le fonctionnement du véhicule découlant de l'utilisation d'un carburant à faible teneur en soufre par rapport à un carburant sans soufre, bien qu'on pense que l'empoisonnement au soufre du convertisseur catalytique à trois voies soit le mécanisme par lequel la teneur en soufre du carburant influe sur les émissions.

Convertisseur catalytique à trois voies, carburant à faible teneur en soufre (HC, CO, NO_x)

De nombreuses études ont été effectuées et publiées concernant les effets du soufre du carburant découlant d'un passage à carburant à faible teneur en soufre dans les années 1990. Ci-dessous, les études évaluées se limitent aux publications depuis la fin des années 1990 avec l'analyse des véhicules homologués par la norme californienne des véhicules peu polluants (VPP) ou la norme EURO IV, qui répondent aux normes d'émission pour les modèles de véhicules récents et sont généralement considérés comme représentatifs du parc actuel de véhicules légers à essence.

La SAE a publié en 1997 une étude commandée par le CRC [A.22] concernant six véhicules de l'année de modèle 1997 homologués par les normes des VPP; ces véhicules ont fait l'objet d'essais en matière de teneur en soufre du carburant, qui allait de 30 à 630 ppm. Avec un degré de certitude de 95 %, on a relevé des réductions statistiquement significatives des émissions de NO_x, d'HCNM et de CO entre la teneur en soufre de 30 ppm et de 630 ppm dans le carburant à la fois pour les catalyseurs à faible millage et ceux à millage élevé. Les réactions au soufre du carburant étaient linéaires pour le catalyseur à faible millage, tandis que le catalyseur à millage élevé a montré une réaction non linéaire et les effets les plus importants sur les émissions se produisaient à des concentrations de soufre inférieures. La figure 3 montre la réaction des NO_x au soufre du carburant.

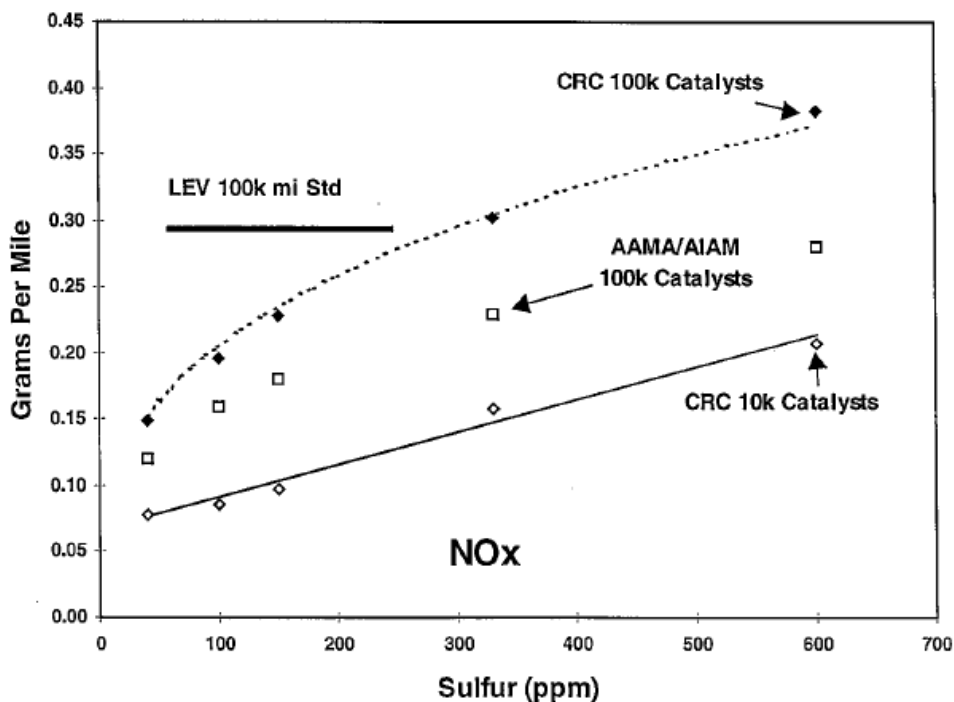


Figure 3. Réaction des émissions de NO_x en fonction du soufre dans le carburant pour les véhicules conformes aux normes californiennes des VPP

(Source : [A.22])

En 2008, la SAE a publié un document qui évaluait les répercussions de la teneur en soufre du carburant sur les émissions des moteurs de la norme EURO IV [A.4]. La teneur en soufre n'avait aucun effet sur le rendement de conversion des HT, du CO ou des NO_x du catalyseur non utilisé pour le moteur testé (EURO IV) parmi la gamme de teneurs en soufre évaluées dans les carburants. Pour les teneurs en soufre du carburant incluses dans cet essai (50 ppm et 150 ppm), on a associé la teneur plus élevée en soufre du carburant à des températures d'allumage plus élevées et à des rendements de conversion inférieurs après le vieillissement du catalyseur. Il est noté que ces résultats proviennent d'essais au banc réalisés sur des moteurs qui sont généralement utilisés pour déterminer des tendances relatives aux émissions, qui sont ensuite confirmées par des essais de véhicules en usage. Dans cette étude, on n'a pas eu recours à des essais de véhicules en usage pour confirmer les effets du soufre du carburant.

En 1999, la SAE a publié une étude [A.19] concernant les essais de huit véhicules de l'année de modèle 1997 ou 1998 avec des teneurs en soufre du carburant de 40 ppm et de 540 ppm. Les HC, le CO et les NO_x montraient généralement des émissions plus élevées avec la teneur en soufre la plus élevée, mais leur sensibilité différait d'après le véhicule. Il a été noté également que les effets sur les émissions découlant du carburant à forte teneur en soufre étaient réversibles en utilisant du carburant à faible teneur en soufre, bien que dans la plupart des cas, des conditions de fonctionnement plus agressives identiques à celles du cycle US06 soient nécessaires pour produire un retour à des émissions relativement inférieures. Le vieillissement des catalyseurs équivalent à 100 000 milles de conduite sur route provoquait des

émissions plus élevées pour le carburant à faible et forte teneur en soufre et une plus grande augmentation des émissions de CO et de NO_x pour le carburant à plus forte teneur en soufre.

Une autre étude publiée par la SAE en 1999 [A.21] évaluait les répercussions de la teneur en soufre du carburant sur les émissions de gaz d'échappement ainsi que la réversibilité des effets du soufre du carburant des véhicules conformes aux normes californiennes des VPP. On a évalué les carburants ayant une teneur en soufre de 30 ppm et de 630 ppm. On a observé des réductions importantes des émissions d'HCNM, de NO_x et de CO pour le fonctionnement avec une faible teneur en soufre du carburant.

Lyons *et al.* [A.23] ont réalisé une analyse documentaire pertinente aux effets du soufre de l'essence sur les émissions, en se concentrant sur les véhicules conformes aux normes californiennes des VPP, et ils ont soulevé les remarques suivantes :

Lorsque les véhicules du Niveau 0, du Niveau 1, les VPPT ou les VPP utilisent de l'essence à plus forte teneur en soufre, les émissions de l'ensemble des polluants réglementés (COV, CO, NO_x, MP et SO_x) augmentent.

La performance des sondes d'oxygène peut se dégrader avec un carburant à forte teneur en soufre.

Le fonctionnement des systèmes de diagnostics intégrés (OBD II) peut être altéré, mais ceux-ci continuent à fonctionner pour les véhicules utilisant de l'essence à forte teneur en soufre.

Les répercussions du soufre varient d'après le véhicule, la formation du catalyseur, l'emplacement du catalyseur, le contrôle des émissions et la conception du système OBD II, le calibrage du véhicule et la teneur en soufre de l'essence.

Pour les véhicules antérieurs aux VPP, les effets de l'utilisation de carburant à forte teneur en soufre sont entièrement réversibles en raison du fonctionnement à un rapport riche air/carburant, à des températures élevées, pendant une période suffisante.

Cependant, pour les VPP, les effets de l'utilisation d'un carburant à forte teneur en soufre ne sont peut-être pas entièrement réversibles.

Les études évaluées ci-dessus pour les véhicules ayant des moteurs conventionnels à allumage commandé par rapport aux effets du soufre du carburant découlant du passage à un carburant à faible teneur en soufre indiquent les constatations suivantes :

Sensibilité : Toutes les études montrent des diminutions importantes des émissions pour l'utilisation de carburant à faible teneur en soufre par rapport à un carburant à plus forte teneur en soufre.

Vieillesse : Des études montrent qu'une plus forte teneur en soufre dans le carburant peut provoquer des émissions plus élevées avec l'accumulation de millage par rapport à une teneur en soufre inférieure.

Réversibilité : Il semble que les effets du soufre du carburant soient entièrement réversibles, bien qu'il soit possible que certains véhicules requièrent des conditions de conduite extrêmes pour obtenir une réversibilité totale.

Technologie : Ces études n'ont mentionné aucun effet sur le fonctionnement du véhicule découlant de l'utilisation d'un carburant à faible teneur en soufre par rapport à un carburant à plus forte teneur en soufre, bien qu'on pense que l'empoisonnement au soufre du convertisseur catalytique à trois voies soit le mécanisme par lequel la teneur en soufre du carburant influe sur les émissions.

Convertisseur catalytique à trois voies (MP, SO_x)

La sensibilité des émissions de particules à la teneur en soufre du carburant a fait l'objet d'une étude publiée par la SAE en 2004 [A.7]. L'étude comprenait des essais sur six véhicules homologués par la norme EURO III, un véhicule homologué par la norme EURO I et un véhicule très peu polluant (VTPP). Les résultats ont indiqué que les émissions de particules issues de véhicules ayant des moteurs conventionnels à allumage commandé montraient une réaction faible au soufre du carburant.

La sensibilité des émissions de particules à la teneur en soufre du carburant a fait l'objet d'une étude publiée par la SAE en 2003 [A.11]. On a évalué l'influence de la teneur en soufre du carburant sur les émissions de particules des gaz d'échappement provenant d'un véhicule à injection multipoint (IMP) homologué par la norme EURO III muni d'un convertisseur catalytique à trois voies. On a inclus à cette étude des carburants ayant une teneur en soufre inférieure à 10 ppm et de 175 ppm. Les résultats des mesures n'ont pas permis aux auteurs de tirer des conclusions fiables, même si on a mesuré un nombre de particules beaucoup plus élevé pour certaines configurations du carburant à plus forte teneur en soufre. Ce dénombrement plus élevé de particules au cours de l'utilisation d'un carburant à plus forte teneur en soufre était dû à la contribution de matière non solide, dont il s'est avéré qu'une fraction importante était constituée de sulfates.

Pour les SO_x, les données numériques sont rares, mais selon l'idée voulant que la majorité du soufre dans le carburant se transforme en SO_x au cours de la combustion, il est raisonnable de déduire qu'une réduction de la teneur en soufre du carburant produirait également une réduction des émissions de SO_x.

Moteurs à injection directe et à allumage commandé à charge stratifiée (HC, CO, NO_x)

En 2004, la Society of Automotive Engineers (SAE) a publié une étude qui décrivait la méthodologie et les résultats d'un programme d'essai exécuté sur des véhicules munis de moteurs conventionnels à allumage commandé et des véhicules munis de moteurs à charge stratifiée [A.8]. Deux véhicules équipés de moteurs à injection directe et à allumage commandé à charge stratifiée ont fait l'objet d'une étude : 1) un véhicule homologué par la norme EURO III muni d'un convertisseur catalytique à trois voies (TWC) et d'un piège à NO_x; 2) un véhicule homologué par la norme EURO IV muni d'un convertisseur catalytique à trois voies (TWC) et d'un piège à NO_x. On a évalué des carburants ayant une teneur en soufre de 4 ppm, 9 ppm, 49 ppm et 148 ppm. Les résultats ont indiqué que les émissions étaient faibles par rapport aux normes d'émission parmi toutes les teneurs en soufre évaluées dans les carburants. Les émissions d'HC et de NO_x n'ont montré aucune sensibilité statistiquement significative à l'égard de la teneur en soufre du carburant, quel que soit le véhicule. Les émissions de CO ont montré des augmentations des émissions statistiquement significatives liées à l'augmentation de la teneur en soufre du carburant pour les deux véhicules.

En 2003, la Society of Automotive Engineers (SAE) a publié une étude [A.10] à propos de la sensibilité à la teneur en soufre du carburant des véhicules équipés de moteur à injection directe et à allumage commandé à charge stratifiée. Trois véhicules prototypes expérimentaux équipés de moteurs à charge stratifiée et de catalyseurs de réduction des NO_x ont été soumis à des essais dans le cadre de cette étude. Chaque véhicule a été conçu pour satisfaire à un sixième (1/6) de la réglementation japonaise de 1978. On a évalué les carburants ayant une teneur en soufre de 2 ppm, 22 ppm et 86 ppm. Avant l'accumulation de millage, les effets du

soufre du carburant sur les émissions d'HC, de CO et de NO_x se sont avérés minimes et les émissions d'HC, de CO, et de NO_x atteignaient la cible d'un sixième de la limite de la réglementation japonaise de 1978 pour les trois véhicules. Il convient de noter qu'il s'agit d'un moteur expérimental et qu'on ne peut donc pas facilement établir une comparaison directe entre les cibles d'émissions de ce moteur expérimental et une norme d'émission des véhicules existante et précise. Après une accumulation de millage de 30 000 km, les trois véhicules n'atteignaient pas la cible de NO_x pour les opérations à chaud, soit 86 ppm, et la cible relative aux NO_x a été atteinte pour seulement un des trois véhicules à savoir 2 ppm et 22 ppm. Le tableau 2 montre que la sensibilité du soufre du carburant après une accumulation de millage variait en fonction du véhicule pour les cycles d'essai des opérations à chaud et à froid.

Tableau 2. Influences du soufre du carburant après une accumulation de millage
(Source : [A.10])*

Cycle de conduite		10/15 (opération à chaud)			11 (opération à froid)		
		de 86 à 22	de 86 à 2	de 22 à 2	de 86 à 22	de 86 à 2	de 22 à 2
CO	Véhicule d'essai A (IMP)	→	→	→	→	→	→
	Véhicule d'essai B (IDAC)	→	→	→	→	↓	→
	Véhicule d'essai C (IDAC)	→	→	→	↓	↓	→
	Véhicule d'essai D (IDAC)	↓	↓	↓	↓	↓	↓
HT	Véhicule d'essai A (IMP)	↓	↓	→	→	→	→
	Véhicule d'essai B (IDAC)	↓	↓	→	→	↓	↓
	Véhicule d'essai C (IDAC)	↓	→	→	↓	↓	→
	Véhicule d'essai D (IDAC)	↓	↓	→	→	→	→
NO _x	Véhicule d'essai A (IMP)	→	→	→	↓	↓	→
	Véhicule d'essai B (IDAC)	→	↓	↓	→	↓	↓
	Véhicule d'essai C (IDAC)	↓	↓	→	↓	↓	→

	Véhicule d'essai D (IDAC)	→	↓	↓	↓	↓	↓
		↓ : Diminution			→ : Aucun changement		
		Degré de certitude de 95 %					
* Remarque : Le mode 10/15 est le cycle de conduite japonais 10/15 (opération à chaud) et le mode 11 est le cycle de conduite japonais 11 (opération à froid).							

En 2003, la Society of Automotive Engineers (SAE) a publié une étude sur les effets du soufre du carburant sur les véhicules équipés de moteurs à injection directe et à allumage commandé à charge stratifiée [A.12]. Quatre véhicules ont subi des essais dans le cadre de cette étude : 1) un véhicule de l'année de modèle 2000 muni d'un catalyseur monobloc à trois voies et d'un catalyseur sous le plancher à faible production de NO_x; 2) un véhicule de l'année de modèle 2000 à injection dans la lumière d'admission, équipé d'un catalyseur monobloc à trois voies et d'un catalyseur sous le plancher à faible production de NO_x; 3) un véhicule de l'année de modèle 2001 muni d'un catalyseur monobloc à trois voies et d'un catalyseur sous le plancher à trois voies et à faible production de NO_x; et 4) un véhicule de référence (plus ancien) muni d'un catalyseur monobloc à trois voies et d'un catalyseur sous le plancher à faible production de NO_x. Bien qu'aucune analyse statistique des émissions n'ait été présentée par rapport à la teneur en soufre du carburant, les auteurs ont noté les remarques suivantes en ce qui concernait la longévité dans le cadre de l'accumulation de millage : les émissions de NO_x ont augmenté sous l'effet de l'accumulation de millage en fonction de la teneur en soufre du carburant, bien que les trois véhicules plus récents aient montré des augmentations plus modérées avec une plus forte teneur en soufre du carburant; les émissions d'HT n'ont montré aucune augmentation avec l'accumulation de millage, et en ce qui concernait le CO, le véhicule plus ancien a montré des augmentations des émissions en fonction de la teneur en soufre du carburant, tandis que les véhicules plus récents n'ont montré aucune dépendance. En ce qui concerne la sensibilité des émissions à la teneur en soufre du carburant, les auteurs ont mentionné ce qui suit : les émissions de NO_x ont augmenté avec l'augmentation de la teneur en soufre du carburant pour le véhicule plus ancien, ce qui n'était pas le cas pour les véhicules plus récents; les émissions d'HT ont augmenté légèrement avec les diminutions de la teneur en soufre du carburant; et les émissions de CO ont augmenté avec la teneur en soufre du carburant du véhicule plus ancien, mais elles n'ont révélé aucune tendance claire pour les véhicules plus récents.

En 2000, la Society of Automotive Engineers (SAE) a publié une étude [A.15] sur les essais réalisés sur deux véhicules équipés de moteurs à injection directe et à allumage commandé à charge stratifiée. Les deux véhicules provenaient du marché japonais et leurs années de modèles étaient 1997 et 1998. La teneur en soufre du carburant variait entre 8 ppm et 500 ppm. Les résultats indiquaient une diminution de l'efficacité du catalyseur de réduction du stockage de NO_x sous l'effet de l'accumulation de millage pour les carburants ayant une teneur en soufre supérieure par rapport à ceux ayant une teneur en soufre inférieure.

En 2000, l'Association of European Automobile Manufacturers a publié une révision des données internes sur les véhicules ayant été recueillies par des fabricants automobiles et qui avaient trait aux effets du soufre du carburant sur les émissions [A.18], en mettant l'accent sur les données pertinentes à la technologie avancée du contrôle des émissions. Les résultats liés

aux véhicules équipés de moteurs à injection directe et à allumage commandé à charge stratifiée indiquaient qu'à une teneur en soufre inférieure du carburant (jusqu'à 8 ppm), les rendements de conversion du NO_x demeuraient plus élevés pendant de longues périodes de fonctionnement, diminuant ainsi la fréquence des cycles de désulfuration, lesquels consomment du carburant.

En 1999, la Society of Automotive Engineers (SAE) a publié une étude [A.20] qui évaluait les répercussions de la qualité du carburant sur les émissions de gaz d'échappement d'un véhicule homologué par la norme EURO II équipé d'un moteur à essence à injection directe et à charge stratifiée. On a évalué les carburants ayant une teneur en soufre de 32 ppm et de 138 ppm. Pour l'ensemble des polluants pris en considération (HT, NO_x, CO, CO₂ et MP), on n'a observé aucune différence d'émission statistiquement significative entre les carburants à faible teneur en soufre et ceux à forte teneur en soufre avec un degré de confiance de 90 %.

Les résultats des études présentées ci-dessus pour les véhicules disposant de moteurs à injection directe et à allumage commandé à charge stratifiée ne permettent pas de tirer de conclusions sur les effets du soufre du carburant en matière de sensibilité des émissions, de vieillissement du catalyseur et de réversibilité. En dehors de l'empoisonnement du catalyseur, on n'a relevé aucun effet technologique.

Moteurs à injection directe et à allumage commandé à charge stratifiée (MP, SO_x)

La sensibilité des émissions de particules à la teneur en soufre du carburant a fait l'objet d'une évaluation publiée par la SAE en 2004 [A.7]. L'étude comprenait des essais sur trois véhicules homologués par la norme EURO III équipés de convertisseurs catalytiques à trois voies et de catalyseurs de réduction du stockage de NO_x. Les résultats indiquaient que les véhicules ayant des moteurs à injection directe et à allumage commandé à charge stratifiée ne montraient aucun effet uniforme relativement au soufre dans le carburant.

À l'instar des moteurs conventionnels à allumage commandé, pour les SO_x, les données numériques sont rares, mais selon l'idée voulant que la majorité du soufre du carburant se transforme en SO_x au cours de la combustion, il est raisonnable de déduire qu'une réduction de la teneur en soufre du carburant produirait également une réduction des émissions de SO_x.

3.1.4 Résumé des effets du soufre

Généralités :

La documentation montre qu'il existe un lien indirect entre le soufre du carburant et les émissions d'HT, de CO et de NO_x en fonction de la défaillance du catalyseur. Il existe un lien direct entre le soufre du carburant et les émissions de MP et de SO_x d'après l'effet direct de la teneur en soufre du carburant sur les émissions de SO₂ et de sulfate.

Le soufre du carburant a des répercussions sur les émissions des moteurs des véhicules en entravant le fonctionnement du catalyseur, ce qui augmente les émissions d'échappement d'HT, de CO et de NO_x. La mesure dans laquelle les émissions des véhicules sont touchées dépend de la teneur en soufre du carburant, du type de moteur, de la configuration du catalyseur, ainsi que des processus de combustion du moteur. Le fonctionnement du catalyseur dépend de la température de fonctionnement; dès lors, le cycle de conduite utilisé dans une étude donnée aura une incidence sur les résultats de l'étude. Par conséquent, il est difficile de comparer les résultats d'une étude selon les

cycles de conduite. Une comparaison des tendances internes établies dans chaque étude est nécessaire pour tirer des conclusions relatives aux effets du soufre du carburant.

De plus, certaines études réalisées sur des moteurs conventionnels disposant de la technologie TWC (convertisseur catalytique à trois voies) indiquent que les émissions d'HC, de CO et de NO_x augmentent avec le vieillissement du catalyseur lors de l'utilisation de carburant à plus forte teneur en soufre.

Des études des moteurs conventionnels disposant de la technologie TWC indiquent également que la réversibilité partielle ou totale est possible, bien que les véhicules plus récents requièrent possiblement des conditions de conduite extrêmes pour obtenir une réversibilité totale.

La documentation analysée n'indique aucun lien direct entre le soufre du carburant et les émissions toxiques, à l'exception de diminutions importantes des émissions de formaldéhyde pour un carburant ayant une teneur en soufre de 6 ppm par rapport à un carburant ayant une teneur en soufre de 32 ppm. Toutefois, les conclusions relatives aux effets du soufre du carburant sur les émissions toxiques ne reposent que sur une seule étude [A.6] qui a déterminé la réaction des émissions toxiques au soufre du carburant pour des modèles de véhicules récents conformes aux exigences rigoureuses des normes d'émission.

Faible teneur en soufre → sans soufre

Moteurs conventionnels : Il existe un lien indirect entre la teneur en soufre du carburant et les émissions d'HT, de CO et de NO_x d'après le risque de défaillance du catalyseur par empoisonnement au soufre. Des études clés des véhicules ayant des moteurs conventionnels à allumage commandé montrent généralement les avantages pour les émissions au cours de l'utilisation d'un carburant sans soufre par rapport à un carburant à faible teneur en soufre (de 30 à 50 ppm de soufre par rapport à moins de 10 ppm de soufre) pour les HT, le CO et les NO_x. Une étude récente [A.1] a montré que pour les modèles récents du parc de véhicules actuel, avec des moteurs conventionnels homologués par les normes du Niveau 2, les réductions des pourcentages d'émissions dues à l'utilisation d'un carburant ayant une teneur en soufre de 6 ppm par rapport à un carburant ayant une teneur en soufre de 32 ppm étaient de 11, 32, 17 et 33 pour les HT, le CH₄, le CO et les NO_x, respectivement.

Moteurs à charge stratifiée : Il existe un lien indirect entre la teneur en soufre du carburant et les émissions d'HT, de CO et de NO_x d'après le risque de défaillance du catalyseur par empoisonnement au soufre. Cependant, les études portant sur les véhicules équipés de moteurs à injection directe et à allumage commandé à charge stratifiée n'ont pas montré que ces véhicules se comportent différemment des véhicules ayant des moteurs conventionnels à allumage commandé avec de l'essence sans soufre. Certaines études n'indiquent aucune exigence pour le carburant sans soufre [A.12, A.8], tandis que d'autres indiquent des avantages potentiels pour l'utilisation de carburant sans soufre [A.10].

MP et SO_x : Seules deux études ([A.7] et [A.11]) pertinentes aux effets du carburant sur les émissions de MP ont été évaluées; toutes deux contenaient les résultats des essais réalisés sur des moteurs conventionnels, mais seule une d'elles [A.7] contenait les résultats des essais réalisés sur des moteurs à charge stratifiée. Pour les moteurs conventionnels, les études évaluées ne contenaient pas suffisamment de

renseignements pour établir un lien entre les émissions massiques de matières particulaires et la teneur en soufre du carburant, même si une étude [A.11] a fait état d'une réduction importante du nombre de particules lors de l'utilisation de carburant ayant une teneur en soufre inférieure à 10 ppm par rapport à une teneur en soufre de 175 ppm. Pour les moteurs à charge stratifiée, l'étude évaluée ne contenait pas suffisamment de renseignements pour établir un lien entre les émissions massiques de matières particulaires et la teneur en soufre du carburant. Pour les SO_x, les données numériques sont rares en ce qui concerne les moteurs conventionnels et à charge stratifiée, mais selon l'idée voulant que la majorité du soufre du carburant se transforme en SO_x au cours de la combustion, il est raisonnable de déduire qu'une réduction de la teneur en soufre du carburant produirait également une réduction des émissions de SO_x.

Interactions avec la technologie automobile

Les effets technologiques se limitent aux systèmes de contrôle des émissions (catalyseurs), avec peu de données pour indiquer les effets significatifs pour les systèmes et composants autres que le catalyseur. Comme décrit ci-dessus, le mécanisme principal par lequel le soufre de l'essence a un impact sur la technologie automobile est la diminution de l'efficacité du convertisseur catalytique à trois voies pour les moteurs traditionnels à allumage commandé, ainsi que par la diminution de l'efficacité des catalyseurs à charge stratifiée plus récents pour les moteurs à injection directe, bien qu'il existe des preuves contradictoires quant au fait de savoir si les concentrations de soufre dans le carburant ont une plus grande incidence sur les catalyseurs à charge stratifiée que sur les convertisseurs catalytiques à trois voies conventionnels. Les détails de cet effet sur les émissions sont décrits dans les sections précédentes.

3.1.5 Lacunes dans les connaissances

Dans la documentation existante, il n'y a pas suffisamment de renseignements pour comprendre si oui ou non des véhicules équipés de moteur à charge stratifiée requièrent un carburant sans soufre pour satisfaire aux normes d'émission rigoureuses. En outre, on ne dispose pas de suffisamment de renseignements pour comprendre la mesure dans laquelle la réversibilité est possible pour les véhicules répondant aux normes d'émission rigoureuses dans des conditions réelles de conduite sur route. Le tableau 3 résume les lacunes dans les connaissances liées au soufre dans le carburant.

Tableau 3. Lacunes dans les connaissances liées au soufre dans le carburant

Technologie	Domaine de connaissances		Y a-t-il une lacune?	Explication
Moteur conventionnel avec un convertisseur catalytique à trois voies	Effets du soufre du carburant (carburant à faible teneur en soufre à carburant sans soufre) sur les émissions suivantes :	HT, CO et NO _x	Non	Plusieurs études ([A.1], [A.5], [A.6], [A.9]) mentionnent une augmentation des émissions d'HT, de CO et de NO _x découlant de l'utilisation de carburant à faible teneur en soufre par rapport à du carburant sans soufre.
		MP et SO _x	Oui	Les études évaluées ([A.7] et [A.11]) ne contenaient pas suffisamment de renseignements pour établir un lien entre les émissions massiques de matières particulaires et la teneur en soufre du carburant. Pour les SO _x , les données numériques sont rares, mais selon l'idée voulant que la majorité du soufre du carburant se transforme en SO _x au cours de la combustion, il est raisonnable de déduire qu'une réduction de la teneur en soufre du carburant produirait également une réduction des émissions de SO _x .
		Substances toxiques	Oui	La documentation actuelle n'est pas concluante en ce qui concerne les effets du soufre du carburant sur les émissions toxiques. Une étude [A.6] n'a indiqué aucune augmentation significative des émissions toxiques (à l'exception du formaldéhyde) avec une plus forte teneur en soufre pour les véhicules récents homologués du Niveau 2. Une étude [A.1] mentionne la possibilité d'émissions toxiques plus élevées avec une teneur en soufre plus élevée dans le carburant en raison d'augmentations des COV découlant de l'altération de l'efficacité du catalyseur.
	Réversibilité		Oui	Les études [A.5], [A.19] et [A.23] ont défini la possibilité de réversibilité totale. Toutefois, les études n'ont pas déterminé si ladite réversibilité est possible dans des conditions réelles de conduite sur route.
Moteurs à injection directe et à allumage commandé à charge	Effets du soufre du carburant (carburant à faible teneur en	HT, CO et NO _x	Oui	La documentation actuelle n'est pas concluante en ce qui concerne les effets du soufre du carburant sur ces moteurs. Certaines études n'indiquent aucune exigence pour le carburant sans soufre ([A.12] et [A.8]), tandis que d'autres indiquent des avantages potentiels pour l'utilisation de carburant sans soufre [A.10].

Technologie	Domaine de connaissances		Y a-t-il une lacune?	Explication
stratifiée	soufre à carburant sans soufre) sur les émissions suivantes :	MP et SO _x	Oui	L'étude évaluée ([A.7] ne contenait pas suffisamment de renseignements pour établir un lien entre les émissions massiques de matières particulaires et la teneur en soufre du carburant. Pour les SO _x , les données numériques sont rares, mais selon l'idée voulant que la majorité du soufre du carburant se transforme en SO _x au cours de la combustion, il est raisonnable de déduire qu'une réduction de la teneur en soufre du carburant produirait également une réduction des émissions de SO _x .
		Substances toxiques	Oui	À ce jour, on n'a relevé aucune étude qui établit les effets du soufre du carburant sur les émissions toxiques découlant de ces moteurs.
	Réversibilité		Oui	Les études ne définissent pas dans quelle mesure la réversibilité est possible pour ces moteurs.

3.2 Anticalaminants dans l'essence

3.2.1 Renseignements généraux

Lorsque les véhicules sur route vieillissent et accumulent du millage, des dépôts ont tendance à se former dans le système d'alimentation en carburant des moteurs. On sait que ces dépôts entravent la performance du moteur et augmentent les émissions de gaz d'échappement. Les anticalaminants sont des détergents qui sont incorporés dans un carburant de base par les raffineurs, les distributeurs qui ne sont pas des raffineurs ou d'autres détaillants indépendants. L'essence traitée avec des anticalaminants est destinée soit à ralentir la formation de dépôt pour avoir un moteur propre, soit à être utilisée comme nettoyant des systèmes d'alimentation en carburant qui contiennent déjà des dépôts. Au Canada, les spécifications de l'ONGC préconisent l'ajout volontaire d'anticalaminants à l'essence.

Lorsque des dépôts s'accumulent dans les injecteurs de carburant, ils réduisent le volume des orifices et des buses, et donc le débit de l'essence qui devait se mélanger à l'air. Par conséquent, les systèmes de contrôle électroniques sont moins à même d'atteindre l'équilibre stœchiométrique entre le carburant et l'air qui est nécessaire pour la combustion complète de l'hydrogène et du carbone dans le carburant, ce qui entraîne une inefficacité du moteur et l'échappement de sous-produits résultant d'une combustion incomplète. La formation de dépôts sur les soupapes d'admission (DSA) entrave la performance du moteur et on sait également qu'elle augmente les émissions de gaz d'échappement [B.9, B.28, B.29]. Les recherches sur les dépôts du moteur au début des années 1990 étaient axées principalement sur la minimisation de la perte de débit et sur les émissions de gaz d'échappement découlant de l'élimination des dépôts dans les injecteurs de carburant et sur les soupapes d'admission. Le traitement aux

anticalaminants pour garder propres les injecteurs et les admissions a également fait l'objet d'études.

En 1995, l'EPA des États-Unis a promulgué un règlement provisoire selon lequel toutes les essences doivent contenir des anticalaminants pour limiter les dépôts dans les injecteurs de carburant et sur les soupapes d'admission. Dans son règlement final en 1996, l'EPA a reconnu que le contrôle de ces dépôts peut contribuer à la formation de dépôts dans la chambre de combustion (DCC), mais que les données existantes étaient insuffisantes pour soutenir le règlement visant à limiter les DCC. On sait que la formation de ces derniers augmente les émissions de NO_x essentiellement par un effet d'isolation thermique. Lorsque la chambre de combustion est suffisamment couverte de dépôts de carburant, le transfert de chaleur à l'extérieur de la chambre de combustion est entravé, ce qui entraîne à son tour une plus grande transformation de N₂ dans l'air en NO_x.

3.2.2 Règlement aux États-Unis

La réglementation fédérale et la réglementation propre à la Californie aux États-Unis en matière d'anticalaminants dans l'essence constituent le moteur de bon nombre de documents et d'études qui ont été menées dans ce domaine aux États-Unis. Le règlement fédéral final relatif aux anticalaminants en 1996 demandait que les fabricants d'anticalaminants enregistrent leur additif à la plus faible concentration d'additif requise pour répondre aux normes de rendement relatives aux dépôts dans les injecteurs de carburant et sur les soupapes d'admission, à l'aide de procédures d'essai précisées par l'American Society for Testing and Materials (ASTM).

La norme de rendement liée aux dépôts de l'injection dans la lumière d'admission se traduit par une perte de débit inférieure à 5 % au cours d'un essai sur 10 000 milles, en vertu de la norme ASTM D5598-94.

La norme de rendement liée aux dépôts sur les soupapes d'admission se traduit par une valeur inférieure à une moyenne de 100 mg dans l'ensemble des soupapes d'admission au cours d'un essai sur 10 000 milles, en vertu de la norme ASTM D5500-94.

L'EPA a déclaré dans son règlement que la norme de rendement liée aux dépôts sur les soupapes d'admission est la plus rigoureuse des deux et qu'en général, le respect des exigences liées à ces dépôts comporte également des exigences de contrôle des dépôts de l'injection dans la lumière d'admission.

La Californie a promulgué ses exigences liées aux anticalaminants pour la première fois en 1992; celles-ci sont devenues le fondement du règlement provisoire de l'EPA en 1995. Depuis lors, la Californie a modifié deux fois sa réglementation relative aux anticalaminants (en 1996 et en 1999) pour réduire le poids moyen des dépôts sur les soupapes d'admission à une moyenne de 50 mg à l'aide de la norme ASTM D5500-98. La norme liée aux dépôts de l'injection dans la lumière d'admission demeure à une perte de débit maximale de 5 % à l'aide de la norme ASTM D5598-95a. La Californie a également une norme de rendement liée aux dépôts dans la chambre de combustion (DCC) pour les anticalaminants, selon laquelle les anticalaminants respectant la norme liée aux DSA ne peuvent pas entraîner des dépôts d'un poids total de plus de 1 300 mg dans la chambre de combustion, ou autrement, un poids total de plus de 140 % par rapport à la formulation d'essence qui ne contient aucun additif. Les DCC sont évalués d'après la méthode d'essai appelée *Stationary Source Division's Test Method for Evaluating Intake Valve and Combustion Chamber Deposits in Vehicle Engines* (méthode d'essai pour l'évaluation des dépôts sur les soupapes d'admission et dans la chambre de combustion des

moteurs automobiles de la Stationary Source Division) de 1999, qui constitue une modification d'une procédure de l'ASTM pour les DSA où des étapes ont été ajoutées pour prendre les mesures du poids total des DCC. La Californie est le seul État américain qui dispose d'une réglementation sur les anticalaminants englobant la formation de DCC.

Pour en savoir plus sur la réglementation fédérale des États-Unis relative aux anticalaminants, reportez-vous au règlement intitulé *Final Rule for the Certification Standards for Deposit Control Gasoline Additives* qui se trouve dans la section des documents sur l'environnement du site Web du Federal Register de l'EPA des États-Unis : <http://www.epa.gov/EPA-AIR/1996/July/Day-05/pr-23484.txt.html>.

3.2.3 Principales études

La relation entre les anticalaminants dans l'essence et les émissions comporte deux volets : 1) les répercussions des émissions causées par la présence de dépôts et 2) la capacité des anticalaminants dans l'essence à limiter ces dépôts. Dans la documentation, les deux phénomènes sont rarement examinés dans une seule étude. La majorité des programmes d'essai sont publiés dans les rapports techniques de la Society of Automotive Engineers (SAE) ou dans les publications du Coordinating Research Council (CRC). Les études varient selon l'ampleur de leurs essais : elles vont de l'essai d'un seul moteur prototype à celui d'un parc qui comporte plus de 20 véhicules en service.

La progression chronologique des recherches liées aux dépôts dans les moteurs a fait l'objet d'études précédentes qui étaient axées sur les dépôts de l'injection dans la lumière d'admission et sur les soupapes d'admission; ces études ont été suivies par la suite d'études axées sur les dépôts dans la chambre de combustion (DCC). Avec la mise au point de procédures d'essai largement acceptées pour les dépôts de l'injection dans la lumière d'admission et sur les soupapes d'admission et l'arrivée des problèmes liés aux DCC, le point de mire des recherches a alors été de comprendre les mécanismes des DCC, leur effet sur les émissions, ainsi que la possibilité d'en limiter la formation par l'utilisation d'anticalaminants. En 2002, une analyse documentaire [B.9] a été préparée pour la Direction générale du pétrole, du gaz et de l'énergie d'Environnement Canada; celle-ci résume les recherches actuelles sur les DCC jusqu'en 2001. Depuis lors, plusieurs rapports ont été publiés au sujet des études réalisées aux États-Unis, en Europe et en Asie.

Il convient de noter que notre analyse s'est appuyée sur ces études clés, mais qu'elle intégrait des connaissances, des données et des résultats issus de nombreuses autres études qui sont mentionnées en annexe. Les tendances et conclusions générales à l'égard des effets des paramètres du carburant sur les émissions ont été guidées par l'ensemble des études que nous avons prises en considération, notamment les études clés suivantes.

Martin D.P., et J.F. Unsworth. 2002. The M111 engine CCD and emissions test: Is it relevant to real-world vehicle data? *SAE Paper* 2002-01-1642 [B.10].

CRC. 2002. « Combustion Chamber Deposit Research Tool Development, Part 1, Vehicle Deposits and Emissions », CRC Report No. 630 [B.11].

CRC. 2005. « Combustion Chamber Deposit Research Tool Development, Part 2, Engine Dynamometer Testing », CRC Report No. 644 [B.12].

Balysky N.R., A.J. Lonardo, A.A. Millard et K. Brunner. 2001. Vektron® 6913 gasoline additive NO_x evaluation fleet test program. *SAE Paper* 2001-01-1997 [B.13].

CRC; CCD Emissions Group. 2000. « Effects of Combustion Chamber Deposits on Vehicle Emissions and Fuel Economy », CRC Project No. E-6 (avril) [B.15].

Aradi, A., W.J. Colucci, H.M. Scull Jr. et M.J. Openshaw. 2000. A study of fuel additives for direct injection gasoline (DIG) injector deposit control. *SAE Paper* 2000-01-2024 [B.16].

Houser, K.R., et T.A. Crosby. 1992. The impact of intake valve deposits on emissions. *SAE Paper* 922259 [B.28].

USEPA. 1995. Regulatory Impact Analysis for the final certification rule on DCA. Ébauche (14 août 1995) [B.29].

3.2.4 Effets des anticalaminants et des dépôts dans les injecteurs de carburant et sur les soupapes d'admission sur les émissions

Dans le cadre de l'étude d'impact de la réglementation pour le règlement provisoire et final de l'EPA des États-Unis portant sur les anticalaminants, l'EPA a évalué [B.29] plusieurs études ayant trait aux effets des dépôts dans les injecteurs de carburant et sur les soupapes d'admission sur les émissions. Ces études fournissent peu de détails techniques sur la technologie des véhicules ou la procédure expérimentale. Les principales sources de ces études plus anciennes sur les dépôts dans les injecteurs de carburant et sur les soupapes d'admission proviennent du document de soutien technique pour l'essence reformulée de la phase 1 du California Air Resources Board (CARB), d'une étude de 1992 de la SAE réalisée par Chevron [B.28], ainsi que d'une présentation du Texaco Research Center à l'intention du CARB.

Le document de soutien technique du CARB examinait quatre véhicules (deux de 1983, un de 1985 et un dont l'année de modèle n'a pas été précisée) et il concluait que les dépôts dans les injecteurs de carburant peuvent augmenter de façon significative les émissions d'HC et de CO, mais que l'effet des dépôts de l'injection dans la lumière d'admission sur les NO_x est variable. Les émissions d'HC causées par l'encrassement des injecteurs augmentaient de 28 à 228 %. Les émissions de CO augmentaient de 16 à 668 %. Les modifications des émissions de NO_x causées par l'obturation d'un injecteur passaient d'une diminution de 42 % à une augmentation de 169 %. Dans un groupe d'études distinct dans le document de soutien technique du CARB, il a été déclaré que les répercussions des DSA sur les émissions dépendent de la technologie automobile au moment de l'étude (véhicules de l'année de modèle 1995) par rapport aux véhicules d'une année de modèle de la fin des années 1970.

Le document de la SAE de 1992 cité dans l'étude d'impact de la réglementation portait sur un essai réalisé sur un parc de 20 véhicules de l'année de modèle 1990. On a découvert que les effets des DSA sur les émissions étaient une fonction linéaire du niveau de DSA. L'effet moyen des DSA sur les émissions du parc était une augmentation de 11 % des émissions de CO et une augmentation de 15 % des émissions de NO_x; les émissions d'HC au cours du cycle FTP ne se sont pas avérées statistiquement significatives.

La présentation de Texaco de 1990 pour le CARB a fait état des résultats issus d'essais réalisés sur deux parcs. Le premier essai portait sur un parc de douze véhicules et il examinait l'avantage de l'élimination mécanique des DSA sur les émissions. Ces avantages représentaient une réduction des émissions de 10,8 % pour les HC, 1,6 % pour le CO et 8,6 % pour le NO_x. Le deuxième essai portait sur un parc de 35 véhicules et une élimination mécanique des DSA. Dans la deuxième étude, l'élimination des DSA a provoqué une augmentation des émissions d'HC et de CO de l'ordre de 7 %, mais une réduction des émissions de NO_x de l'ordre de 7,6 %.

3.2.5 Effets des anticalaminants et des dépôts dans la chambre de combustion (DCC) sur les émissions

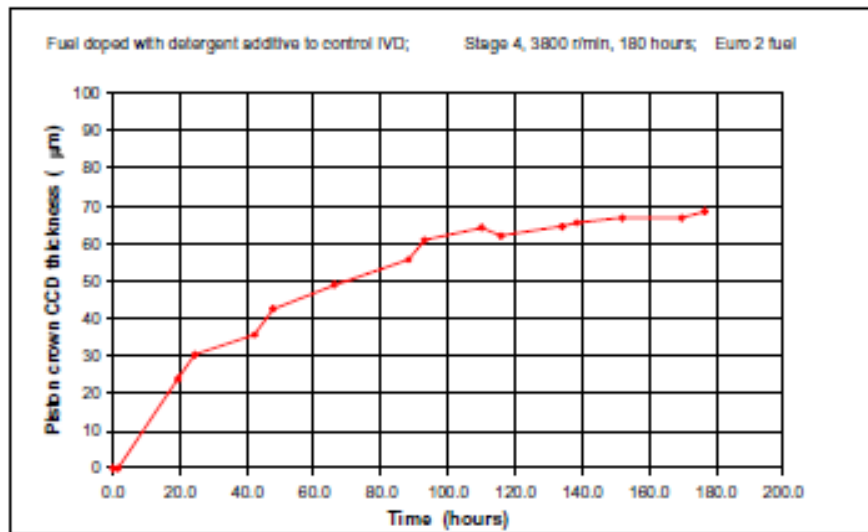
En réponse à une demande d'information de l'EPA au sujet des effets des DCC et des émissions, le CRC a exécuté un programme d'essai sur les DCC fondé sur des statistiques [B.15] qui visait à déterminer le rapport entre les DCC et les émissions des véhicules et à déterminer les paramètres qui sont importants pour un essai de contrôle des DCC potentiels. Sept véhicules dans quatre groupes de modèles de véhicules (28 au total) ont été soumis à des mesures d'émissions au début et à la fin d'une séquence d'accumulation de dépôts de 16 000 milles de conduite sur route. Les quatre groupes de modèles de véhicules étaient tous des véhicules de 1996 homologués par différentes normes d'émission californiennes et fédérales.

1. Dodge Neon, homologués par les normes californiennes relatives aux VPPT
2. Dodge Neon, homologués par les normes fédérales relatives aux camionnettes
3. Oldsmobile 88, homologués par les normes fédérales relatives aux véhicules légers
4. Crown Victoria, homologués par les normes relatives aux VPPT

Les DSA et les DCC ont été évalués de 1 à 10 d'après le système de notation du CRC au terme de l'accumulation de millage. Par la suite, les DCC ont été éliminés et pesés et les émissions du moteur sans DCC ont été mesurées une nouvelle fois. Toutes les émissions d'HC, de CO et de NO_x ont été mesurées, mais seules les émissions de NO_x ont révélé des différences statistiquement significatives en raison du carburant de base par rapport aux carburants avec additif.

La réaction parmi les sept groupes de véhicules différait de manière importante quant à la formation de DCC. Les véhicules Dodge Caravan présentaient un poids de DCC cinq fois supérieur à celui des véhicules qui avaient accumulé des milles avec un carburant « à forte capacité de formation de DCC » par rapport au carburant de base; pour les véhicules Oldsmobile 88, le facteur n'était que de 1,2. La forme de la courbe des émissions de DCC n'a pas pu être définie, car les deux carburants liés au potentiel de formation « moyenne de DCC » et « élevée de DCC » a entraîné des poids de DCC identiques.

Une étude britannique de 2002 publiée par la SAE [B.10] examinait la relation entre les dépôts dans la chambre de combustion (DCC) et les émissions provenant du moteur d'essai au banc M111 de Mercedes et de deux véhicules routiers utilisant des carburants de base et avec anticalaminants. Pour évaluer les dépôts sur les soupapes d'admission (DSA), on a utilisé une procédure d'essai européenne; celle-ci était en cours de perfectionnement en 2002 pour le contrôle des DCC. Le carburant de base était de l'essence homologuée par la norme EURO II et le carburant avec additif était le carburant de base dosé avec des anticalaminants pour limiter les DSA. Le moteur d'essai et les véhicules ont accumulé des dépôts sur un dynamomètre pendant 180 heures (ce qui équivalait à 11 200 km). On a mesuré périodiquement l'épaisseur des DCC sur la tête de piston et les émissions de NO_x à la sortie du moteur tout au long de la période d'accumulation des dépôts. Les figures 4 et 5 montrent la formation de DCC et la concentration de NO_x comme une fonction temporelle au cours de la période d'accumulation des dépôts.

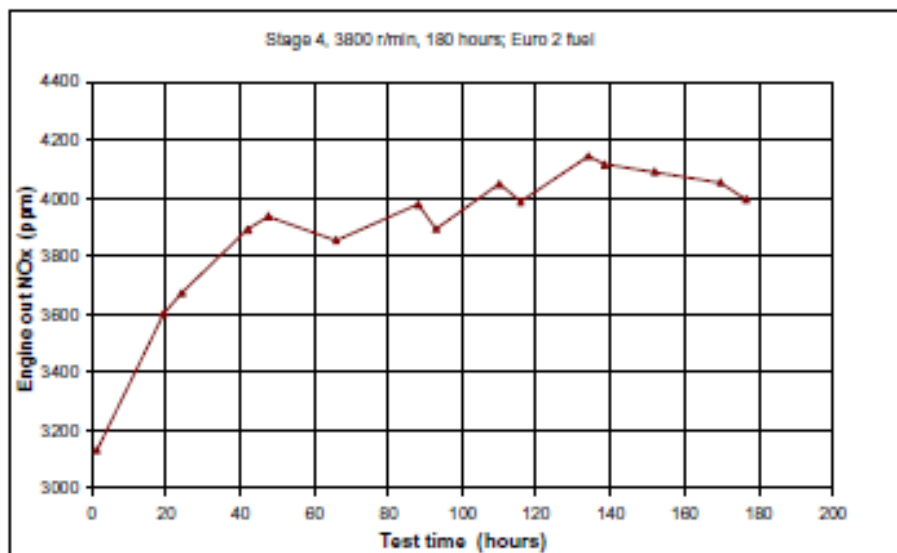


Axe des y : Épaisseur des DCC à la tête de piston (μm)

Axe des x : Temps (en heures)

Figure 4. Formation d'une épaisseur de DCC à la tête de piston avec le temps

(Source : [B.10])



Axe des y : Émissions de NO_x à la sortie du moteur (en ppm)

Axe des x : Durée de l'essai (en heures)

Figure 5. Augmentation des émissions de NO_x à la sortie du moteur avec le temps

(Source : [B.10])

Le fait que l'épaisseur des DCC et les émissions de NO_x se suivent de près tout au long du cycle d'essai semble indiquer que les deux paramètres sont liés, mais l'existence de cette relation ne peut pas être affirmée avec une certitude statistique, en raison de la quantité de données existantes. Les deux mesures se caractérisent par une augmentation initiale abrupte suivie d'une période de plateau.

En 2002, le CRC a produit un rapport sur le perfectionnement de l'outil de recherche sur les DCC [B.11]. L'étude a examiné les effets relatifs à la formation de DCC de cinq carburants : un carburant de base sans additif (Carburant E), un carburant « à forte capacité de formation de DCC » (Carburant D) utilisé lors d'une étude précédente sur les DCC [B.15], ainsi que trois additifs commerciaux (Carburants A, B et C). Les additifs commerciaux ne sont pas identifiés séparément, mais il y a parmi eux chacun des produits suivants : 1) une dose de qualité supérieure de polyétheramine (PEA); 2) une dose de qualité supérieure de polyisobutyl amine (PIBA); et 3) une concentration d'additifs minimale (CAM) avec 10 % de PIBA avec un porteur synthétique. Le CRC détermine qu'un taux de traitement des anticalaminants avec une CAM de plus de 10 % est une pratique courante. Les émissions d'échappement d'HC, de CO et de NO_x ont été mesurées sur huit véhicules au terme d'essais de 15 000 milles, mais on n'a relevé aucune différence statistiquement significative en raison des différences entre les additifs du carburant. Avec un degré de certitude de 95 %, on a découvert des différences significatives dans le poids des DCC, l'épaisseur des DCC et l'évaluation des DSA en raison des différents types de carburants; elles sont résumées ci-après.

Poids total des DCC

- Le poids le moins élevé des DCC correspondait au Carburant E (carburant de base).
- Le poids le plus élevé des DCC résultait de l'utilisation du Carburant D (carburant à forte capacité de formation de DCC).
 - Le Carburant D entraînait un poids des DCC significativement plus élevé que les carburants commerciaux B et C et que le Carburant E (carburant de base).
 - Le Carburant D engendrait des DCC plus élevés que le Carburant A.
 - La différence n'était pas statistiquement significative pour les Dodge Neon.
 - Le degré de certitude était de 95 % pour les véhicules GM Silverado.
- En comparant les trois détergents commerciaux au carburant de base (Carburant E), le poids total des DCC :
 - Véhicules Dodge Neon
 - a augmenté au minimum de 57 % (pour le Carburant E par rapport au Carburant B);
 - a augmenté au maximum de 82 % (pour le Carburant E par rapport au Carburant A).
 - Véhicules GM Silverado
 - a augmenté au minimum de 59 % (pour le Carburant E par rapport au Carburant B);

- a augmenté au maximum de 89 % (pour le Carburant E par rapport au Carburant A).

Épaisseur des DCC

- Par rapport aux carburants commerciaux A, B et C, le Carburant D a engendré des dépôts sur le fond de piston significativement plus élevés tandis que le Carburant E a engendré des dépôts significativement moins élevés.
- On a constaté pour les Carburants B et E une épaisseur de DCC sur la culasse significativement inférieure à celle observée avec les Carburants A et D (le Carburant C n'étant pas statistiquement différent des autres carburants).

Évaluation des dépôts sur les soupapes d'admission

- Le groupe des Carburants A, B et D a permis de conserver des soupapes d'admission très propres, significativement plus propres que le groupe des Carburants E et C, ces derniers entraînant une accumulation importante de dépôts sur les soupapes. Au sein de ces deux groupes, les différences dans l'évaluation des dépôts sur les soupapes d'admission ne se sont pas avérées statistiquement significatives.

Dans la deuxième partie de l'étude du CRC [B.12], on a choisi un cycle et un moteur d'essai qui étaient les plus à même de classer les additifs de la première étude dans le même ordre.

Un document de la SAE de 2001 [B.13] a fait le compte rendu d'un programme d'essai sur un parc de 28 véhicules afin d'évaluer les réductions de NO_x pouvant être obtenues au cours d'une accumulation de 16 000 milles en comparant un carburant de base à un carburant avec additif propriétaire à un taux de traitement environ deux fois supérieur à la CAM. Les émissions d'échappement d'HC, de CO et de NO_x ont été mesurées au terme des essais et les différences relevées dans les émissions en raison de l'utilisation d'un carburant de base ou avec additif étaient statistiquement importantes avec un degré de certitude de 90 % pour le NO_x. Lorsqu'on a utilisé l'additif propriétaire, les émissions de NO_x ont été réduites de 10 % en moyenne. Les mesures des dépôts ne faisaient pas partie de cette étude, donc on ne connaît pas les différences de DCC causées par l'utilisation d'additifs.

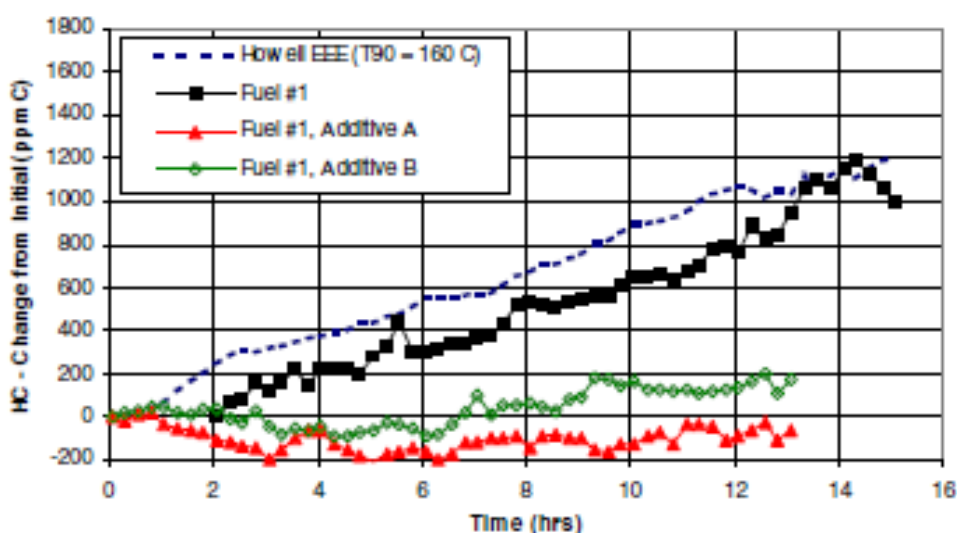
3.2.6 Effets des anticalaminants sur la technologie naissante : les moteurs à injection directe

Les moteurs à injection directe sont une technologie naissante pour les véhicules sur route, bien qu'actuellement, ils ne représentent pas une fraction importante des parcs de véhicules au Canada, en Europe ou aux États-Unis. Dans les recherches sur les dépôts des moteurs à injection directe, on a mis l'accent sur les dépôts dans les injecteurs plutôt que sur ceux dans la chambre de combustion (DCC).

Une étude de la SAE publiée en 2000 [B.16] relative à un moteur à injection directe Nissan 1982 a fait l'objet de mesures du débit de carburant en utilisant un carburant de base, cinq anticalaminants différents à base de Mannich et quatre anticalaminants différents ayant une composition chimique à base de polyéthéramine. Des dépôts se sont formés en l'espace de six heures avec le carburant de base, ensuite le carburant a été remplacé par un lot de la base mélangée avec chaque anticalaminant. Les résultats montrent qu'un des additifs à base de Mannich a pu réduire la perte de débit, qui était de 9,25 % (issus de carburant de base après 6 heures), à 2,77 % (ce qui représente un carburant de base après 6 heures + un carburant

avec additif après 6 heures). Les détergents à base de polyétheramine avaient un rendement inférieur à celui de ceux à base de Mannich en matière de perte de débit.

Une étude de la SAE de 2001 [B.26] a mesuré les émissions d'HC issues d'un moteur de recherche à injection directe assistée par air comprimé au cours de deux cycles d'essai dynamométriques. La figure 6 montre le premier cycle d'essai, au cours duquel on a fait tourner le moteur en mode stratifié à un régime de 2 500 tr/min pendant 15 heures. Le mode stratifié est un mode de fonctionnement du moteur au cours duquel le carburant est injecté vers la fin de la course de compression; l'air et le carburant ne se mélangent pas complètement. Ce mode de fonctionnement est utilisé dans des conditions automobiles à faible charge telles que la vitesse constante (sans accélération).



Axe des y : Changement dans les HC par rapport aux HC initiaux (ppm C)

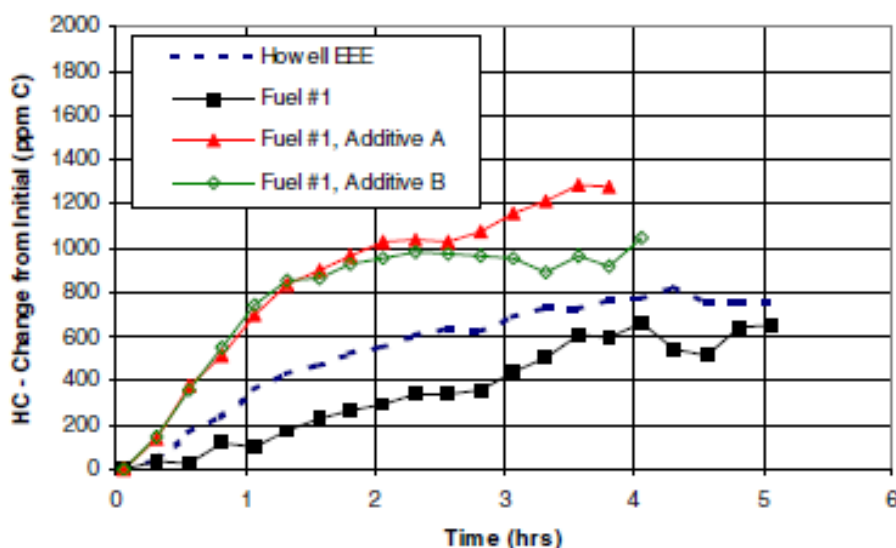
Axe des x : Temps (en heures)

Figure 6. Émissions d'HC provenant du moteur de recherche fonctionnant en mode stratifié

(Source : [B.26])

Le deuxième cycle d'essai a duré cinq heures et le moteur a tourné en mode homogène à 4 000 tr/min. La figure 7 fait état des émissions d'HC sur les cinq heures. Le mode homogène est un mode de fonctionnement du moteur au cours duquel le carburant est injecté pendant la course d'admission; la turbulence de l'admission d'air mélange complètement l'air et le carburant. Ce mode de fonctionnement est utilisé dans des conditions à charge modérée et élevée.

Il convient de noter que les moteurs à essence à injection directe sont une technologie naissante et que les différentes conceptions expérimentales qui sont utilisées fonctionnent sous différents « modes » de fonctionnement du moteur (mode stratifié et mode homogène). Toutefois, ces modes ne sont pas uniformes parmi les différentes conceptions de moteurs à injection directe et ils ne sont pas facilement comparables aux moteurs traditionnels à allumage commandé.



Axe des y : Changement dans les HC par rapport aux HC initiaux (ppm C)

Axe des x : Temps (en heures)

Figure 7. Émissions d'HC provenant du moteur de recherche fonctionnant en mode homogène

(Source : [B.26])

La composition chimique et les taux de dosage des additifs A et B sont inconnus. Ces données montrent que l'effet des anticalaminants lié au carburant de base varie en fonction du mode de fonctionnement du moteur à injection directe. Pour le mode de fonctionnement stratifié du moteur, les anticalaminants réduisent les émissions d'HC pendant la durée de l'essai dynamométrique. En mode de fonctionnement homogène, les additifs augmentent tous les deux les émissions d'HC liées au carburant de base.

Les effets des anticalaminants sur les moteurs à injection directe déterminés par les principales études examinées ne s'avèrent pas concluants. Certaines données indiquent que l'utilisation d'anticalaminants peut améliorer le rendement des injecteurs pour ce type de moteur, mais d'autres études contredisent cet effet, en particulier les essais liés à l'accumulation d'un millage élevé. Certaines études indiquent les avantages sur le plan des émissions, en particulier les émissions de CO et d'HC, mais ceux-ci sont contredits également par d'autres études. D'autres recherches seraient nécessaires à ce sujet pour pouvoir lier de façon concluante l'utilisation d'anticalaminants et les avantages sur le plan des émissions pour les moteurs à injection directe.

3.2.7 Anticalaminants et émissions toxiques

Seule une étude a examiné l'effet des anticalaminants sur les émissions de substances toxiques dans l'atmosphère. Une étude taïwanaise [B.24] a mesuré les émissions de benzène, de toluène, d'éthylbenzène et de xylène (BTEX) provenant d'un moteur PFI de 1,6 L à quatre temps d'un véhicule Nissan New Sentra (année de modèle inconnue). Les dépôts des moteurs n'ont pas été mesurés; par conséquent, cet article ne correspond pas aux sections

susmentionnées relatives aux dépôts dans les injecteurs de carburant et sur les soupapes d'admission ou aux dépôts dans la chambre de combustion (DCC). Les additifs GA-2, GA-3, GA-4 et GA-5, dont les utilisations commerciales prévues sont, respectivement, nettoyant pour soupapes d'admission, nettoyant pour injecteurs de carburant, nettoyant pour circuits d'alimentation en carburant et nettoyant pour carburateurs, ont été mélangés au carburant commercial de base 95-LFG produit à Taïwan. On a mesuré les émissions pendant que le véhicule fonctionnait sur un dynamomètre à châssis au cours d'un cycle d'essai FTP. Les résultats originaux sont présentés ci-dessous à la figure 8 et ils montrent que les quatre polluants toxiques ont des taux d'émissions inférieurs avec tous les additifs (les additifs GA-2, 3, 4 et 5 sont des anticalaminants) par rapport au carburant de base.

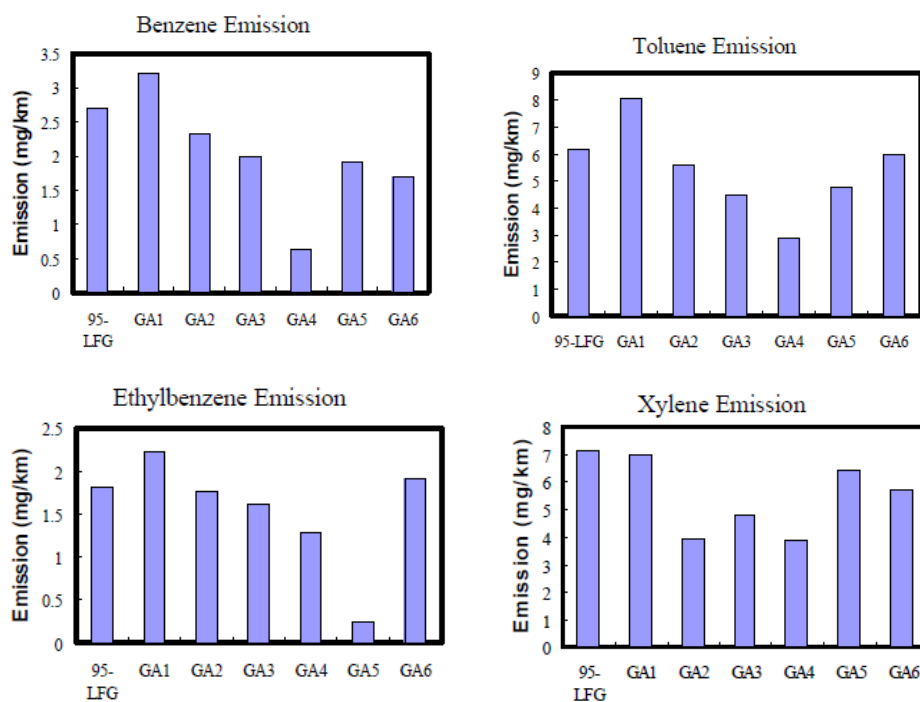


Figure 8. Émissions de BTEX provenant d'un moteur Nissan Sentra
(Source : [B.24])

3.2.8 Résumé des effets des anticalaminants

Vue d'ensemble :

On ne peut pas établir un lien direct entre les anticalaminants et les émissions des véhicules à partir de la documentation examinée. Il existe des liens indirects entre les anticalaminants et les émissions, qui varient en fonction de la technologie automobile et du type de dépôt. Il n'est donc pas possible d'obtenir des données quantitatives sur les effets des anticalaminants sur les émissions en raison de la portée de la documentation disponible à ce sujet.

Une seule étude [B.24] a examiné l'effet des anticalaminants sur l'émission de polluants toxiques, notamment le benzène, l'éthylbenzène, le toluène et le xylène. Ni

l'accumulation de millage, ni les mesures des dépôts ne faisaient partie de ce programme d'essai. Compte tenu du programme d'essai avec un seul moteur et de l'absence de mesures répétées et d'analyses statistiques, la documentation ne soutient aucun lien concluant entre les anticalaminants et les émissions toxiques.

Lien avec les dépôts dans les injecteurs de carburant et sur les soupapes d'admission

Les études précédentes relatives aux dépôts des moteurs réalisées sur des moteurs traditionnels à allumage commandé qui ont été prises en considération par l'EPA et le CARB dans le cadre de la réglementation des anticalaminants dans les années 1990 révélaient généralement que les émissions d'HC et de CO diminuent lorsque les injecteurs de carburant sont nettoyés manuellement. Le rapport entre les dépôts de l'injection dans la lumière d'admission et le NO_x n'était pas cohérent.

Pour la technologie du moteur à injection directe, les principales études sont moins concluantes que les études précédentes relatives aux dépôts dans les injecteurs de carburant pour les moteurs à allumage commandé. Les données indiquent que l'utilisation d'anticalaminants réduit la perte de débit de l'injecteur [B.16]. D'autres données examinaient l'utilisation d'anticalaminants et l'effet sur les émissions [B.26] et les HC dans les gaz d'échappement augmentaient ou diminuaient en fonction du mode de fonctionnement du moteur.

Lien avec les dépôts dans la chambre de combustion (DCC)

La documentation la plus récente évaluée dans le cadre de cette analyse est axée sur des études examinant les effets des DCC sur les émissions. Ces études indiquent un lien direct entre l'augmentation des DCC et celle des émissions de NO_x. Des études ont prouvé que l'élimination mécanique des DCC entraîne une réduction des émissions de NO_x [B.15]. Les données sont insuffisantes pour soutenir que les anticalaminants peuvent limiter la formation de dépôts dans la chambre de combustion. Toutes les preuves actuelles indiquent que l'anticalaminant utilisé pour limiter les dépôts sur les soupapes d'admission et les dépôts de l'injection dans la lumière d'admission est efficace pour l'admission et les injecteurs, mais qu'il augmente les DCC.

Interactions avec la technologie automobile

L'interaction principale des anticalaminants avec la technologie automobile est de réduire les dépôts formés sur les soupapes d'admission et les injecteurs de carburant des véhicules traditionnels à allumage commandé, qui peuvent altérer le bon fonctionnement de ces composantes du véhicule et entraîner à leur tour une altération de la motricité [B.16]. Toutefois, les anticalaminants ont aussi été liés à une augmentation des dépôts dans la chambre de combustion, ce qui peut entraîner une obstruction des dépôts dans la chambre de combustion ou un « claquement de piston froid » [B.9] et une augmentation des émissions de NO_x. La réduction du débit dans les injecteurs et la réduction du débit dans les soupapes d'admission peuvent entraîner des problèmes ultérieurs de longévité avec le moteur et causer par la même occasion la dégradation de nombreuses autres composantes technologiques du système du moteur. On n'a trouvé aucune étude directe qui lie les anticalaminants aux interactions avec les systèmes de contrôle des émissions des véhicules.

3.2.9 Lacunes dans les connaissances

Le lien entre les anticalaminants et les émissions des véhicules est complexe et il requiert une connaissance de la relation quantifiable des dépôts des moteurs sur les émissions et de la capacité d'un anticalaminant à limiter la formation de dépôts, avec des degrés variant en fonction de la composition chimique de l'additif et du taux de traitement. Le tableau 4 cite chaque domaine de connaissances, indique si la documentation comporte des lacunes dans les connaissances et fournit une brève explication.

La plupart des études étaient axées sur le rapport entre les dépôts des moteurs et les émissions des véhicules. Très peu de données lient la composition chimique des anticalaminants et les taux de traitement requis pour empêcher ou limiter la formation de dépôts dans les moteurs. Le manque d'information est vraisemblablement dû à au moins deux causes majeures. D'abord, les préparations d'anticalaminants sont exclusives aux propriétaires par nature et des études scientifiques comparant les anticalaminants font référence aux différentes formulations par nombre ou autre pseudonyme. Sans connaissances détaillées de la composition chimique des anticalaminants, les recherches scientifiques sur leur efficacité dans la réduction des dépôts ne sont pas possibles. Ensuite, la majorité de ces études ont été réalisées aux États-Unis, où la réglementation nationale en matière d'anticalaminants est une norme fondée sur le rendement. Les anticalaminants doivent être enregistrés au taux de traitement le plus faible nécessaire pour respecter les normes en matière de perte de débit de l'injecteur et de poids des dépôts sur les soupapes d'admission (expliquées à la section 3.2.2); donc, il n'existe aucun facteur de recherche important pour déterminer l'effet d'un taux de traitement variable sur les émissions.

Tableau 4. Résumé de l'analyse des lacunes relatives aux anticalaminants

Domaine de connaissances	Y a-t-il une lacune?	Explication
Composition chimique et taux de traitement des anticalaminants	Oui	Les formulations chimiques des anticalaminants des additifs sont exclusives aux propriétaires. Au mieux, les études ont relevé des additifs d'essai par nom de groupe chimique (p. ex., PIBA, PEA, etc). Les études des effets du taux de traitement progressif des anticalaminants n'étaient pas présentes dans la documentation.
Effets des anticalaminants sur les dépôts dans les moteurs	Non	Une étude réalisée par le CRC en 2002 [B.11] a montré des différences statistiquement significatives dans les dépôts sur les soupapes d'admission (DSA) et les dépôts dans la chambre de combustion (DCC) entre cinq carburants contenant des anticalaminants à la composition chimique et aux concentrations différentes.
Effets des DCC sur les émissions	Non	Une étude réalisée par le CRC en 2000 [B.15] a montré avec une importance statistiquement significative que les DCC provoquent une augmentation des émissions de NO _x .
Effets des dépôts sur les soupapes d'admission et des dépôts de l'injection dans la lumière d'admission sur les émissions	Oui	Les études [B.28, B.29] sont périmées, car les programmes d'essai utilisaient une technologie de moteur d'une année de modèle allant de la fin des années 1970 au début des années 1990.
Effets des anticalaminants sur les émissions	Oui	Seule une étude récente a examiné le lien direct entre les anticalaminants et les émissions [B.13], mais l'étude présente des failles, car aucune mesure des dépôts dans le moteur n'a été réalisée. Seule une étude a examiné les émissions toxiques [B.24] et la nature de cette étude est telle qu'elle ne suffit pas à démontrer un lien direct entre les anticalaminants et les émissions toxiques.
Effets des anticalaminants sur la technologie des moteurs à injection directe	Oui	La documentation actuelle n'est pas concluante en ce qui concerne l'établissement d'un lien clair entre les anticalaminants et les avantages sur le plan des émissions pour les moteurs à injection directe.

3.3 Cétane dans le carburant diesel

3.3.1 Renseignements généraux

L'évaluation du cétane d'un carburant, exprimée par l'indice de cétane (IC) ou le *cetane number*, est en fait une mesure du délai d'allumage, du début de l'injection au début de la combustion. Au Canada, l'ONGC a fixé un indice de cétane minimum volontaire de 40. Un sondage réalisé par Environnement Canada (2003)² a indiqué que l'indice de cétane du carburant vendu au Canada (en été) était compris entre 40 et 56 et que la moyenne pondérée du volume était d'environ 43.

Comme l'indice de cétane est une fonction du délai d'allumage, il a une incidence sur le temps disponible pour le mélange du carburant avec l'air avant la combustion et également le moment de la combustion relatif à l'angle de vilebrequin dans les moteurs à allumage par compression. Par conséquent, l'indice de cétane du carburant aura des répercussions sur le processus de combustion et il peut avoir des répercussions directes sur le démarrage, le fonctionnement et l'efficacité du moteur. Il peut aussi avoir des répercussions directes sur les émissions issues du moteur.

3.3.2 Principales études

On pense généralement que le cétane est l'un des paramètres du carburant les plus importants ayant des répercussions sur la combustion des carburants diesels commerciaux; une quantité de documentation relativement importante publiée et révisée par des pairs est disponible. La plupart des recherches nord-américaines ont été axées sur des moteurs de véhicules lourds. La plupart des recherches sur les moteurs diesels de véhicules légers ont été menées en Europe et au Japon en raison de l'acceptation plus large de ces véhicules sur ces marchés.

En raison de la réglementation des émissions de plus en plus stricte dans le monde, une quantité importante de travaux ont ciblé principalement la définition de l'effet du cétane sur les émissions. Les normes relatives aux véhicules sur route et à leurs moteurs sont plus rigoureuses. Les normes liées aux moteurs hors route sont également resserrées, mais elles sont en retard par rapport aux exigences des moteurs sur route. Par conséquent, la plupart des recherches ciblent le matériel sur route, mais les résultats sont applicables aux deux types de moteurs.

Parmi les nombreux documents consultés à l'annexe C, les documents suivants ont été considérés comme étant les principales études. Il convient de noter que notre analyse s'est appuyée sur ces études clés, mais qu'elle intégrait des connaissances, des données et des résultats issus de nombreuses autres études qui sont mentionnées en annexe. Les tendances et conclusions générales à l'égard des effets des paramètres du carburant sur les émissions ont été guidées par l'ensemble des études que nous avons prises en considération, notamment ces études clés.

2 Environnement Canada. 2003. « Enquête sur l'essence et le carburant diesel – L'indice d'efficacité de carburation (IEC) et les composés oxygénés dans l'essence; l'indice de cétane calculé, l'indice de cétane, les hydrocarbures aromatiques et les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) dans le carburant diesel », rapport final.

- Nuszkowski, J., R.R. Tincher et G.J. Thompson. 2009. Evaluation of the NO_x emissions from heavy-duty diesel engines with the addition of cetane improvers. *Journal of Automobile Engineering*, vol. 223, n° D8, p. 1049-1060 [C.3].
- CONCAWE. 2008. « Advanced Combustion for Low Emissions and High Efficiency: A Literature Review of HCCI Combustion Concepts », rapport n° 4/08, Bruxelles [C.4].
- CRC. 2008. « Review of Prior Studies of Fuel Effects on Vehicle Emissions », préparé par M. Albert M. Hochhauser, 12 Celler Rd., Edison, NJ 8817; préparé pour le Coordinating Research Council, CRC Project E-84 [C.5].
- Massa, C.V. *et al.* 2007. Influence of cetane number on Euro III engine emissions, *SAE Paper* 2007-01-2000 [C.8].
- Kono, N., Y. Kobayashi et H. Takeda. 2005. Fuel effects on emissions from diesel vehicles equipped with advanced after-treatment devices. *SAE Paper* 2005-01-3700 [C.14].
- USEPA. 2003. « The Effect of Cetane Number Increase Due to Additives on NO_x Emissions from Heavy-Duty Highway Engines: Final Technical Report », Office of Transportation and Air Quality, United States Environmental Protection Agency, EPA420-R-03-002 [C.17].
- Oyama, K., et T. Kakegawa. 2003. Evaluation of diesel exhaust emission of advanced emission control technologies using various diesel fuels, and sulphur effect on performance after mileage accumulation – JCAP Diesel WG (Fuel) Report for Step II Study. *SAE Paper* 2003-01-1907 [C.22].
- CONCAWE. 2002. « Evaluation of Diesel Fuel Cetane and Aromatics Effects on Emissions from Euro-3 Engines », rapport n° 4/02, Bruxelles [C.24].
- Matheaus, A.C. *et al.* 2000. EPA HDEWG Program – Engine Tests Results. *SAE Paper* 2000-01-1858 [C.27].
- Mason, R.L. *et al.* 2000. EPA HDEWG Program – Statistical Analysis. *SAE Paper* 2000-01-1859 [C.28].

3.3.3 Détermination de l'indice de cétane

L'indice de cétane est déterminé en accord avec une méthode d'essai standard, habituellement la norme ASTM D613 – Standard Test Method for Cetane Number of Diesel Fuel Oil. Cette méthode d'essai englobe la détermination d'une cote pour le carburant diesel avec une échelle arbitraire des indices de cétane en utilisant un moteur diesel monocylindrique à injection directe ayant un cycle à quatre temps et un taux de compression variable.

L'échelle de l'indice de cétane varie de zéro à 100, mais les essais habituels se situent entre 30 et 65. Un indice de cétane plus élevé correspond à un délai d'allumage plus court et un indice de cétane plus faible indique un délai plus long.

Une mesure liée à l'IC, l'indice de cétane calculé (ICC) ou le *cetane index*, est utilisée comme une estimation de l'indice de cétane lorsqu'un moteur d'essai n'est pas disponible pour déterminer directement cette propriété. La méthode d'estimation de l'indice de cétane est fondée sur des corrélations empiriques de l'indice de cétane avec certains paramètres du carburant (densité et intervalle de distillation), mais elle ne rend pas compte de l'utilisation d'un améliorateur de cétane. Il est important de comprendre que cette mesure ne peut pas remplacer l'indice de cétane : elle est utilisée uniquement pour estimer l'indice de cétane du carburant avant l'ajout d'un améliorateur de cétane. En général, les recherches, et donc la présente analyse, utilisent l'indice de cétane uniquement en raison des incertitudes que l'utilisation de l'indice de cétane calculé ajouterait aux analyses.

3.3.4 Méthodes pour augmenter l'indice de cétane

Il existe deux méthodes de base pour augmenter l'indice de cétane d'un carburant : la reformulation/le remélange pour modifier l'indice de cétane « naturel » du carburant ou l'ajout d'« améliorateurs » de l'indice de cétane.

L'indice de cétane naturel d'un carburant est une fonction des concentrations relatives de différentes classes d'hydrocarbures dans le carburant, de sorte que la charge d'alimentation, le traitement et le mélange d'un carburant auront des répercussions sur l'indice de cétane. De plus, le nombre de compositions et de mélanges de carburant qui peuvent entraîner un indice de cétane semblable est pratiquement infini. À ce titre, l'indice de cétane naturel d'un carburant ne varie pas sans autres changements importants dans la composition d'hydrocarbures du carburant, et par ailleurs, les carburants ayant un indice de cétane semblable peuvent être assez différents. Plus précisément, la densité du carburant et le contenu aromatique sont fréquemment liés à l'indice de cétane. Ces facteurs ont parfois déconcerté les recherches à propos de l'effet du cétane sur les émissions, étant donné qu'il est difficile de séparer l'incidence du cétane de celle des autres changements associés aux hydrocarbures.

Les additifs améliorants du cétane, qu'on appelle souvent des améliorateurs de l'indice de cétane, peuvent être utilisés pour augmenter l'indice de cétane dans un carburant. Ces améliorateurs sont généralement des composés tels que le 2-ethyl-hexyl-nitrate et le peroxyde de di-tert-butyle (DTBP), qui sont ajoutés en faibles quantités. Ces améliorateurs augmentent l'indice de cétane sans modifier la composition relative d'hydrocarbures du carburant ni avoir des répercussions significatives sur la densité, mais ils modifient manifestement la composition chimique globale dans une certaine mesure.

Ces deux méthodes pour augmenter l'indice de cétane soulèvent la question de savoir si l'effet de l'augmentation de l'indice de cétane sur les émissions dépendra de la méthode utilisée. En d'autres termes, l'effet de l'augmentation de l'indice de cétane diffère-t-il selon que l'augmentation a été atteinte par reformulation pour modifier l'indice de cétane naturel, ou selon qu'elle a été atteinte en ajoutant un améliorateur de cétane?

Plusieurs études ont tenté de résoudre cette question en comparant des carburants soigneusement mélangés et des carburants améliorés du même indice de cétane [C.16, C.24, C.27]. Dans presque tous les cas, les études n'ont trouvé aucune différence significative entre une augmentation de l'indice de cétane naturel et une augmentation causée par l'ajout d'un améliorateur, si d'autres paramètres importants restent inchangés. D'autres évaluations ont abouti à la même conclusion [C.5, C.31]. Une étude [C.24] a indiqué qu'il n'y avait aucune différence significative dans les émissions issues de l'utilisation de différents types d'améliorateurs.

3.3.5 Effet du cétane sur les moteurs diesels lourds

De nombreuses études ont indiqué clairement que l'effet du cétane dépend fortement de la technologie du moteur et de celle du post-traitement [C.5, C.8]. Une évaluation approfondie de la documentation [C.5] en 2008 a déclaré que « plus les moteurs sont sophistiqués en termes de contrôle des émissions, moins les effets du carburant semblent être importants ».

Aux États-Unis, les normes en matière d'émissions ont guidé le perfectionnement de la technologie des moteurs pour le marché routier nord-américain; elles ont subi des changements progressifs importants en 2004, 2007 et 2010. Afin de satisfaire aux limites rigoureuses liées aux oxydes d'azote (NO_x), aux matières particulaires (MP) et aux hydrocarbures (HC), la très

grande majorité des fabricants ont déjà adopté la recirculation refroidie des gaz d'échappement (RGE) et les filtres à particules oxydants pour moteur diesel (DPF). D'ici l'année de modèle 2010, la réduction sélective catalytique (RSC) ou une technologie équivalente sera aussi adoptée de façon presque universelle.

Les exigences du Niveau 4 de l'EPA des États-Unis pour les diesels non routiers introduisent progressivement des exigences semblables de 2008 à 2015.

Une étude récente [C.3] a montré que l'augmentation de l'indice de cétane par ajout d'un améliorateur entraînait une réduction des NO_x allant de 1 à 3,5 % pour les moteurs plus anciens (années 1990, sans recirculation des gaz d'échappement), mais une légère augmentation des NO_x (1,3 %) pour un moteur plus moderne de 2004 équipé d'un turbocompresseur à géométrie variable (TGV) et d'une recirculation refroidie des gaz d'échappement. Ces résultats se limitent aux NO_x et à un petit échantillon de moteurs, mais la tendance générale semble être présente dans bon nombre de documents. Ainsi, l'effet du cétane a changé et a diminué avec l'introduction des contrôles des émissions plus avancés [recirculation des gaz d'échappement (RGE), systèmes d'alimentation en carburant haute pression, filtres à particules pour moteur diesel (DPF), réduction sélective catalytique (RSC), catalyseurs de réduction de stockage de NO_x (NSR), catalyseurs d'oxydation pour moteur diesel (COD), etc.] [C.3, C.5, C.8, C.22].

Une analyse technique de l'évaluation précédente de données et de documents réalisée par l'EPA des États-Unis en 2003 [C.17] a indiqué que l'augmentation de l'indice de cétane dans le carburant réduira les émissions de NO_x provenant des moteurs diesels de véhicules lourds fabriqués en série dans les années 1990. Toutefois, l'étude excluait précisément les moteurs équipés de la RGE et elle a continué à soutenir que les moteurs munis de la RGE ne devraient montrer aucune réaction perceptible des NO_x au cétane.

D'autres données sur des moteurs antérieurs à la technologie de la RGE [C.8, C.18, C.23, C.24, C.26, C.29, C.31, C.34, C.35, C.37] de la même époque montrent une variabilité considérable, mais les études les plus soigneusement élaborées semblent indiquer que l'augmentation de l'indice de cétane entraînera les conséquences suivantes :

- une réduction des NO_x allant d'un nombre non significatif à 8 %;
- aucune tendance notable dans les émissions de matières particulaires;
- une réduction des émissions d'hydrocarbures et de monoxyde de carbone allant d'un nombre non significatif à 50 %.

Il est à noter que ces résultats ne sont pas uniformes dans les différentes études. Une bonne partie de la variabilité peut provenir d'autres différences dans la technologie du moteur (systèmes d'alimentation en carburant, contrôles du moteur) qui ne sont pas décrites dans la documentation. Néanmoins, la majorité des données existantes indiquent que l'augmentation de l'indice de cétane peut réduire les émissions de NO_x, d'HC et de CO issues de ces moteurs plus anciens antérieurs à la technologie de la RGE.

Une étude réalisée par l'EPA des États-Unis [C.26] a évalué deux études connexes réalisées par Arco qui étudiaient l'effet de l'augmentation de l'indice de cétane en utilisant des améliorateurs sur les émissions d'un moteur DDC série 60 de 1991. Les études ont révélé que les augmentations de l'indice de cétane de 9 à 16 donnaient des réductions d'HC allant de 40 à 75 % et que les réductions des émissions atmosphériques toxiques étaient proportionnelles à celles des HC. Les substances toxiques atmosphériques comprenaient l'acétaldéhyde, l'acétone, l'acroléine, le benzaldéhyde, le benzène, le 1,3-butadiène, le crotonaldéhyde, le formaldéhyde, l'hexanaldéhyde, l'isobutyraldéhyde + MEK et le propionaldéhyde.

En Amérique du Nord, la technologie de la recirculation des gaz d'échappement (RGE) a été introduite chez les véhicules lourds avant 2004. Les données d'essai relevées dans la documentation relative à l'effet du cétane sur les moteurs de véhicules lourds avec la RGE sont limitées. Les deux études ciblées [C.3, C.27, C.28] ont toutes deux utilisé une méthodologie rigoureuse et elles ont mentionné qu'une augmentation de l'indice de cétane entraînait une légère augmentation des émissions de NO_x (~ 1 %). L'une de ces études concernait un moteur produit en série de l'année de modèle 2004, tandis que l'autre était une version de recherche sur un moteur de 2004 auquel on a ajouté la technologie de la RGE. Une augmentation de l'indice de cétane de 42 à 52 entraînait également une réduction des émissions d'HC et de CO de 12 à 13 %. Aucune donnée n'est présentée concernant les émissions de MP.

Une autre étude concernant les effets du carburant sur des moteurs de véhicules lourds munis d'un post-traitement évolué comprenait des carburants ayant une vaste plage d'indices de cétane (de 48 à 69) [C.14]. Les données d'essai n'étaient pas précisément analysées pour l'effet du cétane, mais l'examen visuel des graphiques présentés n'indiquait aucune corrélation des NO_x, des MP, des HC ou du CO avec le cétane. Ces résultats ne sont pas contraires aux études citées précédemment [C.3, C.27, C.28], étant donné que ces moteurs sont munis de catalyseurs oxydants. Les auteurs ont remarqué que les technologies des systèmes évolués d'alimentation en carburant pour la réduction des émissions étaient très efficaces pour la réduction des NO_x, mais que les effets du carburant étaient faibles. Ils ont remarqué également qu'en général, les effets du carburant sur les émissions étaient faibles par rapport à l'effet des nouvelles technologies.

Bien que les effets du cétane sur les émissions provenant de moteurs de véhicules lourds plus anciens puissent être significatifs, les données limitées existantes laissent penser que l'introduction de la RGE a modifié les répercussions, de telle sorte que seules les émissions d'HC et de CO semblent être liées à l'indice de cétane. Par déduction, les émissions toxiques y seraient liées également, étant donné qu'on a découvert qu'elles suivaient les émissions d'HC.

En outre, l'introduction du post-traitement sur la dernière génération de moteurs (2007 et modèles plus récents) signifie que les changements mineurs qu'aura le moteur sur les émissions de NO_x, de MP, de CO et d'HC (et, par déduction, sur les substances toxiques atmosphériques) n'auront aucune incidence mesurable au tuyau d'échappement en raison de la technologie post-traitement qui est requise à présent (DPF, COD, RSC, NSR).

3.3.6 Effet du cétane sur les véhicules légers à moteur diesel

La majorité des documents faisant état des données d'essai ont été produits pour des véhicules destinés au marché européen, et les données ont été produites au moyen des cycles d'essai normalisés de véhicules européens. Aucune donnée n'a été trouvée pour l'Amérique du Nord, probablement en raison de la pénétration limitée des véhicules légers à moteur diesel sur ce marché.

Une évaluation exhaustive récente de la documentation [C.5] a découvert une quantité importante de données contradictoires, mais elle a relevé les tendances suivantes dans les émissions (avant le post-traitement) associées à une augmentation de l'indice de cétane :

- une réduction des émissions de monoxyde de carbone (CO) allant de 17 à 50 %;
- une réduction des émissions d'hydrocarbures (HC) allant de 7 à 25 %;
- une réduction légère (voire négligeable) des émissions de matières particulaires (MP) allant de 3 à 5 %;

aucune tendance notable liée aux émissions d'oxydes d'azote (NO_x).

Les auteurs ont indiqué que « plus les moteurs sont sophistiqués sur le plan du contrôle des émissions, moins les effets du carburant semblent être importants » et que « les effets semblent être moindres et plus difficiles à mesurer avec les systèmes de post-traitement qui sont en place ».

Il est important de noter que ces effets rapportés sont constatés à l'échappement du moteur, avant le post-traitement. Étant donné que les normes d'émission rigoureuses ont poussé les fabricants à appliquer un post-traitement approfondi (DPF, COD, RSC, NSR, etc.) sur pratiquement tous les véhicules légers, les effets mineurs à l'échappement du moteur ne devraient pas entraîner des changements mesurables au tuyau d'échappement dans la plupart des cas.

D'autres programmes d'essai évalués [C.16, C.19, C.20, C.22, C.24, C.25, C.26, C.33] montraient généralement une tendance semblable à celles susmentionnées, ainsi qu'une quantité considérable de données contradictoires. Par exemple, le changement de l'indice de cétane du carburant n'avait pas une incidence significative sur les émissions de CO, de NO_x, d'HC et de MP [C.8] et la hausse de l'indice de cétane réduisait légèrement les émissions de NO_x.

L'Agence européenne pour l'environnement (AEE) a publié récemment des conseils visant à orienter les calculs des facteurs d'émissions des véhicules [C.2]. À l'aide des méthodes d'estimation des émissions précisées, la variation de l'indice de cétane entre 40 et 50 n'entraînera aucun changement important des émissions de NO_x et de MP, mais elle réduira les émissions de CO et d'HC pour les véhicules légers à moteur diesel. Ainsi, les indications de l'AEE admettent que l'indice de cétane a des répercussions sur les émissions de CO et d'HC issues du parc de véhicules existant, mais qu'il n'a aucune incidence prévisible sur les émissions de NO_x et de MP.

Seule une des études susmentionnées [C.33] a pris en considération les répercussions de l'indice de cétane sur les émissions de substances toxiques dans l'air provenant de véhicules légers. L'étude portait sur des véhicules qui satisfaisaient aux normes européennes de 1996 et elle en a conclu que l'augmentation de l'indice de cétane réduisait le benzène et le 1,3-butadiène proportionnellement aux effets sur les émissions totales d'hydrocarbures. Elle a découvert également que l'augmentation de l'indice de cétane réduisait le formaldéhyde et l'acétaldéhyde. Ces résultats correspondent aux résultats indiquant que les émissions toxiques suivent les émissions d'HC des moteurs de véhicules lourds [A.26].

Les données susmentionnées indiquent que les émissions de CO et d'HC (et, par déduction, les émissions toxiques atmosphériques) peuvent être réduites en augmentant l'indice de cétane à plus de 40, mais l'ampleur de ces réductions devrait être bien inférieure dans les véhicules récents et neufs qui sont munis d'un post-traitement approfondi. Il n'est pas parfaitement clair que l'augmentation de l'indice de cétane réduira les émissions de NO_x ou de matières particulaires provenant de véhicules légers à moteur diesel.

3.3.7 Effet sur les technologies naissantes

Les moteurs à allumage par compression à charge homogène (ACCH) font l'objet d'une part importante des recherches. En utilisant une large définition de la technologie ACCH, de nombreuses variantes font l'objet de recherches, mais en général, cette technologie diffère des

moteurs traditionnels à allumage par compression, dans le sens où le carburant et l'air sont mélangés au préalable et le délai de combustion dépend des propriétés de la charge au lieu du moment de l'injection. Ainsi, le délai et la combustion sont contrôlés par la variation du rapport air/carburant, de la recirculation des gaz d'échappement (RGE) et de la température de la charge, au lieu du moment de l'injection. Pour certaines variantes, la charge est prémélangée avant d'entrer dans la chambre de combustion, tandis que pour d'autres, elle est prémélangée en étant injectée au début de la course (PCCI, allumage par compression d'une charge prémélangée).

Par rapport au diesel traditionnel, ces moteurs présentent un intérêt, car des travaux précédents ont montré des émissions de NO_x et de MP bien inférieures avec une consommation de carburant semblable ou réduite, quoique les émissions d'HC et de CO étaient peut-être supérieures [C.4]. Les réductions des émissions de NO_x et de MP à la sortie du moteur réduiraient les charges ou les exigences liées au matériel post-traitement.

Comme le fonctionnement des moteurs ACCH dépend fortement des propriétés de la charge, des travaux considérables ont déjà été publiés concernant l'effet des propriétés de carburant, et surtout à propos de l'effet de l'indice de cétane [C.1, C.4, C.7, C.9]. En raison des stades de réalisation précoces, les recherches sont axées davantage sur l'effet de l'indice de cétane sur le fonctionnement du moteur; les émissions constituent une considération secondaire.

À ce jour, ces travaux sont limités aux moteurs de recherche monocylindriques, dans des conditions de régime permanent, et ils englobent un éventail de stratégies de mise en œuvre de la technologie ACCH.

Les travaux réalisés semblent indiquer que les émissions constituent une fonction de la phase de combustion [C.1, C.9]. Le cétane touche la phase de combustion, mais lorsque la phase de combustion est contrôlée dans des conditions optimales (par exemple par la recirculation des gaz d'échappement, le mélange de carburant, la température de la charge), l'indice de cétane n'a pas de répercussions sur le fonctionnement du moteur ou les émissions directement.

Indépendamment de la considération susmentionnée, l'indice de cétane demeure une variable importante du carburant dans le fonctionnement de ces moteurs. Une étude a révélé que la puissance maximale d'un moteur était atteinte avec un indice de cétane compris entre 40 et 50 et qu'un indice de cétane plus élevé avait tendance à rendre le contrôle du moteur plus difficile [C.9]. Une deuxième étude [C.7] a révélé que les indices de cétane plus élevés nécessitaient une phase de combustion plus précoce qui n'était pas optimale en matière d'efficacité. Une étude exhaustive récente de la technologie a conclu que les preuves récentes indiquent qu'un indice de cétane inférieur à 45 peut être un choix optimal pour la technologie ACCH d'un moteur diesel [C.4].

On a indiqué que pour un délai d'injection fixe, l'allumage commandé à charge homogène prémélangée n'est pas compatible avec un large intervalle d'indices de cétane. Ceci pourrait indiquer que le carburant optimal doit être limité à un intervalle fixe d'indices de cétane. Toutefois, avec un contrôle de rétroaction sur la phase de combustion, qui sera probablement requis pour s'adapter aux conditions changeantes de la charge et de la vitesse, l'indice de cétane n'est pas un facteur.

Il est à noter que la technologie ACCH n'est pas en cours de production et qu'une fois qu'elle sera disponible, sa forme pourrait être sensiblement différente des tendances actuelles des recherches. Néanmoins, il est clair d'après les travaux publiés que rien n'indique que l'augmentation de l'indice de cétane dans le carburant diesel réduira les émissions directement

pour les moteurs ACCH. De la même manière, rien n'indique que l'augmentation de l'indice de cétane donnera des avantages indirects en permettant ou en facilitant la réalisation de ces moteurs.

3.3.8 Résumé des effets du cétane

Véhicules lourds

Moteurs antérieurs à la technologie RGE : Des preuves raisonnables indiquent que l'augmentation de l'indice de cétane réduira de manière significative les émissions de NO_x, de CO et d'HC (y compris les substances toxiques atmosphériques) provenant de véhicules lourds antérieurs à la technologie RGE (avant 2004). Toutefois, il est à noter que les résultats ne sont pas constants d'une étude à l'autre, ce qui rend difficile la quantification de la réduction. Les répercussions globales de cet effet sur le parc de véhicules nord-américain seront progressivement réduites lorsque ces véhicules seront retirés de la circulation.

RGE : L'introduction de la recirculation des gaz d'échappement parmi les véhicules lourds a modifié l'incidence de l'indice de cétane sur les émissions, si bien que seules les émissions de CO et d'HC (et, par déduction, les substances toxiques atmosphériques) ont été liées à l'indice de cétane. Il a été prouvé qu'une augmentation de l'indice de cétane entraînait des réductions des émissions de CO, d'HC (et, par déduction, des substances toxiques atmosphériques) de l'ordre d'un pourcentage compris entre un nombre non significatif et 50 % avant le post-traitement.

Véhicules légers

Pour les véhicules légers, une augmentation de l'indice de cétane a tendance à n'avoir aucun effet significatif sur les émissions de NO_x ou de MP, mais elle a tendance à réduire les émissions des moteurs en matière de CO (17 à 50 %), d'HC (7 à 25 %) et de substances toxiques atmosphériques avant le post-traitement. La réduction globale d'émissions de CO et d'HC (et, par déduction, des substances toxiques atmosphériques) dépend du degré de post-traitement.

Nouveaux véhicules

Tant pour les véhicules légers que pour les véhicules lourds, les effets du carburant pour les véhicules plus modernes sont atténués. Cet état de fait est particulièrement vrai avec les véhicules les plus récents qui intègrent des systèmes de post-traitement approfondis. Pour ces véhicules, l'effet du cétane sur les émissions (NO_x, MP, HC, CO, substances toxiques atmosphériques) devrait être très faible et difficile à mesurer.

Technologies automobiles naissantes

La technologie ACCH (allumage commandé à charge homogène) est une technologie naissante importante, car elle peut considérablement réduire les émissions des moteurs diesels avec une consommation en carburant semblable ou inférieure. Le fonctionnement de ces moteurs subit l'influence de l'indice de cétane, et des travaux précédents laissent penser que les carburants ayant un indice de cétane inférieur à 45 peuvent être optimaux pour cette technologie.

Vue d'ensemble

Les constatations ci-avant indiquent que l'indice de cétane a un effet direct sur les émissions des moteurs et véhicules plus anciens et qu'il peut tout de même avoir un faible effet direct sur des véhicules plus récents. La documentation ne comporte aucune indication laissant entendre que l'indice de cétane des carburants existants a des effets indirects, notamment des répercussions sur la fiabilité ou la création d'un obstacle à la mise en œuvre d'une nouvelle technologie.

Interaction avec les technologies automobiles

Les émissions des moteurs plus anciens antérieurs à la technologie RGE subissent les répercussions les plus importantes du cétane. Les répercussions du cétane sont très réduites sur des moteurs disposant de contrôles modernes (RGE, systèmes évolués d'alimentation en carburant, contrôles électroniques des moteurs) et elles devraient être négligeables sur des moteurs munis de systèmes évolués de post-traitement.

3.3.9 Lacunes dans les connaissances

La documentation évaluée indique un manque d'information généralisé au sujet de l'effet du cétane sur les émissions issues de moteurs et véhicules modernes munis d'un système de post-traitement. Bien que l'on presume que l'effet du cétane soit fortement réduit pour ces véhicules, cet effet n'a pas été prouvé par un programme d'essai solide et bien conçu qui évalue l'effet de l'indice de cétane sur une gamme de véhicules et moteurs disposant de systèmes modernes (année de modèle 2010) de contrôle des émissions et de post-traitement.

Tableau 5. Résumé de l'analyse des lacunes relatives au cétane

Domaine de connaissances	Y a-t-il une lacune?	Explication
Effet de l'indice de cétane sur les véhicules lourds équipés de technologies plus anciennes	Non	L'effet du cétane sur les émissions provenant de moteurs et de véhicules plus anciens a été prouvé par de nombreuses études. Une étude de l'EPA des États-Unis [C.17] a fourni des résultats fondés sur un ensemble de données relatif aux moteurs antérieurs à la technologie RGE.
Effet de l'indice de cétane sur les véhicules lourds et les moteurs modernes	Oui	Les véhicules modernes (année de modèle 2007 et modèles plus récents) comprennent des contrôles évolués des moteurs et un post-traitement des gaz d'échappement. L'effet du cétane sur les émissions provenant de ces véhicules n'a pas été prouvé.
Effet de l'indice de cétane sur les véhicules légers	Oui	L'effet du cétane sur les émissions dépend du véhicule/de la technologie. La plupart des données relatives aux émissions sont disponibles pour des véhicules légers et des carburants européens et japonais.
Effet de l'indice de cétane sur les véhicules et les moteurs équipés de la future technologie	Oui	Des études limitées sur les moteurs ACCH ont montré que l'indice de cétane du carburant n'a pas d'incidence sur le fonctionnement des véhicules [C.1, C.4]. Un indice de cétane faible (par exemple inférieur à 45) peut être bénéfique.

3.4 Lubrifiante du carburant diesel

3.4.1 Renseignements généraux

La lubrifiante est la capacité d'un carburant à empêcher ou à minimiser l'usure du matériel d'injection du carburant et elle peut avoir des répercussions indirectes sur les émissions [D.13]. Le système d'injection du carburant (p. ex., les pompes, les injecteurs) est lubrifié par le carburant diesel lui-même, donc une lubrifiante médiocre peut augmenter l'usure de ce matériel et même provoquer une défaillance catastrophique dans des cas extrêmes [D.9].

La lubrifiante en tant que telle n'a pas d'incidence directe sur les émissions, mais une faible lubrifiante entraîne une usure à long terme des pièces maîtresses d'un moteur, ce qui peut causer une dégradation des performances du moteur au fil du temps [D.4]. La même étude indique qu'on peut prévoir des émissions en conséquence d'une lubrifiante médiocre, en raison d'une réduction de l'efficacité de la pompe d'injection.

3.4.2 Principales études

Peu d'études traitent des liens entre les mesures de la lubrifiante du carburant diesel et l'usure du matériel d'injection du carburant.

Parmi les documents évalués à l'annexe D, les principales études sont citées ci-dessous. Il convient de noter que notre analyse s'est appuyée sur ces études clés, mais qu'elle intégrait des connaissances, des données et des résultats issus de nombreuses autres études qui sont mentionnées en annexe. Les tendances et conclusions générales à l'égard des effets des paramètres du carburant sur les émissions ont été guidées par l'ensemble des études que nous avons prises en considération, notamment ces études clés.

Matzke, M. *et al.* 2009. Diesel lubricity requirements of future fuel injection equipment. *SAE Paper* 2009-01-0848 [D1].

Caprotti, R., S. Takaharu et D. Masahiro. 2008. Impact of diesel fuel additives on vehicle performance. *SAE Paper* 2008-01-1600 [D.5].

Ullmann *et al.* 2008. Investigation into the formation and prevention of internal diesel injector deposits. *SAE Paper* 2008-01-0926 [D.6].

Knothe, G., et K.R. Steidley. 2005. Lubricity of components of biodiesel and petrodiesel: The origin of biodiesel lubricity. *Energy & Fuels*, vol. 19, p. 1192-1200 [D.11].

3.4.3 Détermination de la lubrifiante

Au Canada, un niveau de lubrifiante minimum est spécifié par l'Office des normes générales du Canada (ONGC). La norme régissant le carburant diesel pour véhicules automobiles (routiers) n° CAN/CGSB-3.517-2007 permet l'utilisation de l'une des cinq méthodes de mesure de la lubrifiante du diesel et elle comporte cinq niveaux connexes de lubrifiante minimum. Les cinq méthodes et limites connexes sont les suivantes :

Usure de la pompe avec un carburant représentatif dans une pompe distributrice diesel au cours de l'essai d'un véhicule sur le terrain – La méthodologie requise pour l'essai d'un véhicule sur le terrain est décrite dans le document de la SAE (*SAE Paper*) n° 952370. Un résultat acceptable de l'usure de la pompe est défini comme une cote globale de la pompe de 4,0 ou moins en utilisant la méthode de notation décrite dans le document de la SAE n° 961180.

Usure de la pompe avec un carburant représentatif au cours de la mise au banc d'essai d'une pompe diesel distributrice – La méthodologie requise pour la mise au banc d'essai d'une pompe est décrite dans le document de la SAE (*SAE Paper*) n° 981363. Les documents de la SAE n°s 961180 et 952370 fournissent des renseignements généraux supplémentaires. Un résultat acceptable de l'usure de la pompe est défini comme une cote globale de pompe de 4,0 ou moins en utilisant la méthode de notation décrite dans les documents de la SAE n°s 981363 et 961180.

Usure de la pompe avec un carburant représentatif au cours de la mise au banc d'essai d'une pompe diesel rotative – La méthodologie et la méthode de notation requises pour la mise au banc d'essai d'une pompe sont décrites dans le document de la SAE (*SAE Paper*) n° 961944. Un résultat acceptable de l'usure de la pompe est défini comme une cote globale de la pompe de 5,3 ou moins en utilisant la méthode de notation décrite dans le document de la SAE n° 961944.

Résultats d'un essai au banc réalisé en laboratoire avec un carburant représentatif au banc alternatif à haute fréquence (High Frequency Reciprocating Rig – HFRR) – L'essai

requis au banc alternatif à haute fréquence est décrit dans la norme ASTM D6079 et il doit être effectué à une température de 60 °C. Un résultat acceptable de l'essai est défini comme un diamètre d'impression d'usure inférieur ou égal à 460 µm à une température de 60 °C.

Résultats d'un essai au banc réalisé en laboratoire avec un carburant représentatif qui utilise la méthode SLBOCLE (Scuffing Load Ball-on-Cylinder Lubricity Evaluator) – L'essai requis est décrit dans la norme ASTM D6078. Un résultat acceptable de l'essai est défini comme une charge de grippage supérieure ou égale à 3 100 grammes.

Parmi ces cinq méthodes, les trois premières ont atteint un seuil d'acceptation très limité. Les deux dernières méthodes font référence aux méthodes visées par les normes ASTM, qui sont plus couramment utilisées en Amérique du Nord et à l'étranger. Sur les cinq méthodes, l'essai au banc alternatif à haute fréquence (HFRR) est de loin le plus souvent cité dans la documentation.

Les normes ASTM énoncent clairement³ qu'aucune corrélation absolue n'a été établie entre les essais HFRR (ASTM D6079) et SLBOCLE (ASTM D6078). Dans la portée de chacune de ces deux normes, l'ASTM déclare ce qui suit :

« On ne sait pas si cette méthode d'essai prévoira la performance de toutes les combinaisons additif/carburant. Des travaux supplémentaires sont en cours pour mieux établir cette corrélation et de futures révisions de cette méthode d'essai seront peut-être nécessaires une fois ces travaux terminés. »

Une étude réalisée en 2007 [D.8] a fait état d'une faible corrélation entre la méthode HFRR et la méthode SLBOCLE. De la même manière, une étude réalisée en 2002 [D.13] a évalué la lubrification des carburants diesels au moyen de cinq méthodes, dont deux sont des méthodes susmentionnées (essai HFRR et essai au banc d'une pompe). L'étude a révélé une faible corrélation entre les différentes méthodes.

L'essai HFRR est relativement simple et peu coûteux et il peut être effectué en quelques heures. Par contre, les essais sur le terrain et sur des pompes d'injection doivent être exécutés pendant une période suffisamment longue pour produire une usure notable. L'essai HFRR s'aligne également sur la procédure européenne standard ISO/CD 12156-1.

3.4.4 Méthodes pour augmenter la lubrification

Dans le carburant diesel, le mécanisme de lubrification est une combinaison de lubrification hydrodynamique et de lubrification limite [D.9]. Dans la lubrification hydrodynamique, une couche de liquide empêche tout contact entre les surfaces opposées. On peut obtenir une meilleure lubrification hydrodynamique en utilisant des carburants diesels ayant une viscosité plus élevée. Dans la lubrification limite, certains composés forment une couche protectrice anti-usure en adhérant aux surfaces solides. Si la lubrification est insuffisante, alors la lubrification limite n'est pas suffisante pour empêcher l'usure du matériel d'injection du

3 ASTM D6079 - 04e1 Standard Test Method for Evaluating Lubricity of Diesel Fuels by the High-Frequency Reciprocating Rig (HFRR) Home Page. <http://www.astm.org/Standards/D6078.htm>. Dernière consultation le 30 octobre 2009.

carburant. Cette lubrification limite peut être améliorée en ajoutant des additifs au carburant [D.9].

Trois types d'additifs sont couramment utilisés pour la lubrification, à savoir les monoacides, les amides et les esters [D.1, D.9]. Les chercheurs ont montré que certains types d'additifs peuvent avoir des effets secondaires, notamment des dépôts sur le matériel d'injection du carburant, et que ces dépôts peuvent détériorer la motricité et entraîner une non-conformité aux limites d'émissions [D.6].

Des essais réalisés sur des additifs de carburant diesel disponibles sur le marché qui sont utilisés dans le parc actuel de véhicules européens ont montré que les combinaisons d'additifs sont responsables des dépôts dans le matériel d'injection du carburant [D.5]. Il a été démontré que les acides gras utilisés comme additifs lubrifiants réagissent immédiatement avec les impuretés des ions métalliques dans le carburant et forment des savons métalliques. L'utilisation d'additifs lubrifiants à base d'ester s'est avérée neutre lorsqu'elle est combinée à des détergents. [D.5, D.6, D.11]. Dans l'une de ces études [D.5], les additifs lubrifiants à base d'ester se sont montrés sans effet sur le matériel d'injection du carburant lors d'un essai de véhicule sur 50 000 km.

3.4.5 Effets de la lubrification sur le matériel d'injection du carburant

Dans deux études publiées récemment [D.1, D.2], on a fait état de résultats contradictoires. Les résultats du CRC en 2009 [D.2] semblent indiquer que le taux de lubrification obtenu grâce à l'essai HFRR n'a peut-être pas une bonne corrélation avec l'usure du matériel d'injection du carburant, alors qu'une étude publiée par la SAE [D.1] a déclaré que l'essai HFRR peut être utilisé pour les véhicules modernes munis de l'injection de carburant à rampe commune.

Gray *et al.* [D.13] ont examiné les effets de la lubrification du carburant sur l'usure du matériel d'injection du carburant diesel et les taux de défaillance à l'aide de cinq méthodes d'essai différentes. Ils ont montré que les additifs peuvent améliorer la lubrification de carburants diesels ayant une lubrification médiocre pour obtenir des niveaux satisfaisants et qu'ils peuvent réduire considérablement les taux d'usure du matériel d'injection du carburant. Ils ont découvert également que l'essai HFRR peut faire la distinction entre les bons et les mauvais niveaux de lubrification des carburants, mais ils ont conclu qu'il n'est pas en mesure de déterminer précisément les caractéristiques de lubrification des carburants contenant des additifs lubrifiants.

Le CRC [D.12] a évalué le niveau de dégradation du système d'injection du carburant causé par l'usure et la défaillance de la pellicule limite, pour différents types de carburants. Bien que les essais HFRR aient pu faire la distinction entre les carburants qui contenaient des additifs lubrifiants et ceux qui n'en contenaient pas, il existait une faible corrélation entre le taux de lubrification (HFRR) et les résultats de longévité de la pompe. De plus, les pompes à rampe commune à haute pression semblaient plus sensibles à la lubrification du carburant par rapport à une pompe à injection de carburant rotative/distributrice à pistons opposés.

3.4.6 Résumé des effets de la lubrification

Aucun document établissant un lien direct entre la lubrification et les émissions des moteurs n'est disponible. La lubrification peut toucher indirectement les émissions des moteurs en

influençant le taux d'usure du matériel d'injection du carburant. L'usure du matériel d'injection du carburant réduira l'efficacité du système de contrôle du moteur, ce qui pourrait donner lieu à des paramètres de combustion qui ne seraient pas optimaux et à une augmentation des émissions du moteur [D.1].

Le carburant doit avoir au moins un niveau minimum de lubrifiante pour éviter l'usure excessive sur le matériel d'injection du carburant, qui peut détériorer l'efficacité des contrôles du moteur et, à son tour, augmenter les émissions.

Vue d'ensemble

La documentation évaluée ne permet pas de tirer des conclusions sur le lien entre la lubrifiante et les émissions des véhicules.

Il existe des preuves selon lesquelles la lubrifiante est directement liée à l'usure du matériel d'injection du carburant. L'expérience suédoise relative au carburant diesel à faible teneur en soufre a montré qu'une lubrifiante inadéquate peut entraîner une usure excessive et même une défaillance prématurée.

Néanmoins, aucune donnée n'existe concernant la quantification de l'effet de l'usure du matériel d'injection du carburant sur les émissions des moteurs. Ainsi, on n'a pas établi le niveau d'usure du matériel d'injection du carburant qui entraînera une augmentation significative des émissions.

Méthodes d'essai de la lubrifiante

Plusieurs méthodes de mesures de la lubrifiante sont acceptées au Canada. Bien que certains documents décrivent les tentatives de corrélation entre les mesures de lubrifiante existantes et l'usure, la plupart des études ont révélé une faible corrélation. Par conséquent, il n'a pas été établi clairement que les mesures de lubrifiante existantes peuvent être utilisées pour prévoir de manière fiable le taux d'usure ou l'incidence qu'elle aurait sur les émissions des moteurs.

Interaction avec les technologies automobiles

Certaines indications montrent que les pompes haute pression associées à l'injection de carburant à rampe commune sont plus sensibles aux effets de lubrifiante.

3.4.7 Lacunes dans les connaissances

Plusieurs lacunes dans la technologie et l'information sont relevées dans le tableau 6.

Tableau 6. Résumé de l'analyse des lacunes relatives à la lubrifiante

Domaine de connaissances	Y a-t-il une lacune?	Explication
Effets de la lubrifiante sur l'usure du matériel d'injection du carburant	Oui	Les tentatives de corrélation entre les mesures de lubrifiante existantes et l'usure du matériel d'injection du carburant sont contradictoires.

Effets de l'usure du matériel d'injection du carburant sur les émissions du moteur	Oui	Aucune information n'existe concernant la relation entre le degré d'usure du matériel d'injection du carburant et l'augmentation des émissions.
Méthodes d'essai de lubrification	Oui	La documentation existante indique que les mesures de lubrification disponibles ne correspondent pas entre elles et qu'elles ne correspondent pas nécessairement à l'usure du matériel d'injection du carburant. Il n'existe aucune méthodologie de mesure de la lubrification ayant une corrélation claire et prouvée entre les valeurs mesurées et l'usure du matériel d'injection du carburant.
Répercussions secondaires des additifs lubrifiants	Oui	On n'a pu trouver aucune information à propos des effets secondaires des additifs lubrifiants (c'est-à-dire les dépôts sur le matériel d'injection du carburant) sur les émissions.

4 Limites

Le présent rapport, qui doit être pris en considération dans son intégralité, est fondé uniquement sur une évaluation de la documentation existante mentionnée dans le rapport. ENVIRON a présumé que l'information évaluée est factuelle et précise et il n'a pas vérifié par une source indépendante l'exactitude ou l'exhaustivité de ladite information.

Le présent rapport a été préparé par ENVIRON et il ne représente pas nécessairement l'opinion de Santé Canada ou d'Environnement Canada.

Page intentionnellement laissée en blanc

Annexe A : Essence – Analyse des effets du soufre dans le carburant

Numéro de référence de l'étude – A.1 : Alliance of Automobile Manufacturers. 2009.
« National Clean Gasoline: An Investigation of Costs and Benefits », Alliance of Automobile
Manufacturers, 1401 Eye St., N.W., Washington, DC 20005.

VUE D'ENSEMBLE

Le rapport de l'Alliance of Automobile inclut des données provenant de deux études
relatives aux coûts et aux avantages d'une essence plus propre. La première étude a
examiné les coûts reliés au raffinage, tandis que la deuxième a réalisé des recherches
sur les avantages d'une essence plus propre sur le plan des émissions.

PROGRAMME D'ESSAI

Cette étude était limitée à l'évaluation du modèle de prévision de l'EPA des États-Unis,
du modèle de prévision californien du CARB, ainsi que des résultats d'une étude
réalisée en appui au règlement de l'EPA des États-Unis relatif aux toxiques
atmosphériques émis par des sources mobiles (Mobile Source Air Toxics). Aucun
programme d'essai n'a été exécuté dans le cadre de cette étude.

RÉSULTATS PERTINENTS

La sensibilité des HT et des NO_x au soufre du carburant a été présentée pour les
groupes de véhicules des catégories Tech 3, Tech 4 et Tech 5 du modèle de prévision
du CARB avec les résultats d'une étude réalisée sur des véhicules du Niveau 2 en appui
au règlement de l'EPA des États-Unis relatif aux toxiques atmosphériques émis par des
sources mobiles (Mobile Source Air Toxics). Les résultats ont montré que dans la
gamme de teneurs en soufre du carburant allant de 0 à 50 ppm, les émissions d'HT et
de NO_x diminuaient avec des niveaux de soufre à la baisse dans le carburant pour tous
les groupes de véhicules du modèle de prévision du CARB ainsi que pour les véhicules
du Niveau 2. Par ailleurs, les résultats ont montré que plus le groupe de véhicules était
récent, plus il était sensible au soufre du carburant.

FORCES/FAIBLESSES/LACUNES EN MATIÈRE DE DONNÉES

Les effets du soufre du carburant présentés ne proviennent que de deux sources, à
savoir le modèle de prévision californien et l'étude conjointe de l'EPA et de l'industrie
automobile relative aux véhicules du Niveau 2.
Les résultats provenant d'autres études sur des essais de véhicules n'ont pas été inclus.

REMARQUES

La réglementation portant sur le Niveau 2 et les faibles quantités de soufre mise en
œuvre par l'EPA en 2004 limitait les niveaux de soufre dans l'essence à un maximum de
80 ppm et elle réduisait les niveaux de soufre moyens dans l'essence à 30 ppm et
moins.

Numéro de référence de l'étude – A.2 : Alliance of Automobile Manufacturers. 2009.
« Alliance of Automobile Manufacturers Comments on Clean Air Act Waiver Application to
Increase the Allowable Ethanol Content of Gasoline to 15 Percent », présenté à l'Environmental
Protection Agency des États-Unis (20 juillet).

VUE D'ENSEMBLE

Cette étude ne contient aucune information pertinente aux effets du soufre du carburant.

Numéro de référence de l'étude – A.3 : Row, J., et A. Doukas. 2008. « Fuel Quality in Canada Impact on Tailpipe Emissions », préparé par le Pembina Institute, Drayton Valley, Alberta, Canada T7A 1S7; préparé pour l'Association des fabricants internationaux d'automobiles du Canada.

VUE D'ENSEMBLE

Cette étude examine les niveaux de soufre et de détergence dans l'essence ainsi que les niveaux de cétane et la lubrifiante dans le diesel.

Elle compare les normes canadiennes sur les carburants à celles d'autres autorités en ce qui concerne les paramètres en question et passe en revue les résultats de certains essais.

PROGRAMME D'ESSAI

La présente étude se limitait à une analyse documentaire. Aucun programme d'essai n'a été exécuté dans le cadre de cette étude.

RÉSULTATS PERTINENTS

L'Association of Emissions Control by Catalyst (AECC) a mené une évaluation de plusieurs études, sur la base de laquelle elle a conclu qu'une réduction importante des HC, du CO et des NO_x découlait de la diminution de la teneur en soufre du carburant. Les résultats graphiques tirés d'un atelier de formation des « Clean Air Initiatives for Asian Cities » (initiatives d'assainissement de l'air pour les villes d'Asie) montraient des réductions d'environ 3 %, 7 % et 12 % des émissions d'HCNM, de CO et de NO_x, respectivement.

FORCES/FAIBLESSES/LACUNES EN MATIÈRE DE DONNÉES

La présentation des effets du soufre du carburant s'est limitée à une présentation rapide des résultats de deux études.

REMARQUES

Les résultats sont fondés sur une analyse limitée de la documentation.

Numéro de référence de l'étude – A.4 : Shen, Y. 2008. Effects of gasoline fuel properties on engine performance. *SAE Paper* 2008-01-0628.

VUE D'ENSEMBLE

Cette étude a évalué les répercussions de la teneur en soufre du carburant (et d'autres paramètres de l'essence qui ne sont pas abordés ici) sur les émissions des moteurs homologués par la norme EURO IV.

Trois moteurs ont été mis au banc d'essai, tandis qu'un véhicule a été soumis à des essais pour confirmer les résultats des essais au banc des moteurs.

PROGRAMME D'ESSAI

Carburants :

On a utilisé des carburants ayant une teneur en soufre de 20 ppm, 50 ppm, 76 ppm, 150 ppm et 320 ppm pour évaluer les effets du soufre du carburant.

Véhicules/moteurs :

Deux moteurs ont été soumis à des essais lors de cette étude :

- moteur EQ491i homologué par la norme EURO III muni d'un convertisseur catalytique à trois voies (TWC) (pas utilisé lors des essais relatifs à la teneur en soufre du carburant);
- moteur Touran 2.0 homologué par la norme EURO IV muni d'un convertisseur catalytique à trois voies (TWC).

Un véhicule a été soumis à des essais lors de cette étude (pas utilisé lors des essais relatifs à la teneur en soufre du carburant) :

- véhicule de l'année de modèle 2006 avec injection multipoint (IMP) équipé d'un moteur MR20DE homologué par la norme EURO IV et muni d'un convertisseur catalytique à trois voies (TWC).

Cycles d'essai :

Les essais de véhicules ont été effectués à l'aide du cycle d'essai chinois de contrôle des émissions en quatre étapes.

On a mesuré les effets du soufre du carburant sur les émissions avec charge partielle.

Les effets du soufre du carburant sur la longévité des catalyseurs ont été évalués avec une procédure rapide de vieillissement du catalyseur.

Trois essais au moins ont été effectués pour chaque type de carburant.

RÉSULTATS PERTINENTS

Des analyses des incertitudes liées aux résultats des émissions ont été présentées et il a été mentionné que l'écart entre les essais était inférieur à 2 ou 3 %.

La teneur en soufre n'avait aucun effet sur le rendement de conversion des HT, du CO ou des NO_x du catalyseur non utilisé pour le moteur testé (EURO IV) parmi la gamme de teneurs en soufre du carburant ayant été évaluée.

Pour la teneur en soufre du carburant incluse dans cet essai (50 ppm et 150 ppm), on a associé la teneur plus élevée en soufre du carburant à des augmentations des températures d'allumage plus élevées et à des rendements de conversion inférieurs après le vieillissement du catalyseur.

Effets technologiques : aucun, excepté sur le catalyseur.

FORCES/FAIBLESSES/LACUNES EN MATIÈRE DE DONNÉES

On n'a pas eu recours à des essais de véhicules pour confirmer les essais au banc du moteur relativement aux effets du soufre du carburant.

Les résultats ne comprenaient pas l'analyse du taux d'émission.

REMARQUES

La norme d'émission européenne EURO IV a été mise en œuvre en janvier 2005.

La norme d'émission européenne EURO III a été mise en œuvre en janvier 2000.

Numéro de référence de l'étude – A.5 : CRC. 2008. « Review of Prior Studies of Fuel Effects on Vehicle Emissions », préparé par M. Albert M. Hochhauser, 12 Celler Rd., Edison, NJ 8817; préparé pour le Coordinating Research Council, CRC Project E-84.

VUE D'ENSEMBLE

Cette étude a mené un examen exhaustif des publications relatives aux effets des propriétés des carburants sur les émissions, notamment le soufre contenu dans l'essence.

PROGRAMME D'ESSAI

La présente étude se limitait à une analyse documentaire. Aucun programme d'essai n'a été exécuté dans le cadre de cette étude.

RÉSULTATS PERTINENTS

Aux niveaux observés dans l'essence moderne, le soufre ne contribue pas aux « caractéristiques de performance du véhicule », mais il a des répercussions sur le convertisseur catalytique à trois voies et d'autres composantes des systèmes de contrôle des émissions.

D'après l'examen des études portant sur le carburant à forte et à faible teneur en soufre et sur le carburant sans soufre, il a été conclu que la diminution du soufre dans l'essence réduira les émissions d'HC, de CO et de NO_x. De plus, l'étude conclut que les réductions des émissions d'HC, de CO et de NO_x « semblent linéaires » en fonction de la teneur en soufre du carburant, surtout à une teneur en soufre inférieure à 150 ppm. La réversibilité était totale dans des conditions de conduite modérées pour les véhicules antérieurs aux années 1990, mais il fallait un fonctionnement « extrême » pour atteindre les conditions propices requises pour obtenir une réversibilité totale pour les véhicules plus récents.

Les niveaux d'émissions de matières particulaires sont vraisemblablement touchés par la teneur en soufre, mais les émissions de particules issues de véhicules plus récents sont trop faibles pour être détectées par les instruments utilisés actuellement pour mesurer les émissions.

FORCES/FAIBLESSES/LACUNES EN MATIÈRE DE DONNÉES

Les conclusions synthétisées ne distinguaient pas les systèmes de convertisseurs catalytiques à trois voies des catalyseurs à faible production de NO_x.

REMARQUES

Une analyse exhaustive de la documentation existante concernant les propriétés du soufre de l'essence sur l'effet des émissions.

Numéro de référence de l'étude – A.6 : EPA. 2007. « Regulatory Impact Analysis: Control of Hazardous Air Pollutants from Mobile Sources », United States Environmental Protection Agency. EPA420-R-07-002.

VUE D'ENSEMBLE

Ce document a été préparé par l'EPA pour étayer le règlement relatif aux toxiques atmosphériques émis par des sources mobiles (Mobile Source Air Toxics – MSAT) et il comprend l'analyse d'un programme d'essai visant l'évaluation des effets du carburant pour le règlement MSAT.

PROGRAMME D'ESSAI

Carburants :

Cinq carburants ont été inclus dans le programme. On a évalué des carburants ayant une teneur en soufre de 6 ppm et de 32 ppm.

Véhicules/moteurs :

On a soumis à des essais neuf véhicules du Niveau 2 d'une année de modèle comprise entre 2004 et 2007 qui répondaient aux normes de la Série 5 ou 8.

On a équipé les véhicules d'un catalyseur vieilli artificiellement à 120 000 milles.

Méthode d'essai :

FTP-75 (procédure d'essai fédérale)

On a purgé le soufre avant de mener des essais sur un carburant à faible teneur en soufre, au besoin, à l'aide du cycle à haute vitesse et à charge élevée de l'EPEFE (programme européen pour les émissions, les carburants et les technologies des moteurs).

On effectué la charge de soufre avant de mener des essais sur un carburant à forte teneur en soufre au besoin par une accumulation de millage à 35 mi/h pendant trois heures.

Les véhicules ont été soumis à trois essais pour chacun des cinq carburants.

RÉSULTATS PERTINENTS

Avec un degré de certitude de 90 %, on a relevé des réductions statistiquement significatives des émissions pour les HT, le CH₄, le CO et les NO_x, mais pas pour les HCNM.

Le changement de pourcentage des émissions attribuable à l'utilisation d'un carburant ayant une teneur en soufre de 32 ppm relativement à un carburant ayant une teneur en soufre de 6 ppm était de 12,07, de 47,62, de 20,23 et de 48,44 pour les HT, le CH₄, le CO et les NO_x, respectivement.

Les essais des émissions relatives aux substances toxiques ont indiqué, avec un degré de certitude de 90 %, une diminution importante des émissions de formaldéhyde, soit

16,5 %, lorsque la teneur en soufre du carburant était réduite et passait de 32 ppm à 6 ppm. Aucune différence importante n'a été relevée avec un degré de certitude de 90 % pour les autres substances toxiques pour lesquelles des analyses des émissions ont été effectuées (1,3-butadiène, acétaldéhyde, benzène, éthylbenzène, n-hexane, styrène, toluène, m-/p-xylène, o-xylène).

FORCES/FAIBLESSES/LACUNES EN MATIÈRE DE DONNÉES

Essais de véhicules effectués sur des véhicules récents satisfaisant aux normes rigoureuses du Niveau 2.

On a présenté des analyses des incertitudes statistiques.

Les essais n'ont pas pris en considération les effets à long terme de l'exposition du catalyseur à un carburant ayant une forte teneur en soufre.

REMARQUES

Les normes d'émission du Niveau 2 sont structurées en « séries d'homologation » (huit niveaux d'homologation permanents et trois niveaux temporaires) ayant une rigueur différente.

Numéro de référence de l'étude – A.7 : Ntziachristos, L., A. Mamakos, Z. Samaras, U. Mathis, M. Mohr, N. Thompson, R. Stradling, L. Forti et C. Servs. 2004. Overview of the European "Particulates" Project on the characterization of exhaust particulate emissions from road vehicles: Results for light-duty vehicles. *SAE Paper* 2004-01-1985.

VUE D'ENSEMBLE

Cette étude a évalué les émissions de particules pour divers types de véhicules et pour différents cycles de conduite et teneurs en soufre du carburant.

PROGRAMME D'ESSAI

Carburants :

Les carburants étudiés avaient une teneur en soufre de 6 ppm, 45 ppm et 143 ppm.

Véhicules/moteurs :

Vingt-deux véhicules ont été soumis à cette étude : parmi ceux-ci on comptait notamment six moteurs conventionnels à allumage commandé et cinq moteurs à injection directe et à allumage commandé, dont deux fonctionnaient en mode stœchiométrique et trois en mode stratifié; les véhicules restants avaient des moteurs diesels.

Méthode d'essai :

On a utilisé le cycle de conduite NEDC 2000 avec des cycles aux conditions de régime permanent et des cycles aux conditions de conduite sur route mis au point pour l'étude ARTEMIS (Assessment and Reliability of Transport Emission Models and Inventory Systems).

RÉSULTATS PERTINENTS

Les émissions de particules pour les véhicules ayant des moteurs conventionnels à allumage commandé montraient une réaction faible au soufre du carburant.
Les véhicules ayant des moteurs à injection directe et à allumage commandé à charge stratifiée ne montraient aucun effet uniforme en matière de soufre du carburant.

FORCES/FAIBLESSES/LACUNES EN MATIÈRE DE DONNÉES

On présente une analyse des incertitudes liées aux moyennes des mesures.
On a discuté de la valeur significative des résultats de l'étude, mais on n'a présenté aucune analyse statistique.

REMARQUES

Aucune

Numéro de référence de l'étude – A.8 : Stradling, R., N., R. Thompson, D. Bazzani, S.D. Rickeard, P.M. Bjordal, P. Martinez, P. Schmelzle, G. Scorletti, P. Wolff et J. Zemroch. 2004. Fuel effects on regulated emissions from modern gasoline vehicles. *SAE Paper* 2004-01-1886.

VUE D'ENSEMBLE

Cette étude a évalué l'incidence de la qualité du carburant sur les émissions de gaz d'échappement provenant de technologies évoluées des véhicules à essence existantes sur le marché en 2002.

Les technologies automobiles comprises dans l'étude étaient celles qui, en 2004, semblaient susceptibles de devenir « importantes pour les futurs parcs automobiles européens à court terme ».

PROGRAMME D'ESSAI

Carburants :

On a évalué des carburants ayant une teneur en soufre de 4 ppm, 9 ppm, 49 ppm et 148 ppm.

Véhicules/moteurs :

Quatre véhicules ont été soumis à des essais lors de cette étude :

- un véhicule à injection directe à charge stratifiée homologué par la norme EURO III muni d'un convertisseur catalytique à trois voies (TWC) et d'un piège à NO_x;
- un véhicule à injection directe à charge stratifiée homologué par la norme EURO IV muni d'un convertisseur catalytique à trois voies (TWC) et d'un piège à NO_x;
- un véhicule stœchiométrique à injection directe homologué par la norme EURO III avec un convertisseur catalytique à trois voies;
- un véhicule à injection multipoint (IMP) avec une activation de soupape variable homologué par la norme EURO IV muni d'un convertisseur catalytique à trois voies.

Tous les véhicules d'essai avaient parcouru au moins 8 000 km, étaient en bon état, et avant les essais de l'étude, ils avaient parcouru les 500 km précédents avec un carburant à faible teneur en soufre (moins de 50 ppm) et un lubrifiant courant.

Méthode d'essai :

Procédure d'essai NEDC (New European Drive Cycle; nouveau cycle européen de conduite).

Pendant les essais d'évaluation des effets du soufre du carburant, chaque véhicule a fait l'objet d'essais avec chaque type de carburant au moins quatre fois, pour un total d'au moins 16 essais.

RÉSULTATS PERTINENTS

Au cours de la procédure d'essai NEDC, on n'a relevé aucun effet du soufre du carburant statistiquement significatif à court terme sur les émissions d'HC, de CO ou de NO_x et aucune sensibilité accrue des émissions n'a été décelée avec des carburants ayant une plus faible teneur en soufre.

Pour la partie du NEDC au cours de laquelle il n'y aurait aucun effet lié au démarrage à froid lorsque le catalyseur serait pleinement opérationnel, les résultats suivants ont été notés :

- Les émissions étaient faibles par rapport aux normes d'émission pour toutes les teneurs en soufre évaluées dans les carburants.
- Les résultats suivants ont été notés à l'égard du soufre du carburant (signification statistique évaluée à $P < 5\%$) :
 - NO_x : Aucune sensibilité statistiquement significative à la teneur en soufre du carburant.
 - Hydrocarbures (HC) : Les émissions étaient sensibles à la teneur en soufre du carburant pour les voitures n^{os} 3 et 4, qui ont montré une augmentation de 0,00158 et 0,00370 g/km par augmentation de ppm dans la teneur en soufre du carburant, respectivement.
 - Monoxyde de carbone (CO) : Les émissions étaient sensibles à la teneur en soufre du carburant, en montrant des augmentations des émissions avec les augmentations de la teneur en soufre du carburant pour les voitures n^{os} 1 et 2, soit respectivement une augmentation de 0,0323 et de 0,0818 g/km par augmentation de ppm dans la teneur en soufre du carburant. La voiture n^o 3 a montré une diminution des émissions de 0,0471 g/km par ppm dans la teneur en soufre du carburant.

FORCES/FAIBLESSES/LACUNES EN MATIÈRE DE DONNÉES

Essais de véhicules effectués sur des véhicules récents satisfaisant aux normes EURO III et IV.

On a évalué les effets à court terme du soufre du carburant sur les émissions et on a présenté des analyses des incertitudes.

On n'a pas évalué la longévité du catalyseur à long terme et les effets à long terme de l'utilisation de carburants ayant différentes teneurs en soufre.

REMARQUES

Aucune

Numéro de référence de l'étude – A.9 : Durbin, T.D., J.W. Miller, J.T. Pisano, T. Younglove, C.G. Sauer, S.H. Rhee, T. Huai et G.I. Mackay. 2003. « The Effect of Fuel Sulphur on NH₃ and Other Emissions from 2000-2001 Model Year Vehicle », CRC Project No. E-60: Coordinating Research Council (mai).

VUE D'ENSEMBLE

Cette étude a évalué l'incidence de la teneur en soufre du carburant sur les émissions de NH₃, de N₂O, d'HC, de CO et de NO_x.

PROGRAMME D'ESSAI

Carburants :

On a évalué les carburants ayant une teneur en soufre de 5 ppm, 30 ppm et 150 ppm.

Véhicules/moteurs :

Douze véhicules homologués par les exigences de la Californie (4 VPP, 6 VTPP et 2 SULEV) et deux véhicules homologués par la norme d'émission EURO III ont été soumis à des essais. Le parc a été conçu pour représenter certains des véhicules à technologie de pointe sur le marché au moment de l'étude (vers 2001).

Les véhicules ont été recrutés avec des millages compris entre 5 000 et 30 000 milles. Tous les véhicules ont été soumis à des essais avec le catalyseur reçu tel quel et un catalyseur vieilli au banc.

Les véhicules ont été traités avant les essais en enlevant le soufre résiduel du catalyseur, en changeant l'huile des véhicules et en effectuant un cycle de remplissage et vidange avec le carburant à utiliser au cours des essais.

Méthode d'essai :

Tous les véhicules ont été soumis aux cycles FTP-75 (procédure d'essai fédérale) et US06.

Les véhicules européens ont été soumis à l'essai NEDC (New European Driving Cycle). Les véhicules ont été soumis deux fois à chaque cycle de conduite et type de carburant, sauf si les résultats des émissions différaient des chiffres suivants, auquel cas l'essai était répété une troisième fois : HC 33 %, NO_x 29 % et CO 70 %.

RÉSULTATS PERTINENTS

Hydrocarbures non méthaniques (HCNM) : Le cycle FTP montrait que les émissions moyennes associées à une teneur en soufre de 30 ppm étaient inférieures à 150 ppm (chiffre statistiquement significatif), sans aucune différence significative pour une teneur en soufre du carburant de 5 ppm par rapport à une teneur en soufre de 30 ou de 150 ppm. Les émissions moyennes du cycle US06 ont montré des diminutions des émissions statistiquement significatives liées à la diminution de la teneur en soufre du carburant pour toutes les teneurs en soufre du carburant.

Monoxyde de carbone (CO) : Ni les émissions moyennes du cycle FTP, ni celles du cycle US06 n'ont montré de différences significatives, quelle que soit la teneur en soufre du carburant.

Oxydes d'azote (NO_x) : Les émissions du cycle FTP représentaient des émissions moyennes bien inférieures pour un carburant ayant une teneur en soufre de 5 et 30 ppm par rapport à un carburant ayant une teneur en soufre de 150 ppm, sans aucune différence significative entre les émissions moyennes d'un carburant ayant une teneur en soufre de 30 ppm et 5 ppm. Les émissions du cycle US06 ont montré des diminutions significatives des émissions moyennes liées à la teneur en soufre du carburant pour tous les carburants testés.

FORCES/FAIBLESSES/LACUNES EN MATIÈRE DE DONNÉES

On a évalué les effets à court terme du soufre du carburant sur les émissions et on a présenté des analyses des incertitudes.

Essais de véhicules effectués sur des véhicules récents satisfaisant aux normes relatives aux VPP, aux VTPP et aux SULEV.

On n'a pas évalué la réversibilité des effets du soufre du carburant.

On n'a pas évalué les effets du soufre du carburant au cours de l'accumulation de millage à long terme.

REMARQUES

Aucune

Numéro de référence de l'étude – A.10 : Saitoh, K., et M. Hamasaki. 2003. Effects of sulphur, aromatics, T50, T90 and MTBE on mass exhaust emission from vehicles with advanced technology – JCAP Gasoline WG STEP II Report. *SAE Paper* 2003-01-1905.

VUE D'ENSEMBLE

Cette étude a évalué les répercussions de la teneur en soufre du carburant sur les émissions de gaz d'échappement de quatre véhicules prototypes destinés à respecter les cibles d'émissions d'un sixième du niveau de la réglementation japonaise de 1978.

PROGRAMME D'ESSAI

Carburants :

On a évalué les carburants ayant une teneur en soufre de 2 ppm, 22 ppm et 86 ppm.

Véhicules/moteurs :

Quatre véhicules prototypes ont été soumis à des essais au cours de cette étude; ils étaient destinés à satisfaire à un sixième (1/6) de la réglementation japonaise de 1978 :

- trois moteurs à injection directe et à allumage commandé munis de catalyseurs de réduction de stockage de NO_x;
- un moteur à injection multipoint muni d'un convertisseur catalytique à trois voies.

Méthode d'essai :

Les émissions de gaz d'échappement ont été mesurées à l'aide du cycle de conduite japonais 10/15 pour les opérations à chaud et du cycle de conduite japonais 11 pour les opérations à froid.

On a réalisé des essais sur les émissions d'HC, de CO et de NO_x à zéro, 15 000 et 30 000 kilomètres.

Des essais d'accumulation de millage ont été réalisés sur chaque véhicule en utilisant trois carburants ayant une teneur en soufre distincte.

On suppose, sans toutefois l'énoncer explicitement, que pour chaque véhicule prototype, trois véhicules ont fait l'objet d'essais en utilisant chacune des teneurs en soufre du carburant.

RÉSULTATS PERTINENTS

On a calculé les résultats des essais liés aux émissions à zéro, 15 000 et 30 000 kilomètres pour chaque véhicule et combinaison de type de soufre dans le carburant, les moyennes arithmétiques et des intervalles de confiance de 95 % liés aux moyennes, afin d'évaluer l'influence sur les émissions de la teneur en soufre du carburant et l'accumulation de millage.

Avant l'accumulation de millage, les effets du soufre du carburant sur les émissions d'HC, de CO et de NO_x étaient minimes et les émissions d'HC, de CO et de NO_x atteignaient la cible d'un sixième de la limite de la réglementation japonaise de 1978 pour tous les véhicules et types de carburants.

Après l'accumulation de millage, le véhicule ayant un moteur à injection multipoint (IMP) respectait les cibles liées aux opérations à froid et à chaud, mais aucun des véhicules ayant un moteur à injection directe et à allumage commandé ne respectait la cible des opérations à chaud de 86 ppm; seul un véhicule respectait la cible à 2 ppm et à 22 ppm, et pour les opérations à froid, ils respectaient toutes les cibles de CO et de NO_x, mais deux véhicules ne respectaient pas la cible à 86 ppm et un véhicule ne la respectait pas à 22 ppm.

Avec un degré de confiance de 95 %, les tendances suivantes ont été relevées par rapport à la teneur en soufre du carburant :

- Émissions de NO_x provenant de moteurs à injection directe et à allumage commandé : Pour les opérations à chaud, on a observé un effet notable pour un des trois véhicules de 86 à 22 ppm, pour tous les véhicules de 86 à 2 ppm, et pour deux véhicules de 22 à 2 ppm. Pour les opérations à froid, on a observé des diminutions significatives pour deux des trois véhicules de 86 à 22 ppm et de 22 à 2 ppm; tous les véhicules montraient des différences importantes de 86 à 2 ppm.
- Émissions de NO_x provenant de moteurs à injection multipoint : Pour les opérations à chaud, on n'a observé aucun effet notable. Pour les opérations à froid, on a observé des diminutions importantes de 86 à 22 ppm et de 86 à 2 ppm, mais pas de 22 à 2 ppm.
- Émissions d'HC provenant de moteurs à injection directe et à allumage commandé : Pour les opérations à chaud, on a observé un effet notable pour tous les véhicules de 86 à 22 ppm et pour deux des trois véhicules de 86 à 2 ppm; on n'a observé d'effet notable pour aucun véhicule de 22 à 2 ppm. Pour les opérations à froid, on a observé des diminutions significatives pour un des trois véhicules de 86 à 22 ppm et pour un des trois véhicules de 86 à 2 ppm; un véhicule montrait des différences significatives de 22 à 2 ppm.
- Émissions d'hydrocarbures (HC) provenant de moteurs à injection multipoint : Pour les opérations à chaud, on a observé des diminutions importantes de 86 à 22 ppm et de 86 à 2 ppm, mais pas de 22 à 2 ppm. Pour les opérations à froid, on n'a relevé aucun effet notable du soufre du carburant.

- Émissions de CO provenant de moteurs à injection directe et à allumage commandé : Pour les opérations à chaud, on a observé un effet notable pour un des trois véhicules de 86 à 22 ppm, de 86 à 2 ppm et de 22 à 2 ppm. Pour les opérations à froid, on a observé des diminutions significatives pour deux des trois véhicules de 86 à 22 ppm et pour un véhicule de 22 à 2 ppm; tous les véhicules montraient des différences importantes de 86 à 2 ppm.
- Émissions de CO provenant de moteurs à injection multipoint : On n'a relevé aucun effet significatif du soufre du carburant sur les émissions pour les opérations à chaud ou à froid.

Le véhicule muni d'un moteur à injection multipoint était généralement moins sensible à la teneur en soufre du carburant que les véhicules munis de moteurs à injection directe et à allumage commandé, bien que les véhicules munis de moteurs à injection directe et à allumage commandé aient montré des différences de sensibilité par véhicule. En général, les émissions de gaz d'échappement diminuaient avec une diminution de la teneur en soufre.

FORCES/FAIBLESSES/LACUNES EN MATIÈRE DE DONNÉES

On a présenté les analyses statistiquement significatives.

Les rapports numériques entre la teneur en soufre du carburant et les émissions n'ont pas été établis ou présentés.

REMARQUES

Aucune

Numéro de référence de l'étude – A.11 : Mohr, M.U.L., et G. Margaria. 2003. ACEA program on the emissions of fine particulates from passenger cars (2) - Part 2: Effect of sampling conditions and fuel sulphur content on the particle emission. *SAE Paper* 2003-01-1890.

VUE D'ENSEMBLE

Cette étude a évalué l'influence de la teneur en soufre du carburant sur les émissions de gaz d'échappement provenant d'un véhicule évolué homologué par la norme EURO III. Elle a évalué les méthodes d'essai des émissions de particules fines.

PROGRAMME D'ESSAI

Carburants :

Les carburants étudiés avaient une teneur en soufre inférieure à 10 ppm et de 175 ppm.

Véhicules/moteurs :

Un véhicule à essence équipé d'un moteur à injection multipoint muni d'un convertisseur catalytique à trois voies homologué par la norme EURO III.

Méthode d'essai :

Le cycle de conduite NEDC 2000 a été utilisé avec trois essais de conduite dans des conditions de régime permanent : 50 km/h, 100 km/h et 120 km/h.

On a refait deux fois l'essai NEDC 2000 et les essais dans des conditions de régime permanent n'ont été effectués qu'une fois pour quatre techniques d'échantillonnage différentes pour chaque teneur en soufre du carburant.

RÉSULTATS PERTINENTS

Les moyennes des mesures et les fourchettes sont représentées graphiquement dans le texte. Toutefois, les fourchettes présentées n'ont pas été définies.

On a discuté de la valeur significative des résultats de l'étude, en faisant intervenir l'application de méthodes statistiques pour accéder aux incertitudes; néanmoins, les outils statistiques utilisés pour évaluer la valeur significative n'ont pas été définis.

Les résultats des mesures n'ont pas permis aux auteurs de tirer des conclusions fiables, même si on a mesuré un nombre beaucoup plus grand de particules pour certaines configurations du carburant à plus forte teneur en soufre. Cette augmentation du nombre de particules au cours de l'utilisation d'un carburant à plus forte teneur en soufre était due à la contribution de matière non solide, dont il s'est avéré qu'une fraction importante était constituée de sulfates.

FORCES/FAIBLESSES/LACUNES EN MATIÈRE DE DONNÉES

Aucune analyse des incertitudes n'a été définie.

Les chiffres de la variation des émissions en fonction de la teneur en soufre du carburant n'ont pas été présentés.

REMARQUES

Aucune

Numéro de référence de l'étude – A.12 : N. Kono, M. Hirose, K. Akasofu et H. Takeda. 2003. Gasoline sulphur effect on emissions from vehicles equipped with lean NO_x catalyst under mileage accumulation tests. *SAE Paper* 2003-01-3077.

VUE D'ENSEMBLE

Cette étude a évalué les répercussions sur les émissions de gaz d'échappement de la teneur en soufre du carburant pour les véhicules à essence munis d'un catalyseur à faible production de NO_x.

PROGRAMME D'ESSAI

Carburants :

Les carburants ayant une teneur en soufre de 3 ppm, 30 ppm, 50 ppm et 80 ppm ont été évalués sur un véhicule de référence plus ancien, tandis que les carburants ayant une teneur en soufre de 30 ppm et 50 ppm ont été évalués sur des véhicules d'une année de modèle vers l'année 2000.

Véhicules/moteurs :

Quatre véhicules ont été soumis à des essais lors de cette étude :

- un véhicule de l'année de modèle 2000 équipé d'un moteur à injection directe et à charge stratifiée, muni d'un convertisseur catalytique monobloc à trois voies et d'un catalyseur sous le plancher à faible production de NO_x;
- un véhicule de l'année de modèle 2000 équipé d'un moteur à injection dans la lumière d'admission et à charge stratifiée, muni d'un convertisseur catalytique monobloc à trois voies et d'un catalyseur sous le plancher à faible production de NO_x;
- un véhicule de l'année de modèle 2001 équipé d'un moteur à injection directe et à charge stratifiée et muni d'un convertisseur catalytique monobloc à trois voies et d'un convertisseur catalytique à trois voies sous le plancher à faible production de NO_x;
- un véhicule de référence (plus ancien) équipé d'un moteur à injection directe et à charge stratifiée, d'un convertisseur catalytique monobloc à trois voies et d'un catalyseur sous le plancher à faible production de NO_x.

On suppose, sans toutefois le mentionner explicitement dans le document, que les véhicules étaient tous neufs au début de l'étude.

Chaque véhicule a accumulé 10 000 kilomètres pendant la durée de l'étude; des essais étaient réalisés périodiquement sur les émissions.

Méthode d'essai :

Le millage s'est accumulé avec le cycle de conduite japonais 11, qui est conforme aux directives gouvernementales japonaises relatives à l'évaluation de la longévité.

Les essais sur les émissions ont été effectués à l'aide du cycle d'essai japonais 10/15.

Les essais d'accumulation de millage ont été réalisés avec quatre carburants différents pour le véhicule de référence plus ancien (n° 4) et deux carburants différents pour les véhicules des années de modèle vers l'année 2000 (n^{os} 1, 2 et 3).

On émet les suppositions suivantes, sans toutefois les mentionner explicitement :

- On a réalisé des essais d'accumulation de millage sur quatre véhicules de référence (n° 4) pour chacun des quatre carburants ayant une teneur en soufre différente.
- On a réalisé des essais d'accumulation de millage sur deux de chaque véhicule de l'année de modèle vers l'année 2000 (n^{os} 1, 2 et 3).

RÉSULTATS PERTINENTS

Les émissions ont été présentées sous la forme d'un graphique en fonction du véhicule et de la teneur en soufre du carburant dans les limites de l'accumulation de millage.

NO_x : Le véhicule de référence plus ancien (n° 4) a montré des augmentations des émissions en fonction de la teneur en soufre du carburant avec des émissions plus élevées à de plus fortes teneurs en soufre. Les taux d'émissions de NO_x pour les véhicules n^{os} 1, 2 et 3 ont également montré des augmentations des émissions avec une augmentation de la teneur en soufre de 30 à 50, mais le taux d'augmentation des émissions à l'égard de la teneur en soufre du carburant était moindre et les niveaux d'émissions absolus étaient faibles par rapport au véhicule de référence plus ancien.

HT : Le véhicule de référence plus ancien a montré des diminutions des émissions en fonction de la teneur en soufre du carburant et on n'a relevé aucune dégradation perceptible. Par ailleurs, les véhicules n^{os} 1, 2 et 3 ne présentaient aucune dégradation

perceptible et on n'a relevé aucune tendance perceptible à l'égard du soufre du carburant.

CO : Le véhicule de référence plus ancien a montré une brusque dégradation après avoir atteint certains millages pour tous les carburants d'essai et les augmentations des émissions étaient plus importantes pour les carburants ayant une plus forte teneur en soufre. Les véhicules n^{os} 1, 2 et 3 n'ont montré aucun effet du soufre du carburant sur les émissions et la dégradation était minime.

Les résultats montrent le potentiel des véhicules plus récents en matière de gestion d'une teneur en soufre du carburant de 50 ppm avec davantage de résilience en conséquence des nouvelles propriétés du catalyseur à faible production de NO_x ainsi que des techniques de contrôle du moteur pour l'élimination du soufre par le catalyseur.

FORCES/FAIBLESSES/LACUNES EN MATIÈRE DE DONNÉES

On n'a présenté aucune analyse statistique rigoureuse des émissions à l'égard de la teneur en soufre du carburant.

Certains aspects de la méthodologie de l'étude sont peu clairs : les véhicules utilisés lors de l'étude étaient-ils neufs, par quelle norme chaque véhicule avait-il été homologué?

L'analyse numérique des effets du soufre du carburant sur les émissions fait défaut.

Les effets de la teneur en soufre du carburant sur les catalyseurs à faible production de NO_x d'un véhicule d'une année de modèle vers l'année 2000 étaient limités à 30 ppm et à 50 ppm.

REMARQUES

Le cycle d'essai japonais 10/15 est un cycle de conduite urbaine pour l'homologation des émissions et la détermination de l'économie de carburant des véhicules légers.

Numéro de référence de l'étude – A.13 : CE. 2001. « The Costs and Benefits of Lowering the Sulphur Content of Petrol & Diesel to less than 10 ppm », Commission européenne, DG Environnement, Division du développement durable et Unité des évaluations relatives aux émissions et au bruit.

VUE D'ENSEMBLE

Ce rapport examinait les effets d'une transition vers des carburants sans soufre et les frais y afférents, ainsi que les effets sur les émissions de CO₂ et d'autres polluants.

Dans le contexte de cette analyse, le rapport a évalué les effets du soufre du carburant sur les émissions des véhicules en matière d'HC, de NO_x et de MP.

PROGRAMME D'ESSAI

La présente étude se limitait à une analyse documentaire. Aucun programme d'essai n'a été exécuté dans le cadre de cette étude.

RÉSULTATS PERTINENTS

D'après l'évaluation des preuves soumises, les réductions d'émissions suivantes ont été estimées par une norme d'homologation après être passé d'une essence ayant une teneur en soufre de 50 ppm à une essence ayant une teneur en soufre de 10 ppm.

- Voitures et camionnettes EURO IV : effet de 0 % pour les NO_x, les HC et les MP. Le rapport souligne le potentiel des effets du soufre du carburant sur les véhicules EURO IV, mais il suppose prudemment des effets inexistantes.
- Voitures et camionnettes EURO I, II et III : effet de 10 %, 10 % et 0 % pour les NO_x, les HC et les MP.

FORCES/FAIBLESSES/LACUNES EN MATIÈRE DE DONNÉES

Cette étude ne comportait pas de programme d'essai et, par le fait même, ne contient aucun résultat d'essais.

REMARQUES

Il convient d'évaluer les effets du soufre du carburant des véhicules conformes aux normes EURO I, II et III à titre d'estimations fondées sur une méthode du poids de la preuve.

Numéro de référence de l'étude – A.14 : AECC. 2000. « Response to European Commission Consultation on the Need to Reduce the Sulphur Content of Petrol and Diesel Fuels below 50 Parts per Million », Association for Emissions Control by Catalyst (juillet).

VUE D'ENSEMBLE

Ce rapport soumet une évaluation des publications sélectionnées et une synthèse des effets du soufre du carburant sur les émissions.

PROGRAMME D'ESSAI

La présente étude se limitait à une analyse documentaire. Aucun programme d'essai n'a été exécuté dans le cadre de cette étude.

RÉSULTATS PERTINENTS

Les émissions (polluants précis non cités) seraient réduites jusqu'à 20 % avec une réduction d'une teneur en soufre du carburant de 50 à 10 ppm.

Les véhicules vieilliss et soumis à des essais avec un carburant à plus forte teneur en soufre ne répondront pas aux normes d'émission plus rapidement que les véhicules vieilliss et soumis à des essais avec un carburant à plus faible teneur en soufre.

La technologie d'adsorption de NO_x dont sont munis les moteurs à charge stratifiée requiert des niveaux de soufre du carburant considérablement inférieurs à 10 ppm, afin d'éviter les sanctions liées à la consommation de carburant associées à une régénération plus fréquente qui serait requise si on utilisait des carburants à plus forte teneur en soufre.

FORCES/FAIBLESSES/LACUNES EN MATIÈRE DE DONNÉES

Cette étude ne comportait pas de programme d'essai et, par le fait même, ne contient aucun résultat d'essais.

REMARQUES

Les conclusions tirées dans ce rapport doivent être évaluées à titre d'estimations selon la documentation qui y est présentée.

Numéro de référence de l'étude – A.15 : Takei, Y., Y. Kinugasa, M. Okada, T. Tanaka et Y. Fujimoto. 2000. Fuel property requirement for advanced technology engines. *SAE Paper* 2000-01-2019.

VUE D'ENSEMBLE

Cette étude a évalué l'influence de la teneur en soufre du carburant sur les émissions de gaz d'échappement provenant de technologies évoluées des véhicules à essence disponibles sur le marché vers 1998.

PROGRAMME D'ESSAI

Carburants :

La teneur en soufre utilisée lors des essais de véhicules munis de convertisseurs catalytiques à trois voies variait entre moins d'une partie par million (ppm) à 600 ppm.

- VPP – Carburants d'essai ayant une teneur en soufre de 38, 80, 100, 150, 330 et 600 ppm.
- VTPP – Carburants d'essai ayant une teneur en soufre de 0,03, 33 et 99 ppm.
- SULEV – Carburants d'essai ayant une teneur en soufre de 8, 33 et 150 ppm.

La teneur en soufre utilisée lors d'essais de véhicules munis de catalyseurs de réduction du stockage de NO_x variait entre 8 et 500 ppm.

- Année de modèle 1997 – Carburants d'essai ayant une teneur en soufre de 8, 30, 90, 200 et 500 ppm.
- Année de modèle 1998 – Carburants d'essai ayant une teneur en soufre de 10, 30 et 80 ppm.

Véhicules/moteurs :

Convertisseur catalytique à trois voies

- Véhicule léger à passagers homologué par les normes des VPP avec 100 000 milles
- Camion léger à passagers homologué par les normes des VPP avec 100 000 milles
- Prototype de VTPP léger à passagers avec 100 000 milles
- Prototype de SULEV léger à passagers avec 100 000 milles

Catalyseur de réduction du stockage de NO_x

- Véhicule de série du marché japonais de l'année de modèle 1997 (essais du mode de longévité avec charge/vitesse élevée)
- Véhicule de série du marché japonais de l'année de modèle 1998 (essais du mode de longévité sans charge/vitesse élevée)

Méthode d'essai :

Convertisseur catalytique à trois voies

- FTP-75 (procédure d'essai fédérale)

- Chaque essai a été réitéré deux à six fois.
- Catalyseur de réduction du stockage de NO_x
- Cycle de conduite japonais 10/15
 - Accumulation de millage différente selon le véhicule. Un véhicule utilisait le mode de longévité requis pour l'homologation japonaise, tandis que l'autre comprenait un segment à vitesse/charge élevée afin de déclencher une régénération du catalyseur.

RÉSULTATS PERTINENTS

On a présenté les émissions moyennes ou le rendement de conversion moyen des NO_x en fonction du véhicule et de la teneur en soufre du carburant.

Convertisseur catalytique à trois voies : Les émissions d'HC et de NO_x ont été représentées par rapport aux résultats du modèle COMPLEX, pour lesquels l'auteur estimait qu'il s'agissait de véhicules plus anciens et antérieurs à la technologie des VPP. Par rapport aux résultats du modèle COMPLEX, les émissions étaient plus sensibles à la teneur en soufre du carburant et les véhicules SULEV présentaient la sensibilité la plus élevée à la teneur en soufre du carburant.

Catalyseur de réduction du stockage de NO_x :

- Mode de longévité sans charge élevée : Les résultats indiquaient une diminution de l'efficacité du catalyseur de réduction du stockage de NO_x sous l'effet de l'accumulation de millage pour les carburants ayant une teneur en soufre supérieure par rapport à ceux ayant une teneur en soufre inférieure.
- Mode de longévité avec charge élevée : Les résultats indiquaient que plus le niveau de soufre du carburant était élevé, plus les émissions de NO_x étaient importantes.

FORCES/FAIBLESSES/LACUNES EN MATIÈRE DE DONNÉES

L'absence d'analyse statistique ne permet pas d'évaluer la certitude des conclusions obtenues.

Il n'y avait aucune analyse statistique des incertitudes.

REMARQUES

Aucune

Numéro de référence de l'étude – A.16 : Koseki, K., T. Uchiyama et M. Kawamura. 2000. A study on the effects of sulphur in gasoline on exhaust emissions. *SAE Paper* 2000-01-1878.

VUE D'ENSEMBLE

Cette étude évaluait les répercussions de la teneur en soufre sur différents types de moteurs pour différentes technologies présentes sur le marché de 1996 à 1999.

PROGRAMME D'ESSAI

Carburants :

Lors de l'étude, les teneurs en soufre suivantes ont été utilisées : 3 ppm, 4 ppm, 9 ppm, 11 ppm, 20 ppm, 34 ppm, 57 ppm, 80 ppm, 90 ppm et 310 ppm.

Véhicules/moteurs :

Moteur stœchiométrique

- A. Moteur de l'année de modèle 1997 muni d'un convertisseur catalytique à trois voies.
- B. Moteur de l'année de modèle 1997 muni d'un convertisseur catalytique à trois voies.
- C. Moteur de l'année de modèle 1998 muni d'un convertisseur catalytique à trois voies.

Moteur à charge stratifiée

- D. Moteur de l'année de modèle 1996 muni d'un catalyseur de réduction du stockage de NO_x (dans les dernières phases de l'expérience, le catalyseur de NO_x est passé à un véhicule de l'année de modèle 1998)

Injection directe

- E. Moteur de l'année de modèle 1999 muni d'une réduction sélective catalytique de NO_x.
- F. Moteur de l'année de modèle 1999 muni d'un catalyseur de réduction du stockage de NO_x.

Méthode d'essai :

Le cycle japonais en mode 10/15, qui simule une conduite urbaine et à plus grande vitesse dans des conditions de mode à chaud, a été exécuté sur un dynamomètre à châssis. Aucun essai n'a été effectué sur les émissions liées au démarrage à froid.

On a réitéré 10 fois les essais pour chaque véhicule et on a évalué la teneur en soufre.

RÉSULTATS PERTINENTS

Les essais effectués sur le véhicule A (année de modèle 1997, muni d'un convertisseur catalytique à trois voies) indiquaient une dépendance des émissions d'HC, de CO et de NO_x par rapport au soufre du carburant. On a noté que les émissions augmentaient avec la hausse des niveaux de soufre du carburant (remarque : on a évalué des teneurs en soufre de 3, 20 et 80 ppm).

Les essais effectués sur le véhicule D (année de modèle 1996, muni d'un catalyseur de réduction du stockage de NO_x) montraient que les émissions d'HC et de NO_x présentaient de légères augmentations en fonction de la hausse de la teneur en soufre du carburant, tandis que les émissions de CO diminuaient en fonction de la diminution de la teneur en soufre du carburant (remarque : on a évalué des teneurs en soufre de 11, 34 et 90 ppm).

Les essais effectués sur le véhicule E (année de modèle 1999, muni d'une réduction sélective catalytique de NO_x) présentent une dépendance faible à la concentration en soufre du carburant (remarque : on a évalué des teneurs en soufre de 11, 34 et 90 ppm). On laisse penser que les réductions sélectives catalytiques de NO_x tolèrent le soufre en raison de l'utilisation d'iridium.

Les essais effectués sur le véhicule F (année de modèle 1999, muni d'un catalyseur de réduction du stockage de NO_x) montrent que les émissions de CO augmentent avec l'augmentation de la teneur en soufre du carburant, bien que les émissions de NO_x et d'HC demeurent relativement constantes (remarque : on a évalué des teneurs en soufre de 3, 20 et 80 ppm).

D'après les résultats susmentionnés, l'auteur indique que les nouveaux véhicules japonais équipés de moteurs à injection directe et de catalyseurs de réduction du stockage de NO_x sont peu sensibles au soufre du carburant par rapport aux véhicules équipés d'un convertisseur catalytique à trois voies.

Lorsque le catalyseur a été retiré du moteur de l'année de modèle 1996 à 30 000 km et qu'il a été placé dans un moteur de l'année de modèle 1998, on n'a relevé aucune différence significative des émissions. La « valeur significative » n'a pas été définie.

FORCES/FAIBLESSES/LACUNES EN MATIÈRE DE DONNÉES

On n'a pas évalué la longévité du catalyseur à long terme et les effets à long terme de l'utilisation de carburants ayant différents teneurs en soufre.

On n'a présenté aucune analyse statistique des incertitudes.

REMARQUES

Aucune

Numéro de référence de l'étude – A.17 : Baronick, J., B. Heller et G. Lach. 2000. Impact of sulphur in gasoline on nitrous oxide and other exhaust gas components. *SAE Paper* 2000-01-0857.

VUE D'ENSEMBLE

Cette étude a évalué l'incidence de la qualité du carburant sur les émissions de gaz d'échappement de deux véhicules homologués VPP disponibles sur le marché en 2000.

PROGRAMME D'ESSAI

Carburants :

On a évalué des carburants ayant une teneur en soufre de 1 ppm, 40 ppm, 150 ppm et 330 ppm.

Véhicules/moteurs :

Deux véhicules ont été soumis à des essais lors de cette étude :

- A. Un véhicule de l'année de modèle 2000 muni d'un convertisseur catalytique à trois voies homologué par les normes relatives aux VPP.
- B. Un véhicule de l'année de modèle 2000 muni de deux convertisseurs catalytiques à trois voies dans un seul conteneur, homologué par les normes relatives aux VPP.

Les véhicules étaient munis de composantes vieilles pour simuler les 100 000 milles de conduite sur route requis pour les essais d'homologation.

Méthode d'essai :

FTP-75.

RÉSULTATS PERTINENTS

Il s'est avéré que les émissions de SO₂ augmentaient en fonction de l'augmentation de la teneur en soufre du carburant.

On a mesuré les émissions de NO_x avant le catalyseur et après le catalyseur. Il s'est avéré que les émissions antérieures au catalyseur ne montraient aucune sensibilité au soufre du carburant. Les émissions postérieures au catalyseur étaient plus élevées et le rendement de conversion des NO_x s'est montré inférieur à de plus fortes teneurs en soufre du carburant.

On a relevé des diminutions importantes du rendement de conversion et des augmentations des émissions postérieures au catalyseur pour les HC et le CO lors d'essais avec un carburant ayant une teneur en soufre de 330 ppm, par rapport à un carburant à plus faible teneur en soufre. Le véhicule B montrait des pertes de rendement progressives avec des augmentations progressives de la teneur en soufre du carburant. Le véhicule B ne montrait des différences significatives qu'avec un carburant ayant une teneur en soufre de 330 ppm par rapport aux autres carburants. On a émis l'hypothèse selon laquelle la différence de sensibilité des émissions à la teneur en soufre du carburant est due à la construction du catalyseur; le catalyseur du véhicule B est moins isolé thermiquement et il passe moins de temps au-dessus de la température d'allumage.

FORCES/FAIBLESSES/LACUNES EN MATIÈRE DE DONNÉES

Afin de réaliser des essais avec quatre types de carburants sur deux véhicules, on a utilisé des conditions préalables limitées pour constituer du soufre lorsqu'on essayait un carburant à plus faible teneur en soufre avant d'essayer un carburant à plus forte teneur en soufre et que le soufre était éliminé lorsqu'on essayait un carburant à plus forte teneur en soufre avant d'essayer un carburant à plus faible teneur en soufre. On ne rencontrerait pas de pareilles conditions au cours d'une dégradation du véhicule sur route.

Les essais sur une plus grande quantité d'accumulation de millage devraient générer davantage de renseignements sur les effets à long terme de l'utilisation de différents teneurs en soufre du carburant.

REMARQUES

Aucune

Numéro de référence de l'étude – A.18 : ACEA. 2000. « ACEA Data of the Sulphur Effect in Advanced Emission Control Technologies », Association of European Automobile Manufacturers, Bruxelles.

VUE D'ENSEMBLE

Examen de données internes sur des véhicules recueillies par des fabricants automobiles européens concernant les effets du soufre du carburant sur les émissions, surtout en ce qui a trait à la technologie évoluée de contrôle des émissions.

PROGRAMME D'ESSAI

Cette étude comprenait une évaluation de la documentation et une présentation des résultats d'un programme d'essai de véhicules.

RÉSULTATS PERTINENTS

Convertisseurs catalytiques à trois voies

- Les émissions de NO_x sont réduites de 13 % lorsqu'on utilise un carburant ayant une teneur en soufre d'une partie par million (ppm) au lieu de 30 ppm.
- Après avoir fonctionné avec du carburant d'une teneur en soufre de 50 ppm et ensuite de 600 ppm, les catalyseurs qui ont ensuite fonctionné de nouveau avec

une teneur en soufre de 50 ppm ont donné des émissions de CO plus élevées par rapport aux émissions de CO initiales avec un carburant à teneur en soufre de 50 ppm.

Catalyseurs de réduction du stockage de NO_x

- Les résultats montrent que les rendements de conversion de NO_x avec des carburants à plus faible teneur en soufre (jusqu'à 8 ppm) demeurent plus élevés pendant de longues périodes de fonctionnement, diminuant ainsi la fréquence des cycles de désulfuration, lesquels entraînent une consommation de carburant accrue.

FORCES/FAIBLESSES/LACUNES EN MATIÈRE DE DONNÉES

Aucune analyse des incertitudes n'est présentée.

REMARQUES

Aucune

Numéro de référence de l'étude – A.19 : Lyons, J.M., D. Lax et S. Welstand. 1999. Investigation of sulphur sensitivity and reversibility in late-model vehicles. *SAE Paper* 1999-01-3676.

VUE D'ENSEMBLE

La sensibilité des émissions à la teneur en soufre du carburant a été évaluée au cours de cette étude avec la réversibilité des effets du soufre du carburant pour les véhicules disponibles sur le marché vers 1998.

PROGRAMME D'ESSAI

Carburants :

On a évalué les carburants ayant une teneur en soufre de 40 ppm et de 540 ppm.

Véhicules/moteurs :

Huit véhicules ont été soumis à des essais dans le cadre de cette étude; sept d'entre eux étaient de l'année de modèle 1998 et le huitième était de l'année de modèle 1997. Les véhicules de l'année de modèle 1998 étaient tous des voitures à passagers comptant moins de 7 000 milles d'usage normal en service à la clientèle avant les essais, tandis que le véhicule de l'année de modèle 1997 était un camion léger ayant accumulé 45 000 milles d'usage normal.

Avant les essais, un nouveau catalyseur et une nouvelle sonde d'oxygène ont été installés sur chaque véhicule, après quoi ils ont accumulé 4 000 milles.

Les normes d'homologation des véhicules et les configurations des catalyseurs sont les suivantes :

- Citadine : Véhicule homologué du Niveau 1 équipé d'un moteur muni de quatre catalyseurs monoblocs
- S-10 : Véhicule homologué du Niveau 1 équipé d'un moteur muni d'un catalyseur sous le plancher
- Taurus : Véhicule homologué VPP équipé d'un moteur muni d'un catalyseur monobloc double

- Marquis : Véhicule homologué VPP équipé d'un moteur muni de quatre catalyseurs monoblocs
- Altima (deux véhicules compris) : Véhicule homologué VPP équipé d'un moteur muni de catalyseurs monoblocs et de catalyseurs sous le plancher
- Avalon : Véhicule homologué VPP équipé d'un moteur muni d'un catalyseur monobloc double et d'un catalyseur sous le plancher
- Accord : Véhicule homologué VPP équipé d'un moteur muni d'un catalyseur sous le plancher

Méthode d'essai :

On a utilisé une combinaison des essais FTP, US06 et EPEFE dans cette étude pour évaluer les différences dans les émissions à l'égard du soufre du carburant pour différents cycles.

Chaque véhicule a été soumis à des essais avec trois à neuf combinaisons de cycle de conduite et de teneur en soufre. Pour chaque véhicule, chaque combinaison de cycle de conduite et de teneur en soufre comprenait généralement deux ou trois essais. Un troisième essai était requis si lors des deux premiers essais, les rapports d'émissions d'HCNM, de CO et de NO_x étaient respectivement supérieurs à 1,33, à 1,70 et à 1,29.

RÉSULTATS PERTINENTS

Les HC, le CO et les NO_x montraient généralement des émissions plus élevées avec une plus forte teneur en soufre, mais leur sensibilité différait d'après le véhicule.

Les effets sur les émissions découlant du carburant à forte teneur en soufre étaient réversibles en utilisant du carburant à faible teneur en soufre, bien que dans certains cas, des conditions de fonctionnement plus intenses comme celles du cycle US06 soient nécessaires pour produire un retour à des émissions relativement inférieures.

Une analyse préalable de la régression a montré, avec un degré de certitude de 95 %, que la sensibilité des émissions de CO au soufre du carburant était liée aux émissions de CO et d'HCNM à la sortie du moteur et que le pourcentage de changement des émissions d'HCNM était lié aux émissions d'HCNM à la sortie du moteur.

Une analyse préalable de la régression a montré, avec un degré de certitude de 95 %, que la réversibilité des effets du soufre du carburant sur les émissions de CO et de NO_x était liée aux émissions de CO et de NO_x à la sortie du moteur, respectivement.

Le vieillissement des catalyseurs équivalent à 100 000 milles de conduite sur route provoquait des émissions plus élevées pour le carburant à faible et forte teneur en soufre et une plus grande augmentation des émissions de CO et de NO_x pour le carburant à plus forte teneur en soufre.

FORCES/FAIBLESSES/LACUNES EN MATIÈRE DE DONNÉES

L'étude n'évaluait que les teneurs en soufre de 40 ppm et de 540 ppm. Les résultats doivent être pris en considération en gardant cet élément à l'esprit, compte tenu que l'évaluation du carburant sans soufre (moins de 10 ppm) n'a pas été incluse.

REMARQUES

Aucune

Numéro de référence de l'étude – A.20 : Kwon, Y.K., R. Bazzani, P.J. Bennett, O. Esmilaire, P. Scorletti, T. David, B. Morgan, C.L. Goodfellow, M. Lien, W. Broeckx et P. Liiva. 1999. Emissions response of a European specification direct-injection gasoline vehicle to a fuels matrix incorporating independent variations in both compositional and distillation parameters. *SAE Paper* 1999-01-3663.

VUE D'ENSEMBLE

Cette étude évaluait les répercussions de la qualité du carburant sur les émissions de gaz d'échappement d'un moteur à essence à injection directe homologué par la norme EURO II.

PROGRAMME D'ESSAI

Carburants :

On a évalué les carburants ayant une teneur en soufre de 32 ppm et de 138 ppm.

Véhicules/moteurs :

Tous les essais ont été réalisés sur un véhicule équipé d'un moteur à essence à injection directe et à charge stratifiée homologué par la norme EURO II et muni d'un catalyseur à faible production de NO_x sous le plancher.

Le laboratoire a envoyé les véhicules dans un état neuf et comme condition préalable, on leur a ajouté 6 000 kilomètres en utilisant un cycle d'autoroutes et de routes urbaines.

Le véhicule original utilisé dans l'étude présentait des incohérences inexplicables dans sa stratégie d'allumage. Les essais n'ont été acceptés que lorsqu'on observait un modèle d'allumage orthodoxe. En raison du problème de cohérence en matière d'allumage, un moteur de substitution/post-traitement a été utilisé pour la dernière partie de l'étude. On a utilisé la cohérence des émissions pour établir la comparabilité des résultats entre le système original et le système de moteur de substitution/post-traitement.

Méthode d'essai :

Les véhicules ont été soumis au cycle EURO II. Les résultats ont été évalués pour le circuit ECE ou le circuit urbain et le cycle EUDC ou les portions sur autoroute/extra-urbaines du cycle EURO II.

Les essais ont été effectués au moins quatre fois pour chaque combinaison de véhicule et de carburant.

RÉSULTATS PERTINENTS

Pour l'ensemble des polluants pris en considération, à savoir les HT, les NO_x, le CO, le CO₂ et les MP, on n'a observé aucune différence statistiquement significative dans les émissions entre les carburants à faible teneur en soufre et ceux à forte teneur en soufre avec un degré de confiance de 90 %.

FORCES/FAIBLESSES/LACUNES EN MATIÈRE DE DONNÉES

Seul un type de véhicule a été soumis à des essais lors de cette étude.

Les essais n'ont pas pris en considération les effets à long terme sur les émissions causés par l'utilisation de carburant ayant des teneurs en soufre différentes.

REMARQUES

Les auteurs semblent indiquer que la répétabilité uniforme des essais a constitué un problème tout au long de l'étude et ils supposent qu'un contrôle du rapport du mélange air-carburant n'a peut-être pas été exécuté de façon constante d'essai en essai.

Numéro de référence de l'étude – A.21 : Schleyer, C.H., K.D. Eng, R.A. Gorse, R.F. Gunst, J. Eckstrom, J. Freel, M. Natarajan et A.M. Schlenker. 1999. Reversibility of sulphur effects on emissions of California low-emission vehicles. *SAE Paper* 1999-01-1544.

VUE D'ENSEMBLE

Cette étude évaluait les répercussions de la teneur en soufre du carburant sur les émissions de gaz d'échappement des véhicules peu polluants (VPP) ainsi que la réversibilité des effets du soufre du carburant pour les VPP.

PROGRAMME D'ESSAI

Carburants :

On a évalué les carburants ayant une teneur en soufre de 30 ppm et de 630 ppm.

Véhicules/moteurs :

Lors de cette étude, on a soumis à des essais six véhicules de l'année de modèle 1997 homologués aux normes relatives aux VPP.

Le type de catalyseur utilisé sur les véhicules n'est pas dit explicitement, même s'il s'agit vraisemblablement de convertisseurs catalytiques à trois voies. Les catalyseurs ont été vieillissés à 100 000 milles.

Méthode d'essai :

On a soumis les véhicules aux cycles d'essai LA4 et US06.

Les essais FTP ont été réalisés en fonction de la procédure suivante :

- Trois essais à une teneur en soufre initiale de 30 ppm dans le carburant pour établir une base préliminaire pour le soufre du carburant.
- Trois essais à une teneur en soufre du carburant de 630 ppm pour définir les émissions pendant une exposition à une forte teneur en soufre.
- Huit essais à une teneur en soufre de 30 ppm dans le carburant pour définir les émissions après une nouvelle exposition à une faible teneur en soufre.
- Trois essais à une teneur en soufre de 630 ppm dans le carburant pour vérifier si les émissions découlant d'une exposition à une forte teneur en soufre avaient changé.
- Deux essais à une teneur en soufre du carburant de 30 ppm pour une répétition de l'essai n° 3.
- Six essais à une teneur en soufre du carburant de 630 ppm avec les cycles US06 entre les essais d'accumulation de millage.

RÉSULTATS PERTINENTS

Réversibilité :

- Pour le cycle LA4, il y avait une irréversibilité partielle des émissions de NO_x et de CO provenant du parc de véhicules, mais l'analyse statistique n'a révélé aucune irréversibilité partielle pour les émissions d'HCNM.
- Pour le cycle US06, les émissions de NO_x provenant du parc de véhicules n'ont révélé qu'une réversibilité partielle, mais les émissions d'HCNM et de CO ont fait état d'une réversibilité totale.

Les différences de résultats pour les cycles LA4 et US06 indiquent que les conditions de conduite influencent la réversibilité des effets du soufre du carburant pour les véhicules soumis aux essais; une conduite plus agressive entraîne une purge plus importante du soufre par le catalyseur.

La réduction absolue de la teneur moyenne en soufre du carburant du parc de véhicules due au passage d'une teneur en soufre de 630 ppm à 30 ppm était une réduction de 0,04 g/mi, 0,13 g/mi et 0,69 g/mi des émissions d'HCNM, de NO_x et de CO, respectivement.

La réduction du pourcentage de la teneur moyenne en soufre du carburant du parc de véhicules due au passage d'une teneur en soufre de 630 ppm à 30 ppm était une réduction de 46 %, 63 % et 57 % des émissions d'HCNM, de NO_x et de CO, respectivement.

FORCES/FAIBLESSES/LACUNES EN MATIÈRE DE DONNÉES

Les essais n'ont pas pris en considération les effets à long terme de l'exposition du catalyseur à un carburant ayant une forte teneur en soufre.

REMARQUES

Aucune

Numéro de référence de l'étude – A.22 : Schleyer, C.H., R.A. Gorse Jr., R.F. Gunst, G.J. Barnes, J. Eckstrom, K.D. Eng, J. Freel, M. Natajara et A.M. Schlenker. 1998. Effect of fuel sulphur on emissions in California low emission vehicles. *SAE Paper 982726*.

VUE D'ENSEMBLE

Cette étude a évalué les répercussions de la teneur en soufre du carburant sur les émissions de gaz d'échappement des véhicules peu polluants (VPP).

PROGRAMME D'ESSAI

Carburants :

On a évalué des carburants conventionnels ayant une teneur en soufre de 30, 100, 150, 330 et 630 ppm ainsi que l'essence reformulée (RFG) de Californie ayant une teneur en soufre de 30 et 150 ppm.

Véhicules/moteurs :

Lors de cette étude, on a soumis à des essais six véhicules de l'année de modèle 1997 homologués aux normes relatives aux VPP. Les véhicules soumis aux essais avaient accumulé près de 10 000 milles.

Les catalyseurs ont été utilisés tels quels et les catalyseurs vieillis artificiellement à 100 000 milles ont également été soumis à des essais.

Méthode d'essai :

Les véhicules ont été soumis aux cycles d'essai FTP.

Les essais liés aux émissions ont été réalisés en double pour tous les essais et si le rapport de la valeur d'essai la plus élevée à la plus faible était supérieur ou égal à 1,34 g/mi, 1,71 g/mi et 1,30 g/mi respectivement pour les HT, le CO et les NO_x, l'essai était répété une troisième fois.

Les carburants ont été soumis à une séquence aléatoire en mettant les pleins gaz entre les essais afin de s'assurer que les essais sur le nouveau carburant commençaient sans que le véhicule ait en mémoire le carburant précédent.

RÉSULTATS PERTINENTS

Avec un degré de certitude de 95 %, on a relevé des réductions statistiquement significatives des émissions de NO_x, d'HCNM et de CO entre la teneur en soufre de 30 ppm et de 630 ppm dans le carburant à la fois pour les catalyseurs à faible millage et ceux à millage élevé.

Les réductions absolues des émissions moyennes pour les catalyseurs à faible millage étaient respectivement de 0,04 g/mi, 0,13 g/mi et 0,69 g/mi pour les HCNM, les NO_x et le CO, tandis que les réductions des émissions moyennes pour les catalyseurs à millage élevé étaient respectivement de 0,03 g/mi, 0,23 g/mi et 0,70 g/mi pour les HCNM, les NO_x et le CO.

Les réductions du pourcentage des émissions moyennes pour les catalyseurs à faible millage étaient respectivement de 46 %, 63 % et 57 % pour les HCNM, les NO_x et le CO, tandis que les réductions des émissions moyennes pour les catalyseurs à millage élevé étaient respectivement de 32 %, 61 % et 46 % pour les HCNM, les NO_x et le CO.

Les réactions au soufre du carburant étaient linéaires pour le catalyseur à faible millage, tandis que le catalyseur à millage élevé a montré une réaction non linéaire et les effets les plus importants sur les émissions se produisaient à des niveaux de soufre inférieurs. Les effets du soufre du carburant étaient semblables pour les carburants conventionnels et l'essence reformulée (RFG) de Californie.

Les émissions à la sortie du moteur ne variaient pas significativement avec les changements de la teneur en soufre, ce qui indique que la réaction des émissions d'échappement au soufre du carburant est due à l'efficacité du catalyseur.

FORCES/FAIBLESSES/LACUNES EN MATIÈRE DE DONNÉES

Les essais n'ont pas pris en considération les effets à long terme de l'exposition du catalyseur à un carburant ayant une forte teneur en soufre.

REMARQUES

Aucune

Numéro de référence de l'étude – A.23 : Lyons. 1997. « Initiative on the Potential Impact of Sulphur in Gasoline on Motor Vehicle Pollution Control and Monitoring Technologies – The Final Report of the Industry-Government », Sierra Research, Inc. (juillet).

VUE D'ENSEMBLE

Le rapport soumet une évaluation de la documentation pertinente aux effets du soufre de l'essence sur les émissions, en mettant l'accent sur les véhicules peu polluants (VPP).

PROGRAMME D'ESSAI

La présente étude se limitait à une analyse documentaire. Aucun programme d'essai n'a été exécuté dans le cadre de cette étude.

RÉSULTATS PERTINENTS

Lorsque les véhicules du Niveau 0, du Niveau 1, les VPPT ou les VPP utilisent de l'essence à plus forte teneur en soufre, les émissions de l'ensemble des polluants réglementés augmentent.

L'efficacité des sondes d'oxygène peut se dégrader avec un carburant à forte teneur en soufre.

Le fonctionnement des systèmes de diagnostics intégrés (OBD II) peut être altéré, mais ceux-ci continuent à fonctionner pour les véhicules utilisant de l'essence à forte teneur en soufre.

Les répercussions du soufre varient d'après le véhicule, la formation du catalyseur, l'emplacement du catalyseur, le contrôle des émissions et la conception du système OBD II, le calibrage du véhicule et la teneur en soufre de l'essence.

Pour les véhicules antérieurs aux VPP, les effets de l'utilisation de carburant à forte teneur en soufre sont entièrement réversibles en raison du fonctionnement à un rapport riche air-carburant, à des températures élevées, pendant une période suffisante.

Cependant, pour les VPP, les effets de l'utilisation d'un carburant à forte teneur en soufre ne sont peut-être pas entièrement réversibles.

FORCES/FAIBLESSES/LACUNES EN MATIÈRE DE DONNÉES

Les conclusions susmentionnées sont limitées aux véhicules peu polluants et aux véhicules plus anciens.

REMARQUES

Aucune

Page intentionnellement laissée en blanc

Annexe B : Essence – Analyse des anticalaminants

Numéro de référence de l'étude – B.1 : Samuel S., A.E. Hassaneen, D. Morrey et R. Gonzalez-Oropeza. 2009. The effect of gasoline additives on combustion generated nano-scale particulates. *SAE Paper* 2009-01-1823.

VUE D'ENSEMBLE

L'objectif de cette étude est d'analyser les effets de la qualité de l'essence sur les émissions de matières particulaires (que ce soit en termes de quantité ou de distribution granulométrique) provenant d'un moteur à allumage commandé.

PROGRAMME D'ESSAI

Carburants :

Un carburant de base et quatre additifs disponibles sur le marché secondaire ont été utilisés dans cette étude :

- Additif A (anticalaminant)
- Additif B (remonteur d'octane)
- Additif C (remonteur d'octane et anticalaminant)
- Additif D (remonteur d'octane et anticalaminant)

Les doses unitaires recommandées par les fabricants d'additifs ont été respectées.

Véhicules/moteurs :

Un moteur à allumage commandé 4 cylindres à 4 temps refroidi à l'eau et à injection monopoint.

Un moteur CADET et un système de commande dynamométrique.

Méthode d'essai :

Un cycle d'essai de contrôle des émissions non standard a été utilisé.

Des essais de moteurs ont été menés dans des conditions de fonctionnement à plein régime sur toutes les plages de vitesse ainsi que dans des conditions de charge partielle de 40, 70, 100 Nm à 3 000 tr/min.

RÉSULTATS PERTINENTS

La densité de particules pour le carburant de type A (carburant de base + anticalaminant) dans la plage de 10 nm ainsi que le nombre total de particules étaient inférieurs de trois ordres de grandeur à ceux obtenus pour les autres additifs. Ces résultats étaient également inférieurs à ceux obtenus avec le carburant de base, sauf à une charge de 40 Nm, pour laquelle les deux résultats étaient identiques.

Le carburant de type A a également entraîné le pic de pression le plus important dans le cylindre et la vitesse d'augmentation de la pression la plus grande. Le carburant de type A a également un rôle visible en ce qui concerne la cinétique de combustion, l'allumage précoce du mélange et le taux de combustion plus élevé, ce qui peut entraîner une consommation de carburant plus importante.

Résumé de la comparaison entre le carburant de type A et le carburant de base (tous deux à 3 000 tr/min) à des conditions de charge de 40 Nm contre 100 Nm :

- CO : le carburant de type A entraîne une hausse à 40 Nm et une baisse à 100 Nm;
- HT : le carburant de type A entraîne une baisse à 40 et à 100 Nm;
- NO : le carburant de type A entraîne une augmentation à 40 et à 100 Nm;

- NO_x : le carburant de type A entraîne une baisse à 40 Nm et une augmentation à 100 Nm.

FORCES/FAIBLESSES/LACUNES EN MATIÈRE DE DONNÉES

La taille de l'échantillon se limitait à un moteur (et aucune analyse statistique n'a été réalisée).

La composition chimique et le dosage de l'anticalaminant sont inconnus.

Les paramètres du carburant de base sont inconnus.

REMARQUES

Aucune

Numéro de référence de l'étude – B.2 : Alliance of Automobile Manufacturers. 2009.
« National Clean Gasoline: An Investigation of Costs and Benefits » (juin).

VUE D'ENSEMBLE

Cette publication analyse les coûts et les avantages que représenterait l'adoption d'une norme nationale sur l'essence moins polluante par l'entremise de deux études commandées. La première a analysé les coûts de raffinage induits par la production du carburant proposé et la seconde a étudié les répercussions sur les émissions provenant des véhicules routiers à moteur essence qui utiliseraient ledit carburant.

Cette publication n'offre aucun résultat pertinent étant donné que la section du rapport concernant les répercussions sur les émissions n'a pas tenu compte des anticalaminants comme paramètre du carburant. Les émissions routières de référence et les inventaires des années à venir ont été modélisés en utilisant le modèle MOBILE6 de l'EPA qui ne permet pas de modéliser les répercussions des anticalaminants sur les émissions.

Numéro de référence de l'étude – B.3 : Alliance of Automobile Manufacturers. 2009.
« Alliance of Automobile Manufacturers Comments on Clean Air Act Waiver Application to Increase the Allowable Ethanol Content of Gasoline to 15 Percent », présenté à l'Environmental Protection Agency des États-Unis (20 juillet).

VUE D'ENSEMBLE

Ce document comprend les commentaires de l'Alliance of Automobile Manufacturers concernant la demande soumise par les producteurs d'éthanol à l'EPA en vue d'exonérer les carburants à base de mélange éthanol-essence des exigences figurant à la loi américaine sur la qualité de l'air.

Dans ce document, il n'est pas fait mention des anticalaminants ni des dépôts dans le moteur. Par conséquent, aucun des résultats figurant dans ce document n'est présenté ici.

Numéro de référence de l'étude – B.4 : CRC. 2008. « Review of Prior Studies of Fuel Effects on Vehicle Emissions », préparé par M. Albert M. Hochhauser, 12 Celler Rd., Edison, NJ 8817; préparé pour le Coordinating Research Council, CRC Project E-84.

VUE D'ENSEMBLE

Cette étude du CRC résume les publications techniques existantes qui décrivent les effets de la composition des carburants sur les émissions de gaz d'échappement pour les véhicules à moteur essence et diesel.

L'utilisation d'anticalaminants dans l'essence n'était pas l'un des paramètres analysés par cette étude.

Numéro de référence de l'étude – B.5 : Row, J., et A. Doukas. 2008. « Fuel Quality in Canada Impact on Tailpipe Emissions », préparé par le Pembina Institute, Drayton Valley, Alberta, Canada T7A 1S7; préparé pour l'Association des fabricants internationaux d'automobiles du Canada.

VUE D'ENSEMBLE

Cette étude examine les niveaux de soufre et de détergence dans l'essence ainsi que les niveaux de cétane et la lubrifiante dans le diesel.

Elle compare les normes canadiennes sur les carburants à celles d'autres autorités en ce qui concerne les paramètres en question et passe en revue les résultats de certains essais.

PROGRAMME D'ESSAI

Analyse documentaire.

RÉSULTATS PERTINENTS

Ce rapport indique que la détergence de l'essence représente l'un des nombreux paramètres clés de l'essence avec lesquels il serait possible d'obtenir des réductions des émissions de gaz d'échappement.

Cette étude présente deux références :

- La première référence concernant les détergents à essence est une étude sur les carburants russes réalisée par Karpov (2007) [**numéro de référence de l'étude – B.6**] démontrant qu'une détergence améliorée permet de réduire la consommation de carburant, de réduire les émissions d'HC, de CO et de NO_x ainsi que de réduire les dépôts. Cette étude n'est pas une étude scientifique originale. Karpov fait référence à deux autres études russes qui établissent un lien entre les détergents et les émissions de gaz d'échappement. Les conclusions de ces études sont fondées sur des véhicules équipés de technologies anciennes dont la pertinence est vraisemblablement faible pour le parc canadien de véhicules à essence.
- La seconde référence traitant de la détergence est une étude européenne qui compare un carburant BP à forte concentration d'additifs au carburant normal et étudie les effets sur les émissions de polluants. Le rapport du Pembina laisse entendre que des réductions sont observées lorsque le carburant avec additif est utilisé, contrairement au carburant de base, sans toutefois le mentionner

explicitement. Les niveaux d'HC, de CO et de NO_x diminuent respectivement de 5 %, 15 % et 5 % et sont présentés dans un diagramme à barres. Aucun renseignement détaillé n'est fourni concernant le véhicule d'essai, la procédure, l'additif de carburant ou l'incertitude liée aux données. Les résultats de cette étude ont été présentés par la Ford Motor Company à l'ACEA et ne sont donc plus accessibles en vue d'un examen supplémentaire.

FORCES/FAIBLESSES/LACUNES EN MATIÈRE DE DONNÉES

Les études sur lesquelles se fonde ce rapport sont basées sur deux références. Aucune précision quant au programme d'essai des études originales n'a été fournie.

REMARQUES

Ce rapport ne présente aucune analyse documentaire approfondie.

Numéro de référence de l'étude – B.6 : Karpov, S.A. 2007. Improving the environmental and performance properties of automotive gasolines: Detergent additives. *Chemistry and Technology of Fuels and Oils*, vol. 43, n° 3, p. 173-178.

VUE D'ENSEMBLE

Cet article n'est pas une étude scientifique originale. Karpov fait référence à deux autres études russes qui établissent un lien entre les détergents et les émissions de gaz d'échappement.

1. A.M. Danilov, *Use of Fuel Additives* [traduction de la version russe], Mir, Moscou (2005).
2. S.I. Kokhanov, Candidate Dissertation, I.M. Gubkin Russian State University of Oil and Gas, Moscou (2006).

PROGRAMME D'ESSAI

Analyse documentaire.

RÉSULTATS PERTINENTS

Les détergents ont permis de réduire les dépôts de 60 % dans le carburateur et de 70 % dans les soupapes d'admission.

Les détergents dans l'essence ont entraîné une baisse des émissions de CO et d'HC de 50 à 60 %, et une baisse des émissions de NO_x de 20 %.

FORCES/FAIBLESSES/LACUNES EN MATIÈRE DE DONNÉES

Il n'a été fourni aucun détail concernant le moteur d'essai, le cycle d'accumulation de dépôts, le carburant de base ou l'additif. Les moteurs à carburateur sont des technologies anciennes dont la pertinence est vraisemblablement faible pour le parc canadien de véhicules à essence.

REMARQUES

Depuis le 1^{er} janvier 2006, l'essence à indice octane élevé vendue à Moscou doit contenir des détergents. Les normes russes permettent l'utilisation d'additifs dans tous

les types d'essence; cependant, les raffineries ne produisent pas de gros volumes d'essence comportant des additifs en raison de la faible production domestique d'anticalaminants.

Numéro de référence de l'étude – B.7 : Zand, A.D., G.N. Bidhendi, A. Mikaeili et H. Pezeshk. 2007. The influence of deposit control additives on exhaust CO and HC emissions from gasoline engines (case study: Tehran). *Transportation Research Part D*, vol. 12, p. 189-194.

VUE D'ENSEMBLE

Cette étude iranienne sur les véhicules est unique, car elle analyse les anticalaminants utilisés en tant que nettoyants (utilisation ponctuelle en vue d'éliminer les dépôts) et non en tant que produit d'entretien (utilisation continue dans le carburant lui-même). L'impact sur les émissions de CO et d'HC a été mesuré dans une condition de conduite (au ralenti).

Les véhicules soumis à l'étude étaient tous des moteurs à carburateur. Les résultats ne sont donc que peu adaptés au parc canadien de véhicules à essence.

PROGRAMME D'ESSAI

Carburants :

Une essence sans plomb commerciale a été utilisée en tant que carburant de base.

Le solvant « Power Clean », fabriqué par Power Clean 2000 Inc. a quant à lui été utilisé comme additif détergent.

Le mélange de carburant de nettoyage (rapport de 1 pour 5 entre le solvant et l'essence) a été injecté dans le moteur de chacun des véhicules en utilisant un module EVC2000 (fabriqué par l'entreprise susmentionnée).

Véhicules/moteurs :

304 véhicules Peykan et 201 véhicules Pride, tous équipés de moteurs 4 cylindres.

- Le véhicule Peykan est « basé sur la marque britannique Hillman ».
- Le véhicule Pride est « basé sur la marque sud-coréenne Kia Motors ».

Ces deux véhicules sont équipés d'un moteur à carburateur et ne disposent pas de dispositif antipollution.

Les années de modèles remontent de 2004 (date de l'étude) à une période antérieure à 1976.

Méthode d'essai :

Cette étude a mesuré l'impact des anticalaminants sur les émissions de véhicules anciens équipés de moteurs à carburateur utilisés à l'heure actuelle.

Des mesures ont été effectuées avant et après le nettoyage aux anticalaminants.

Les mesures des émissions d'échappement ont commencé en juillet 2004 et « se sont poursuivies en continu pendant plusieurs mois parallèlement aux opérations de décalaminage [nettoyage à l'aide d'anticalaminants] » jusqu'à la fin du mois de janvier 2005.

RÉSULTATS PERTINENTS

À la suite du nettoyage des dépôts à l'aide de l'additif détergent, les émissions de CO provenant des véhicules Peykan ont baissé de 23,3 % pour les véhicules antérieurs à 1976 et de 45,4 % pour les véhicules de l'année de modèle 2004.

Les émissions de CO des véhicules Pride ont quant à elles diminué (tous les véhicules), avec une baisse maximale des émissions de 45,7 % pour l'année de modèle 2004; les résultats concernant les véhicules de l'année de modèle 1996 n'étaient pas statistiquement significatifs (baisse de 19,8 %).

Les émissions d'HC provenant des véhicules Peykan ont diminué de 26,5 % pour l'année de modèle 2003 et seulement de 9,5 % pour l'année de modèle 2001. La baisse constatée des émissions d'HC provenant des véhicules de l'année de modèle 2004 (15,7 %) n'était pas statistiquement significative.

Les émissions d'HC provenant des véhicules Pride ont diminué pour la plupart des années de modèles (exception faite de l'année de modèle 1996 qui a vu une augmentation non significative d'un point de vue statistique de 2,2 % de ses émissions). Toutes les mesures relatives aux HC concernant les véhicules Pride des années de modèles antérieures à 1998 ne se sont pas avérées statistiquement significatives; la réduction maximale des émissions d'HC a été observée pour les véhicules Pride de 2001 (baisse de 33,4 %).

Sur les deux types de véhicules, l'influence du décalaminage sur les émissions de CO est beaucoup plus importante (environ deux fois plus importante) que sur les émissions d'HC.

Le niveau d'incertitude est très élevé concernant les mesures des émissions d'HC. Cette incertitude pourrait découler du fait que les DCC peuvent agir en tant qu'agents augmentant les niveaux d'HC (en absorbant puis en désorbant les HC non brûlés) ou en tant qu'agent réduisant les niveaux d'HC (en bouchant les fissures dans le cylindre et le fond de piston). Les mécanismes dominants selon les conditions de fonctionnement ainsi que la contribution d'autres facteurs restent flous.

FORCES/FAIBLESSES/LACUNES EN MATIÈRE DE DONNÉES

Les résultats sont présentés de façon distincte pour les véhicules Peykan et Pride et selon l'année de modèle. Toutefois, les écarts entre les véhicules sont inconnus. La composition chimique de l'anticalaminant utilisé est inconnue.

REMARQUES

Aucune

Numéro de référence de l'étude – B.8 : Aradi, A.A., J. Evans, K. Miller et A. Hotchkiss. 2003. Direct Injection Gasoline (DIG) Injector Deposit Control with Additives. *SAE Paper* 2003-01-2024.

VUE D'ENSEMBLE

Cette étude analyse l'optimisation et le rendement des anticalaminants à base de Mannich pour la suppression des dépôts dans les injecteurs dans les moteurs à injection directe.

Une évaluation préalable des anticalaminants a été réalisée sur le Moteur A, qui avait particulièrement tendance à accumuler des dépôts en raison de la vétusté de sa technologie.

Une étude plus poussée a été réalisée sur un Moteur B plus représentatif. Les études sur le moteur B ont été complétées par une étude sur le dynamomètre d'un véhicule prototype, le Véhicule 1. Des mesures des pertes de débit sont réalisées tout au long du cycle de conduite à diverses étapes de la formation de dépôts et du nettoyage.

PROGRAMME D'ESSAI

Carburants :

Le carburant d'essai Howell EEE est le carburant de base pour tester plusieurs anticalaminants à diverses concentrations.

Les types d'anticalaminants comprennent : 3 additifs de Mannich (Man-A, Man-B et Man-C), une polyisobutyl amine (PIBA) et une polyétheramine (PEA)

Additifs EM-1 de Mannich pour les essais du Véhicule 1.

Véhicules/moteurs :

Moteur A : moteur d'essai Nissan Z22d de 1982 – 2,2 L, combustion à bougies jumelées, 4 cylindres, modifié en vue de fonctionner en mode d'injection directe homogène.

Moteur B : moteur à allumage commandé et à injection directe 4 cylindres de 1998 cm³ de cylindrée, plus perfectionné que le moteur Nissan.

Véhicule 1 : équipé d'un moteur prototype à allumage commandé et à injection directe permettant de mesurer le calaminage des injecteurs en vue de valider les résultats du Moteur B.

Cycle d'essai :

Un cycle d'essai de contrôle des émissions non standard a été utilisé.

Des essais ont été réalisés sur les additifs du Moteur A sur des périodes de 6 heures avec un régime moteur de 2 500 tr/min, une charge du moteur de 500 mg d'air par temps et une température de 173 °C aux pointes d'injecteur.

Les essais sur les additifs utilisés pour le Moteur B ont été réalisés suivant un cycle de 3 phases :

- phase de réchauffement : 1 500 tr/min avec une charge de 40 Nm, jusqu'à ce que le liquide de refroidissement atteigne 85 °C;
- phase homogène : 3 600 tr/min avec une charge de 130 Nm pendant 50 heures;
- phase stratifiée : 650 tr/min avec une charge de 22 Nm pendant 50 heures.

Les essais sur les additifs utilisés pour le Véhicule 1 ne se sont déroulés qu'en mode homogène, selon un cycle de conduite basé sur une étude de 1995 sur les habitudes de conduite réalisée par l'EPA à Baltimore (Maryland), aux États-Unis.

- Chaque cycle correspond à une distance de 26,3 km; environ 200 cycles ont été réalisés successivement pour chaque essai.

Mesures de la performance des injecteurs :

Évaluation initiale concernant la « relation dose-réponse de l'additif en matière d'absence de calamine » :

- Le pourcentage des pertes de carburant a été mesuré à partir des injecteurs du Moteur A pour 5 anticalaminants (Man-A à C, PIBA et PEA) à des doses approximatives de 20, 80, 140, 280 et 400 ppm chacun.
 - « Caractérisation de l'additif » et optimisation.
 - L'additif Man-C provenant de l'étude d'« absence de calamine » effectuée sur le Moteur A a été utilisé sur un Moteur B plus moderne avec un cycle d'essai plus long et réaliste de 100 h.
- « Performance en matière d'absence de calamine » sur le Véhicule 1.
« Performance en matière de nettoyage » sur le Véhicule 1.

RÉSULTATS PERTINENTS

Les additifs de Mannich peuvent être optimisés en vue d'inhiber le calaminage des injecteurs DIG (injection directe d'essence) en modifiant la composition chimique du fluide porteur et la pureté du détergent.

On a pu constater que l'additif de Mannich EM-1 empêchait la formation de calamine sur les injecteurs du moteur du Véhicule 1 sur plus de 160 cycles d'essai représentant chacun 26,3 km.

Après une période d'encrassage de 200 cycles du Véhicule 1 avec le carburant de base Howell EEE, l'EM-1 a été ajouté selon un rapport équivalent à celui d'un supercarburant européen. Après 40 cycles d'essai supplémentaires avec ce nouveau carburant avec additif, les pertes de débit sont repassées sous la barre des 5 % alors qu'elles avaient atteint plus de 15 % au cours de la phase d'encrassage.

FORCES/FAIBLESSES/LACUNES EN MATIÈRE DE DONNÉES

Les paramètres de composition chimique et d'optimisation ne sont pas indiqués.
Aucune analyse statistique.

REMARQUES

Aucune

Numéro de référence de l'étude – B.9 : Environnement Canada. 2002. « Combustion Chamber Deposits in Gasoline Engines: A Literature Review », préparé par Chandra B. Prakash pour la Direction générale du pétrole, du gaz et de l'énergie, Environnement Canada (mars).

VUE D'ENSEMBLE

Ce rapport, préparé pour Environnement Canada en mars 2002, résume les études connues menées à cette date sur les anticalaminants. Ce rapport passe en revue les études menées dans les domaines suivants : 1) mécanismes de formation de dépôts dans la chambre de combustion (DCC); 2) effets des DCC sur les exigences en matière d'indice d'octane des carburants; 3) effets des DCC sur l'économie de carburant; 4) effets des DCC sur les émissions.

Méthode d'essai :

Analyse documentaire.

RÉSULTATS PERTINENTS

Émissions de NO_x

Houser (1993) a signalé une augmentation de 0 à 20 % des émissions de NO_x causées par les DCC, les différences dans la conception des moteurs expliquant les écarts observés.

Bitting *et al.* (1994) [**numéro de référence de l'étude – B.22**] ont signalé des réductions moyennes des émissions de NO_x de 20 % lorsque les DCC sont éliminés mécaniquement des moteurs.

Barnes et Stephenson (1996) [**numéro de référence de l'étude – B.19**] ont signalé une augmentation moyenne de 25 % des émissions de NO_x liée aux DCC. Cette moyenne a été mesurée sur les moteurs chauds et en régime permanent de 3 modèles de voitures. Ils ont également noté que lors d'un cycle d'essai européen comportant un démarrage à froid du moteur, les émissions de NO_x pouvaient augmenter ou diminuer.

Lee (1999) [**numéro de référence de l'étude – B.23**] a quant à lui signalé :

- Une augmentation selon une fonction non linéaire en escalier des émissions de NO_x par rapport à l'épaisseur des DCC :
 - deux moteurs non encrassés au départ;
 - aucune augmentation des émissions lors de l'apparition des premiers 60 à 80 µm d'épaisseur de DCC;
 - au-delà de 80 µm d'épaisseur, les émissions de NO_x ont rapidement augmenté pour atteindre un palier entre 100 et 150 µm pour les deux véhicules;
 - la fonction en escalier susmentionnée s'est avérée exacte pour des conditions de fonctionnement des véhicules à des vitesses de 35 et de 65 mi/h; le niveau de confiance est de 95 %.
- L'impact de la réduction de l'épaisseur des DCC sur les émissions par l'utilisation de « carburants propres » :
 - la réduction de l'épaisseur des DCC de 50 % (sur des DCC « frais » et récents) en passant à un carburant propre n'a eu aucun effet sur les émissions d'HC, de CO ou de NO_x;
 - les émissions de NO_x peuvent être réduites en nettoyant les dépôts sur la culasse et le fond de piston;
 - le passage à un « carburant propre » (avec ou sans additifs) peut soit maintenir soit augmenter les émissions de NO_x sur un kilométrage faible à moyen, selon l'âge des DCC;
 - sur un kilométrage élevé, les émissions de NO_x baisseront vraisemblablement suivant la même fonction en escalier.

Balysky *et al.* (2001) [**numéro de référence de l'étude – B.13**] ont rapporté une réduction moyenne des émissions de NO_x de 10 % (sans changement pour les émissions d'HC ou de CO) dans le cadre d'un test impliquant l'utilisation de l'additif Vektron^{MD} dans le carburant d'un parc de 28 véhicules.

Le groupe du CRC responsable des DCC (2000) [**numéro de référence de l'étude – B.15**] a indiqué :

- qu'il était impossible de formuler des conclusions quant à la forme de la relation entre les émissions et les DCC;
- que les carburants avec additif engendraient une masse de DCC par cylindre de 1,2 à 5 fois plus importante en moyenne que le carburant de base;
- que la présence de DCC augmentait les émissions de NO_x et l'économie de carburant, et que les que résultats concernant les autres polluants n'étaient pas statistiquement significatifs.

Un rapport du personnel du CARB (1998) indique :

- que d'autres études ont fait état de réductions de 12 à 55 % des émissions de NO_x lorsque les DCC ont été supprimés;
- que d'autres études ont révélé qu'une suppression totale des DCC permettait d'observer des réductions moyennes de 25 % des émissions de NO_x;
- que les données disponibles concernant la suppression progressive des DCC et les émissions sont limitées.

Émissions d'HC et de CO

Bower *et al.* (1993) n'ont constaté aucune tendance relative aux émissions d'HC ou de CO avec l'augmentation des DCC.

- Wagner (1993) n'a également constaté aucune tendance relative aux émissions d'HC.

Bitting *et al.* (1994) [numéro de référence de l'étude – B.22] ont quant à eux constaté :

- une augmentation des émissions d'HC de 17 % dans les moteurs présentant des dépôts;
- une baisse de 30 % des émissions de CO lorsque les DCC sont supprimés (baisse statistiquement significative).

Barnes et Stephenson (1996) [numéro de référence de l'étude – B.19] ont constaté que les DCC avaient des effets variables sur les émissions d'HC et de CO, lesquelles peuvent augmenter ou diminuer au gré des mécanismes en compétition.

Haidar et Heywood (1997) [numéro de référence de l'étude – B.18] ont constaté :

- une augmentation des émissions d'HC dans les 10 à 15 premières heures d'accumulation de dépôts;
- une stabilisation des émissions d'HC après environ 25 heures d'accumulation de dépôts;
- que l'augmentation des émissions d'HC liée aux DCC comptait pour 10 à 20 % des émissions d'échappement des moteurs lorsqu'un « carburant accumulant des dépôts » était utilisé;
- que les émissions de benzène, d'isooctane, de toluène et de zylène augmentaient de 10 à 30 % à cause des DCC;
- que les émissions d'HC se stabilisaient bien avant l'épaisseur des DCC.

Lee (1999) [numéro de référence de l'étude – B.23] a quant à lui signalé :

- une baisse des émissions d'HC pendant l'accumulation de DCC entre 3 000 et 6 000 milles;
- une augmentation des émissions d'HC après un vieillissement des DCC et un kilométrage plus important compris entre 6 000 et 13 000 milles;
- des émissions d'HC comparables à celles d'un moteur propre au-delà de 13 000 milles;
- que la réduction de 50 % de l'épaisseur des DCC en utilisant un carburant propre n'avait aucun effet sur les émissions d'HC ou de CO.

Tondelli *et al.* (2000) [**numéro de référence de l'étude – B.14**] ont constaté que les émissions augmentaient avec les DCC en utilisant trois carburants purs (isooctane, toluène et 2-méthyl-2-butène).

FORCES/FAIBLESSES/LACUNES EN MATIÈRE DE DONNÉES

Les méthodes expérimentales, la composition des anticalaminants et les dosages d'anticalaminants ne sont pas expliqués dans ce rapport.

REMARQUES

L'article de Lee (1999) est le seul à établir un lien entre les « carburants propres » et les émissions; toutefois, le rôle des anticalaminants dans ces carburants n'est pas décrit.

Numéro de référence de l'étude – B.10 : Martin, D.P., et J.F. Unsworth. 2002. The M111 engine CCD and emissions test: Is it relevant to real-world vehicle data? *SAE Paper* 2002-01-1642.

VUE D'ENSEMBLE

Cet article examine la relation entre les dépôts dans la chambre de combustion et les données sur les émissions provenant du moteur d'essai au banc M111 de Mercedes et de deux véhicules routiers utilisant des carburants de base et avec additif.

Une procédure d'essai européenne a été utilisée pour évaluer les dépôts.

PROGRAMME D'ESSAI

Carburants

Le carburant de base était une essence traditionnelle respectant la norme sur les carburants de la CEE intitulée EURO II (jusqu'au 31 décembre 1999).

Quatre additifs détergents distincts ont été mélangés au carburant de base pour l'essai au banc du moteur; un seul de ces additifs a été utilisé dans le cadre des essais concernant les véhicules routiers.

Véhicules/moteurs

1 moteur M111 de Mercedes Benz

2 véhicules Mercedes C200 équipés de moteurs M111 (moteur identique à celui de l'essai au banc)

- Moteur PFI 4 cylindres, 2 L DACT, 4 soupapes

2 véhicules Mondeo de Ford équipés de moteurs Zetec

- Moteur PFI 4 cylindres, 2 L DACT, 4 soupapes

Méthode d'essai :

Les 4 véhicules routiers ont été soumis à une accumulation de 11 200 km au cours du cycle d'essai ECE + EUDC.

Le moteur d'essai au banc M111 a quant à lui été soumis à un fonctionnement de 180 h (équivalant à 11 200 km) selon un cycle d'essai PF20 modifié et étendu.

Les émissions de NO_x et l'épaisseur des DCC sur la tête de piston ont été mesurées à intervalle régulier tout au long de l'accumulation des 11 200 milles.

- Les procédures relatives aux émissions ont consisté en trois cycles d'essais ECE 15.05 (ralenti de 40 sec) + EUDC en utilisant le carburant d'essai.
- L'épaisseur des DCC a été mesurée de façon non intrusive sur la tête de piston, directement sous la bougie d'allumage, par le puits de bougie.
 - Un Dualscope Fischer a mesuré les modifications de l'inductance liées à l'épaisseur.

RÉSULTATS PERTINENTS

Résultats obtenus avec le moteur au banc d'essai M111

- L'épaisseur des DCC dans le temps s'est caractérisée par une augmentation relativement rapide au début de l'essai PF20; plus tard, la rapidité de l'augmentation des dépôts a graduellement ralenti pour atteindre un plateau.
- Les émissions de NO_x à la sortie du moteur ont suivi la même tendance dans le temps que l'épaisseur des DCC.

Résultats obtenus avec le véhicule routier Mercedes

- Après environ 9 400 km, l'épaisseur des DCC sur les pistons atteignait 45 µm pour le carburant de base et 59 µm pour le carburant avec additif.
- Les émissions de NO_x à la sortie du moteur ont augmenté en même temps que l'épaisseur des DCC de 14 % en moyenne pour les deux carburants.

Résultats obtenus avec le véhicule routier Mondeo

- Après environ 11 200 km, l'épaisseur des DCC sur les pistons atteignait 106 µm pour le carburant de base et 94 µm pour le carburant avec additif.
- L'augmentation des émissions de NO_x à la sortie du moteur en même temps que l'épaisseur des DCC pour les deux Ford était moins claire que pour les véhicules d'essai Mercedes. Une réduction des émissions de NO_x en même temps qu'une augmentation de l'épaisseur des DCC a pu être constatée pour le véhicule Ford utilisant le carburant de base. Une augmentation de 10 % des émissions de NO_x a pu être observée dans le véhicule utilisant le carburant avec additif.

Résultats obtenus pour tous les véhicules routiers en ce qui concerne les émissions d'échappement de NO_x

- Les données relatives aux émissions d'échappement de NO_x ont été écartées pour le véhicule Mercedes, car les émissions de NO_x ont augmenté, pour des raisons inconnues, de 150 %.
- Les 3 véhicules restants ont vu leurs émissions d'échappement de NO_x augmenter de 30 à 33 % au cours de l'essai de 11 200 km.
- Le pourcentage des augmentations dans les émissions d'échappement était significativement supérieur aux mesures effectuées à la sortie du moteur et pourrait être influencé par les changements du rapport air/carburant.

Les relations entre les émissions de NO_x (en g) à la sortie du moteur et l'épaisseur des DCC (en µm) sont présentées sous forme de graphique; les points de données correspondaient à une régression linéaire.

- La relation entre les émissions de NO_x et les DCC pour les deux véhicules Mercedes (utilisant du carburant de base et du carburant avec additif) est : $R^2 = 0,758$ et $0,885$.
- Cette relation pour les deux véhicules Ford (carburant de base et carburant avec additif) était : $R^2 = 0,491$ pour le carburant avec additif.

FORCES/FAIBLESSES/LACUNES EN MATIÈRE DE DONNÉES

La composition et le dosage des additifs sont inconnus; cependant, les auteurs indiquent que l'objectif du dosage utilisé était d'empêcher les dépôts dans les soupapes d'admission afin que ces derniers n'aient aucune répercussion sur les émissions. Les instruments de mesure des émissions de NO_x sont inconnus. Le lien direct entre les effets du carburant de base et les effets des carburants avec additif n'était pas apparent dans les résultats de l'étude.

REMARQUES

Aucune

Numéro de référence de l'étude – B.11 : CRC. 2002. « Combustion Chamber Deposit Research Tool Development, Part 1, Vehicle Deposits and Emissions ». CRC Report No. 630.

VUE D'ENSEMBLE

Le rapport n° 630 du CRC est le premier volet d'un projet en deux parties visant à élaborer un outil de recherche pour évaluer les dépôts dans la chambre de combustion (DCC) des moteurs automobiles à allumage commandé. Le premier volet de cette étude consiste en un programme d'essai sur véhicules routiers (deux modèles de véhicules de 1999) en vue de classer cinq carburants selon leur capacité à former des DCC.

PROGRAMME D'ESSAI

Carburants

Le Carburant E était le carburant de base (RF-A sans additif)

Le Carburant D était le même carburant avec additif que celui utilisé dans le cadre du projet E-6 du CRC [numéro de référence de l'étude – B.15], un carburant à forte capacité de formation de DCC.

Les Carburants A, B et C ne sont pas clairement définis, mais chacun correspond à l'un des éléments suivants (pas nécessairement dans le même ordre) :

- Polyétheramine (PEA), supercarburant
- Polyisobutyl amine (PIBA), supercarburant avec porteur synthétique
- PIBA à concentration d'additifs minimale (CAM) plus 10 % avec porteur synthétique

Véhicules/moteurs :

4 camionnettes Chevrolet Silverado de GM de 1999 équipées de moteurs V8 de 6 L

4 berlines Dodge Neon de DaimlerChrysler de 1999 équipées de moteurs 4 cylindres de 2 L

Méthode d'essai :

Il s'agissait d'une étude à l'échelle de banc d'essai utilisant un cycle d'essai AMA (Approved Mileage Accumulation) modifié sur une distance de 15 000 milles.

Les dépôts sur les soupapes d'admission ont été évalués visuellement après 15 000 milles en utilisant un fibroscope, puis nettoyés/éliminés avant l'analyse des émissions.

Les émissions d'HCNM, de CO, de NO_x ainsi que l'économie de carburant ont été mesurées avant et après 15 000 milles.

Dans les 24 h suivant l'analyse des émissions, l'épaisseur et le poids total des DCC (sur le fond de piston et la culasse) ont été mesurés.

Période d'accumulation des dépôts

Après le rodage, chaque combinaison carburant/véhicule a été testée sur une distance de 15 000 milles selon le cycle d'essai AMA modifié décrit dans l'article de l'étude n° 15. Les dépôts sur les soupapes d'admission ont été nettoyés par l'entremise d'un décapage avec des coquilles de noix après 15 000 milles.

RÉSULTATS PERTINENTS

Un niveau de confiance 95 % a été utilisé pour juger la signification statistique.

Dépôts dans les véhicules Dodge Neon de DC.

- Poids total des DCC.
 - Le poids le moins élevé des DCC correspondait au Carburant E (carburant de base).
 - Le poids le plus élevé des DCC résultait de l'utilisation du Carburant D (carburant à forte capacité de formation de DCC).
 - Le Carburant D entraînait un poids des DCC significativement plus élevé que les carburants commerciaux B et C et que le Carburant E (carburant de base).
 - Le Carburant D engendrait des DCC plus élevés que le Carburant A, mais pas de façon statistiquement significative.
 - En comparant les 3 détergents commerciaux au carburant de base (Carburant E), le poids total des DCC :
 - a augmenté au minimum de 57 % (pour le Carburant B par rapport au Carburant E);
 - a augmenté au maximum de 82 % (pour le Carburant A par rapport au Carburant E).
- Épaisseur des DCC
 - Par rapport aux carburants commerciaux A, B et C, le Carburant D a engendré des dépôts sur le fond de piston significativement plus élevés tandis que le Carburant E a engendré des dépôts significativement moins élevés.
 - On a constaté pour les Carburants B et E une épaisseur de DCC sur la culasse significativement inférieure à celle observée avec les Carburants A et D (le Carburant C n'étant pas statistiquement différent des autres carburants).
- Évaluation des dépôts sur les soupapes d'admission
 - Le groupe des Carburants A, B et D a permis de conserver des soupapes d'admission très propres, significativement plus propres que le groupe des Carburants E et C, ces derniers entraînant une accumulation importante de dépôts sur les soupapes. Au sein de ces deux groupes, les différences dans l'évaluation des dépôts sur les soupapes d'admission ne se sont pas avérées statistiquement significatives.

Dépôts dans les véhicules Chevrolet Silverado de GM

- Poids total des DCC

- Résultats du classement des carburants similaires à ceux obtenus pour la Dodge Neon ci-dessus, sauf concernant le Carburant D pour lequel le poids observé était significativement plus élevé que celui constaté avec les autres carburants (y compris le Carburant A).
 - Les augmentations du poids des DCC par rapport au carburant de base (Carburant E) allaient de 59 % (Carburant B) à 89 % (Carburant A) pour les ensembles de détergents commerciaux. L'augmentation était de 139 % pour le Carburant D.
 - Épaisseur des DCC
 - Classement des carburants similaire à celui de la Dodge Neon en ce qui concerne l'épaisseur des DCC, sauf pour l'épaisseur sur le fond de piston qui était significativement supérieure pour le Carburant A à celle observée pour le Carburant C.
 - Épaisseurs moyennes : significativement plus importantes pour le Carburant D que celles observées pour le Carburant A, qui sont elles-mêmes significativement plus importantes que celles observées pour les Carburants B et C, elles-mêmes significativement plus importantes que celles observées pour le Carburant E.
 - Évaluation des dépôts sur les soupapes d'admission
 - Classement significatif similaire à celui constaté pour la Dodge Neon en ce qui concerne les dépôts sur les soupapes d'admission.
- Résultats pour les deux véhicules en ce qui concerne les émissions
- Augmentations des émissions liées aux DCC analysées de trois différentes manières.
 - Aucune différence statistiquement significative entre les émissions résultant des divers types de carburants.
 - Les résultats n'ont offert aucune nouvelle perspective quant aux effets des DCC sur les émissions des véhicules.

FORCES/FAIBLESSES/LACUNES EN MATIÈRE DE DONNÉES

Le type d'anticalaminant utilisé (PEA, PIBA ou PIBA à CAM plus 10 %) n'était pas associé à un Carburant A, B ou C particulier.

La composition chimique de l'anticalaminant dans le Carburant D est inconnue.

REMARQUES

Aucune

Numéro de référence de l'étude – B.12 : CRC. 2005. « Combustion Chamber Deposit Research Tool Development, Part 2, Engine Dynamometer Testing ». CRC Report No. 644.

VUE D'ENSEMBLE

Le rapport n° 644 du CRC est le deuxième volet d'un projet en deux parties visant à élaborer un outil de recherche pour évaluer les dépôts dans la chambre de combustion (DCC) des moteurs à allumage commandé. Le premier volet de ce projet [numéro de référence de l'étude – B.11] se concentre sur des essais sur véhicules routiers alors que ce second volet a pour objectif de déterminer un moteur, un cycle et une durée pour un

essai dynamométrique permettant de classer les additifs dans le même ordre relatif que celui obtenu pour les véhicules routiers au cours du premier volet.

PROGRAMME D'ESSAI

Carburants

Carburants (identiques à ceux du premier volet de l'étude)
Carburant E (carburant de base), Carburants A, B, C (additifs commerciaux inconnus),
Carburant D (carburant à forte capacité de formation provenant de l'étude E-6 du CRC)

Véhicules/moteurs (identiques à ceux du premier volet de l'étude)

berline Dodge Neon de DC équipée d'un moteur 4 cylindres de 2 L
camionnette Chevrolet Silverado de GM équipée d'un moteur V8 de 6 L (les essais sur la camionnette de GM ont été interrompus au milieu de l'étude lorsqu'il s'est avéré que les résultats étaient très similaires à ceux obtenus pour la Neon)

Méthode d'essai :

Un cycle d'essai non standard a été utilisé. Cycles d'essai dynamométrique.
AMA modifié – conçu pour répliquer le cycle d'essai routier du premier volet de l'étude.
Simple – conçu pour être similaire à l'AMA modifié, mais avec beaucoup moins de sections d'accélération et de décélération afin de réaliser un cycle d'essai plus simple.
AMA – modifié avec périodes de refroidissement – AMA modifié pour des cycles de 16 heures suivis par une nuit de refroidissement de 8 heures.
Adoucissement – suppression des vitesses les plus élevées en conditions stables des autres cycles; cependant, les essais utilisant ce cycle se sont avérés inexacts et ce cycle a été interrompu.
Adoucissement-10 – conçu pour reproduire les valeurs de la consommation de carburant des véhicules.
Simple-15 – semblable au cycle simple, mais avec des sections de passage du ralenti au régime permanent de 15 secondes au lieu de 6 secondes.
Les mesures des dépôts sur les soupapes d'admission et des DCC sont identiques au premier volet de l'étude (sur les véhicules routiers).
Les données relatives aux mesures des DCC et des dépôts sur les soupapes d'admission ont été analysées en utilisant des méthodes standard de modélisation linéaire avec le logiciel statistique SAS^{MD}.
Les résidus de gomme non lavée ont été préparés conformément à la norme ASTM D381 intitulée « Standard Test Method for Gum Content in Fuels by Jet Evaporation ».

RÉSULTATS PERTINENTS

L'essai dynamométrique du moteur s'est avéré moins efficace pour différencier les carburants que les mesures des DCC réalisées sur les véhicules routiers.
Au cours du premier volet de l'étude (sur les véhicules routiers), le Carburant D affichait une augmentation du poids total des DCC de 118 % par rapport au Carburant E.
Au cours du second volet, la différence entre le Carburant E et le Carburant D était d'environ 25 % à 50 % pour les cycles d'essai dynamométrique du moteur.
Le cycle AMA modifié est celui qui a montré la plus grande capacité à différencier les 5 carburants testés d'après le poids total des DCC.

Le cycle ADOUCISSEMENT-10 a classé les additifs commerciaux A, B et C dans un ordre différent de celui obtenu à partir de l'essai sur les véhicules routiers. Le Carburant de base E a entraîné le poids de DCC le plus faible tandis que le Carburant D a entraîné le poids de DCC le plus élevé.

Les gommes non lavées présentes dans les cinq carburants essence n'ont pas permis de constater de corrélation utile concernant le potentiel des DCC; les régressions linéaires affichent de faibles R^2 (0,66 pour la camionnette GM et 0,53 pour la voiture Neon de DC).

FORCES/FAIBLESSES/LACUNES EN MATIÈRE DE DONNÉES

Aucune analyse des émissions n'a été effectuée.

REMARQUES

Aucune

Numéro de référence de l'étude – B.13 : Balysky, N.R., A.J. Lonardo, A.A. Millard et K. Brunner. 2001. Vektron® 6913 gasoline additive NO_x evaluation fleet test program. SAE Paper 2001-01-1997.

VUE D'ENSEMBLE

Cette étude, effectuée au Southwest Research Institute, consiste en un essai portant sur un parc de 28 véhicules visant à étudier la réduction des émissions de NO_x entraînée par l'utilisation de l'additif Vektron^{MD} 6913. Voici les objectifs de cette étude :

- signaler toute réduction des émissions de NO_x obtenue grâce à l'utilisation de l'additif Vektron;
- estimer l'impact de l'additif Vektron sur les autres polluants courants;
- tester l'effet d'un « changement de marque » entre un mélange de carburant composé à 50 % de l'additif Vektron (carburant d'essai) et un mélange de carburant composé à 50 % de l'additif Infineum (carburant de référence).

PROGRAMME D'ESSAI

Carburants

Carburant de base (sans additif) : se rapprochait des caractéristiques physiques et chimiques de l'essence reformulée (RFG) de Californie Phase 2 sans produit oxygéné.

Carburant de référence : Carburant de base + Infineum F7721; l'Infineum F7721 est un anticalaminant conventionnel avec un porteur synthétique.

Carburant d'essai : Carburant de base + Vektron 6913; le Vektron 6913 est identique au détergent Infineum, mais dispose en outre d'un composant ayant pour fonction de réduire les émissions de NO_x.

Les taux de traitement de référence et les carburants d'essai ont été sélectionnés pour donner la même concentration de détergent dans le carburant fini (environ le double de la CAM).

Analyse des émissions (d'échappement) :

Véhicules/moteurs :

Les modèles ont été choisis pour créer un échantillon représentatif des véhicules formant les parcs de 2001 et d'un avenir proche. Quatre véhicules de chacun des 7 modèles suivants forment l'échantillon de 28 véhicules :

- Ford Explorer de 1999 équipé d'un moteur V6 MPFI de 4 L, automatique, certifié VPP/camionnette.
- Chevrolet-1500 de 1999 équipé d'un moteur V8 CSFI de 5,7 L, automatique, certifié camionnette.
- Honda Accord de 1998 équipé d'un moteur quatre cylindres en ligne MPFI de 2,3 L, automatique, certifié VPP/véhicule léger.
- Ford F-150 de 1994 équipé d'un moteur V8 MPFI de 4,6 L, automatique, certifié camionnette.
- Ford Escort de 1996 équipé d'un moteur quatre cylindres en ligne MPFI de 1,9 L, automatique, certifié véhicule léger.
- Dodge Caravan de 1995 équipé d'un moteur V6 MPFI de 3,3 L, automatique, certifié camionnette.
- Buick LeSabre (GM) de 1994*/Oldsmobile 88 Royale* équipés de moteurs V6 MPFI de 3,8 L, automatiques, certifiés véhicules légers. *Dans ce groupe de 4 véhicules, 3 modèles étaient des Buick (GM) et 1 modèle était une Oldsmobile 88 Royale.

Aucune préparation préliminaire des véhicules, mais chacun devait avoir parcouru 1 000 milles au hasard sur la route en utilisant le carburant de référence et était soumis à une vérification permettant d'établir son admissibilité (la consommation d'huile maximale autorisée et les analyses des émissions de la méthode FTP ne pouvant dépasser 125 % de la valeur de la norme relative aux émissions).

Une accumulation des dépôts a été effectuée sur une distance de 16 000 milles sur la route (parcours de 2 x 8 000 milles) sur un dynamomètre d'accumulation de millage. Le dynamomètre d'accumulation de millage fonctionnait sur un seul véhicule pendant 16 h/jour au maximum, avec une période de refroidissement de 8 heures. On a utilisé le cycle de conduite du titre 40 CFR 1 86.084-26 tel qu'il a été modifié dans le document Advisory Circular A/C No. 37-A du Mobile Source Air Pollution Control (MSAPC) avec un mode de conduite à 70 mi/h au maximum.

Descriptions des carburants :

Méthode d'essai :

Cycles de conduite FTP-75, US06 et HFET

Les émissions de NO_x, de CO, d'HC et de CO₂ ont été analysées avant et après les premiers 8 000 milles ainsi qu'après 16 000 milles sur le dynamomètre d'accumulation du millage.

RÉSULTATS PERTINENTS

Une réduction moyenne de 10 % des émissions de NO_x en utilisant l'essence contenant du Vektron 6913 (niveau de confiance > 90 %).

Le résultat reste identique lorsque le carburant contenant du Vektron est utilisé de façon intermittente (« changement de marque » avec l'essence contenant du Infineum) ou de façon permanente.

Aucun effet négatif sur les autres polluants courants (CO, HC) ou sur la consommation de carburant (CO₂); les réductions observées n'ont pas été jugées statistiquement significatives et n'ont donc pas été indiquées.

FORCES/FAIBLESSES/LACUNES EN MATIÈRE DE DONNÉES

Aucune

REMARQUES

Aucune

Numéro de référence de l'étude – B.14 : Tondelli, G., M. Carriero et A. Pedicillo. 2000. Combustion chamber deposits: Fuel and lubricant effects on exhaust hydrocarbon emissions measured by fast FID analyzer. *SAE Paper* 2000-01-2024.

VUE D'ENSEMBLE

Cet article examine l'effet des DCC sur les émissions d'HC dans le cadre d'un essai de moteur. L'unique rôle de l'anticalaminant dans cette étude était dans la période d'accumulation des dépôts au cours de laquelle le moteur a fonctionné pendant 60 heures.

PROGRAMME D'ESSAI

Carburants :

- 3 carburants d'essai contenant des composants purs :
- iso-octane (classe chimique des paraffines);
 - 2-méthyl-2-butène (classe chimique des mono-oléfinés);
 - toluène (classe chimique des aromatiques).

Carburant CEC-rf-83-a-91 auquel a été ajouté un anticalaminant à une concentration de 800 ppm (plus élevée qu'un traitement normal).

Accumulation de dépôts

Les dépôts s'accumulent sur une période de 60 heures avec l'anticalaminant à une concentration élevée (800 ppm) dans un carburant européen.

Véhicules/moteurs :

Le moteur M111E de Mercedes Benz à allumage commandé, 2 L, 4 cylindres, injection multipoint de carburant.

Méthode d'essai :

Un cycle d'essai non standard a été utilisé. Les émissions d'hydrocarbures ont été mesurées (avec et sans dépôt) à la sortie du moteur, ce dernier fonctionnant à un régime de 2 500 tr/min avec le papillon des gaz ouvert au maximum.

Un analyseur des dépôts dans les injecteurs de carburant à réponse rapide a été installé dans l'orifice d'échappement des cylindres n° 1 et n° 4.

RÉSULTATS PERTINENTS

Le carburant CEC-rf-83-a-91 avec un anticalaminant à une concentration de 800 ppm a permis d'obtenir un poids total de DCC de 1 441 mg tandis que le poids moyen des dépôts sur les soupapes d'admission était de 20 mg par cylindre.

Les émissions d'HC ont été mesurées pour le moteur M111 avec ou sans dépôt. Il a été constaté que les émissions variaient selon l'angle de vilebrequin et formaient 2 pics distincts pour les concentrations d'HC.

- Pic 1 (angle de vilebrequin – 540) : 1 151 ppm d'HC sans dépôt; 1 545 ppm d'HC avec dépôts, soit une augmentation de 34 %.
- Pic 2 (angle de vilebrequin – 655) : 678 ppm d'HC sans dépôt; 1 133 ppm d'HC avec dépôts, soit une augmentation de 67 %.

FORCES/FAIBLESSES/LACUNES EN MATIÈRE DE DONNÉES

Aucune analyse statistique.

Aucun lien entre l'anticalaminant et les DCC.

REMARQUES

Aucune

Numéro de référence de l'étude – B.15 : CRC; CCD Emissions Group. 2000. « Effects of Combustion Chamber Deposits on Vehicle Emissions and Fuel Economy ». CRC Project No. E-6 (avril).

VUE D'ENSEMBLE

Contexte réglementaire :

En 1996, l'EPA a mis en place un programme de certification pour les additifs (Federal Register, vol. 61, n° 31) en vue de réduire la formation de dépôts de l'injection dans la lumière d'admission et de dépôts sur les soupapes d'admission dans les moteurs à essence (les DCC n'étant pas soumis à une réglementation aux États-Unis).

Motif/objet :

L'EPA a rendu obligatoire l'utilisation d'anticalaminants pour réduire les dépôts sur les soupapes d'admission et les dépôts de l'injection dans la lumière d'admission, mais les effets supplémentaires des DCC sur les émissions sont inconnus.

L'objectif du CRC est d'établir une relation entre les DCC et les émissions et de définir les variables importantes pour un essai de contrôle des DCC.

PROGRAMME D'ESSAI

Carburants :

Carburant à faible capacité de formation de DCC : Le carburant de base sans additif sélectionné était l'Auto/Oil Industry Average (RF-A), représentatif des essences ordinaires sans plomb du milieu de gamme commercialisées aux États-Unis.

Carburant à capacité moyenne de formation de DCC : Carburant de base mélangé à un anticalaminant de composition chimique inconnue produisant des quantités « modérées » de DCC.

Carburant à forte capacité de formation de DCC : Carburant de base mélangé à un anticalaminant de composition chimique inconnue produisant des quantités « élevées » de DCC.

Les additifs utilisés pour les carburants à forte capacité ou à capacité moyenne de formation de DCC ont été fournis par la Chemical Manufacturers' Association et ont été utilisés selon les doses recommandées, ces dernières n'étant pas nécessairement fondées sur les pratiques commerciales observées.

Véhicules/moteurs :

28 véhicules (7 véhicules parmi 4 groupes de modèles) soumis à une phase de rodage de 0 à 6 000 milles, puis à une phase d'accumulation des dépôts de 6 000 à 15 000 milles en utilisant un cycle d'essai d'accumulation du millage AMA modifié.

- Dodge Neon de 1996 équipé d'un moteur à 4 cylindres en ligne de 2 L, certifié VPPT en Californie.
- Dodge Caravan de 1996 équipé d'un moteur V6 de 3,3 L, certifié camionnette dans 50 États.
- Oldsmobile 88 de 1996 équipé d'un moteur V6 de 3,8 L, certifié véhicule léger dans 50 États.
- Crown Victoria de 1996 équipé d'un moteur V8 de 4,6 L, certifié VPPT en Californie.

Des analyses des émissions ont été réalisées aux moments suivants pendant le fonctionnement des véhicules :

- Base de référence – moteur propre, dépôts éliminés; après 6 000 milles
- Moteur sale – accumulations de DCC et de dépôts sur les soupapes d'admission; après 15 000 milles
- DCC uniquement – dépôts sur les soupapes d'admission éliminés, DCC laissés en place, après 15 000 milles
- Moteur propre – similaire au précédent, sauf que les DCC sont également éliminés

Les véhicules sont équipés d'un système d'échappement catalytique, de sondes d'oxygène, d'injecteurs de carburant et d'un nouvel absorbeur de vapeurs de carburant.

Méthode d'essai :

Pour le cycle FTP, les émissions d'échappement sont déterminées à partir de la collecte de 3 sacs de flux de gaz d'échappement dilués pour mesurer les niveaux d'HC, d'HCM, de CH₄, de CO, de NO_x et de CO₂.

Les émissions à la sortie du moteur sont calculées à partir de gaz d'échappement non dilués avant leur traitement par le système d'échappement catalytique du véhicule (seuls les niveaux d'HC, de CO, de NO_x et de CO₂ sont déterminés).

Quantification des dépôts au cours des 15 000 milles d'accumulation pour les carburants de base et avec additif.

- Évaluation visuelle en utilisant la procédure du CRC, avec une échelle de 1 à 10.
- Mesure de l'épaisseur.
- Mesure du poids.

Les essais sur les émissions ont été effectués deux fois pour chacun des 4 points de données; un minimum de 224 essais sur les émissions (28 véhicules x 4 points de

données sur les émissions x 2 essais). Les essais étaient effectués à nouveau lorsque la répétabilité mesurée était faible (10 essais ont été effectués une troisième fois).

RÉSULTATS PERTINENTS

Les effets des DCC sur les émissions de NO_x et de CO₂ ainsi que sur l'économie de carburant se sont avérés statistiquement significatifs (elles ont toutes augmenté avec les carburants avec additif et en présence de DCC).

Il s'est avéré impossible de définir une courbe représentant les émissions par rapport aux DCC, car les deux carburants avec additif ont présenté le même niveau de DCC.

L'augmentation des émissions de NO_x est cohérente avec l'effet de barrière thermique des DCC.

FORCES/FAIBLESSES/LACUNES EN MATIÈRE DE DONNÉES

Le dosage et la composition des anticalaminants utilisés dans le carburant sont inconnus.

REMARQUES

Aucune

Numéro de référence de l'étude – B.16 : Aradi, A.A., W.J. Colucci, H.M. Scull Jr. et M.J. Openshaw. 2000. A study of fuel additives for direct injection gasoline (DIG) injector deposit control. *SAE Paper* 2000-01-2020.

VUE D'ENSEMBLE

Cette étude reprend les résultats d'une étude exhaustive sur les additifs de carburant dans laquelle des anticalaminants de deux types chimiques (additifs de Mannich et additifs de polyétheramine) sont classés selon leur capacité de limiter les dépôts dans les injecteurs d'un moteur d'essai à essence à injection directe.

PROGRAMME D'ESSAI

Carburants

Carburants de base :

- Carburant Howell EEE : 20 ppm de soufre, 5 % d'oléfines, T90 (160 °C)
- Carburant n° 7 : représentatif de l'essence européenne en 2000, soit 153 ppm de soufre, 19,9 % d'oléfines, T90 (161 °C)
- Carburant n° 10 : représentatif de l'essence américaine, mais avec une concentration plus importante de soufre (421 ppm), 12,9 % d'oléfines, T90 (171 °C).

9 additifs détergents testés.

- 5 anticalaminants à base de Mannich.
- 4 anticalaminants à base de polyétheramine.

Véhicules/moteurs :

Moteur Nissan Z22e de 1982 – 2,2 L, combustion à bougies jumelées, 4 cylindres, modifié en vue de fonctionner en mode d'injection directe homogène.

Procédure d'accumulation des dépôts

Un essai dynamométrique de 6 heures pour accumuler les dépôts dans les injecteurs. Un régime moteur constant de 2 500 tr/min, avec des charges d'air variables de 200, 300, 400, 500 et 600 mg par temps (ayant entraîné des modifications de la température aux pointes d'injecteur).

Un intervalle de confiance de 95 % a été calculé à une température de 173 °C aux pointes d'injecteur (à partir d'une charge d'air de 500 mg par temps) ainsi qu'à une température supérieure de 184 °C avec une charge d'air de 600 mg par temps avec le carburant Howell EEE avec ou sans additif.

Pour le carburant n° 10, les points de charge de 200, 300 et 400 mg d'air par temps, correspondant aux températures aux pointes d'injecteur de 120 °C, 140 °C et 157 °C ont été utilisés, avec et sans additif.

RÉSULTATS PERTINENTS

Le carburant n° 10 + EM-1 (additif de Mannich) a permis de réduire les pertes de débit par l'injecteur quelle que soit la température de ce dernier par rapport au carburant n° 10 sans additif. Cette réduction était particulièrement prononcée aux deux températures les plus élevées (173 °C et 184 °C).

Le carburant n° 7 + EM-2a (additif de Mannich) était efficace en tant que nettoyant pendant l'essai de 6 heures. Après 3 heures d'utilisation du carburant ordinaire n° 7, le carburant n° 7 + EM-2a (additif de Mannich) a été utilisé pendant 3 heures. Une réduction de la perte de débit a alors pu être constatée par rapport à l'essai au cours duquel le carburant n° 7 avait été utilisé pendant la totalité des 6 heures.

L'essence de base Howell EEE a été utilisée dans le moteur pendant 6 heures et la perte de débit a atteint un maximum de 9,25 % à la sixième heure en raison de l'accumulation de dépôts; après 6 heures, un taux de traitement plus élevé que la normale de l'additif de Mannich EM-1 a été mélangé avec le carburant Howell EEE. On a alors fait fonctionner le moteur pendant 6 heures, réduisant la perte de débit à 2,77 % à la douzième heure.

Le carburant Howell EEE avec le détergent de Mannich offre un moyen efficace pour limiter les dépôts dans les injecteurs en réduisant l'obturation de 10,9 % à 5,7 % à la deuxième heure de l'essai de 6 heures. L'obturation est restée stable au cours des 4 dernières heures.

Le détergent à base de PEA s'est avéré nettement moins efficace, stabilisant la perte de débit à 9,4 % contre 5,7 % pour le détergent de Mannich.

FORCES/FAIBLESSES/LACUNES EN MATIÈRE DE DONNÉES

Aucune mesure des émissions.

REMARQUES

Aucune

Numéro de référence de l'étude – B.17 : Graskow, B.R., M.R. Ahmadi, J.E. Morris et D.B. Kittleson. 1999. Exhaust particulate emissions from two port-fuel injected, spark-ignition engines. *SAE Paper* 1999-01-1144.

VUE D'ENSEMBLE

Deux additifs (« A » et « B ») ont été mélangés à un carburant de base. La concentration et la distribution granulométrique des matières particulaires ont été mesurées à partir d'un moteur GM de 1993 utilisant le carburant de base et les carburants mélangés aux deux anticalaminants. Le carburant avec l'additif « A » a permis de réduire les émissions de matières particulaires tandis que le carburant avec l'additif « B » les a augmentées.

PROGRAMME D'ESSAI

Carburants :

Le carburant de base présentait les caractéristiques suivantes :

- Pourcentage volumique : 28,3 % d'aromatiques, 13,2 % d'oléfines, 58,5 % de paraffines/naphtènes.
- Total d'azote : 28 ppm par poids
- Soufre : 332 ppm par poids
- T10, T50, T90 et EP respectivement de 57,2 °C, 100,6 °C, 174,4 °C et 212,2 °C.
- Densité de 0,742 à 16 °C.
- IOR (indice d'octane recherche) et IOM (indice d'octane moteur) respectivement de 92,2 et 82,8.
- Tension de vapeur Reid : 51 kPa (7,4 psi).

Deux anticalaminants distincts ont été mélangés au carburant de base à des taux de traitement de raffinage, soit environ 300 à 400 ppm.

Véhicules/moteurs :

Moteur GM Quad-4 de 2,3 L (1993).

Aucune préparation préliminaire effectuée sur ce véhicule; le rodage de ce dernier avait été effectué précédemment pour une autre étude en suivant des procédures précises. Il avait à son actif un nombre important d'heures sur un dynamomètre.

Méthode d'essai :

Un cycle d'essai non standard a été utilisé. Un essai à 15 modes comprenant 15 conditions de fonctionnement en régime permanent a été utilisé pour étudier les caractéristiques des matières particulaires des gaz d'échappement : 1 500, 2 000 et 2 500 tr/min avec une pression absolue de la tubulure d'admission se chiffrant à 50, 60, 70, 80 et 90 kPa.

Les mesures de concentration et de distribution granulométrique ont été effectuées en amont et en aval du convertisseur catalytique d'échappement après l'utilisation de deux additifs anticalaminants distincts.

RÉSULTATS PERTINENTS

Les anticalaminants « A » et « B » n'influencent pas la tendance globale en matière de concentration : les concentrations spécifiques de matières particulaires au moment de l'arrêt augmentent de façon exponentielle lorsque la puissance au frein augmente, quel que soit le carburant utilisé.

Avec une puissance au frein modérée à élevée, les différences entre les deux additifs deviennent plus claires : l'additif « B » augmente la concentration totale de matières particulaires par rapport au carburant de base tandis que l'additif « A » réduit cette même concentration.

À des conditions de 2 500 tr/min et de 60 kPa de pression absolue de la tubulure d'admission et avec pour référence de comparaison la distribution granulométrique observée avec le carburant de base :

- l'additif « B » présente une concentration plus élevée de matières particulaires dans le mode noyau (particules < 50 nm) et une concentration légèrement inférieure de matières particulaires dans le mode accumulation (de 50 nm à 1 µm);
- l'additif « A » avait fortement réduit la concentration de matières particulaires dans les deux modes granulométriques.
- Le mécanisme de suppression de la formation de matières particulaires lié à l'additif « A » est inconnu.

FORCES/FAIBLESSES/LACUNES EN MATIÈRE DE DONNÉES

Composition chimique des additifs « A » et « B » inconnue.

REMARQUES

Aucune

Numéro de référence de l'étude – B.18 : Haider, H.A., et J.B. Heywood. 1997. Combustion chamber deposit effects on hydrocarbon emissions from spark ignition engine. *SAE Paper 972887*.

VUE D'ENSEMBLE

Cette étude évalue l'accumulation de DCC sur un moteur à allumage commandé et à injection dans la lumière d'admission. Elle détermine également l'impact des DCC sur les émissions d'HC.

PROGRAMME D'ESSAI

Carburant :

Tous les essais ont été réalisés avec un mélange spécial de carburant Chevron représentant une essence commerciale oxygénée, avec un ensemble d'additifs à base de polyéther qui empêche pratiquement tout dépôt dans les soupapes et orifices d'admission.

Véhicules/moteurs :

Un moteur Saturn PFI de 1991 de 4 cylindres équipé de systèmes d'admission et d'échappement de série, mais sans convertisseur catalytique.

Méthode d'essai :

Un cycle d'essai non standard a été utilisé. Un dynamomètre a été utilisé pour reproduire les conditions de fonctionnement sur route.

Quatre essais distincts sur l'accumulation de 100, 50, 25 et 35 heures ont été réalisés.

- Avant chaque essai, le moteur était démonté et les dépôts retirés.
- Des conditions de 1 400 tr/min à une charge de 10 % pendant 6 minutes succédaient à des conditions de 2 200 tr/min à une charge de 30 % pendant

12 minutes, pendant une période ininterrompue de 10 heures suivie d'une nuit de refroidissement.

RÉSULTATS PERTINENTS

Les émissions d'HC augmentaient rapidement entre les premières 10 à 15 heures pour se stabiliser ensuite après 25 heures, longtemps avant que l'épaisseur des dépôts ne se stabilise.

- Après 25 heures, l'épaisseur des dépôts était de 100 µm sur la culasse et de 50 µm sur le fond de piston.

L'augmentation des émissions d'HC provenant de l'accumulation de DCC comptait pour 10 à 20 % des émissions totales d'HC à la sortie du moteur, faisant ainsi des DCC une source d'émissions importante d'HC pour ce moteur.

Les DCC dans les cylindres ont apporté une contribution beaucoup plus importante aux émissions d'HC que les DCC sur le fond de piston.

FORCES/FAIBLESSES/LACUNES EN MATIÈRE DE DONNÉES

Aucune analyse statistique.

REMARQUES

Aucune

Numéro de référence de l'étude – B.19 : Barnes, J.R., et T. Stephenson. 1996. Influence of combustion chamber deposits on vehicle performance and tailpipe emissions. *SAE Paper* 962027.

VUE D'ENSEMBLE

Cette étude analyse l'effet de la suppression des DCC sur les émissions d'échappement sur plusieurs modèles de voitures européens avant et après une accumulation de 16 000 km.

PROGRAMME D'ESSAI

Carburants :

Un lot unique de carburant sans plomb d'IOR nominal 98 contenant un anticalaminant a été utilisé pour l'accumulation de dépôts.

Véhicules/moteurs :

3 paires de véhicules (6 au total) ont été soumises à l'essai (modèles de 1994 ou plus récents).

- Modèle de véhicule A : moteur PFI 4 cylindres de 2 L, boîte manuelle.
- Modèle de véhicule B : moteur PFI 4 cylindres de 1,4 L, boîte manuelle.
- Modèle de véhicule C : moteur PFI 4 cylindres de 2 L, boîte automatique.

Méthode d'essai :

Après 16 000 km, les émissions ont été mesurées dans le cadre d'un cycle d'essai combiné européen en condition de régime permanent.

Après le retrait et la mesure des DCC, les analyses des émissions ont été effectuées de nouveau en condition « d'absence de DCC ». Les dépôts dans les orifices d'aspiration ont été laissés *in situ*; ainsi, les effets sur les émissions calculés résultent uniquement de la présence de DCC.

L'épaisseur des DCC a été mesurée à l'aide d'un compteur Dualscope MP4 Fisher placé sur les surfaces du fond de piston et de la culasse.

RÉSULTATS PERTINENTS

Les paires de véhicules ont donné des niveaux de DCC très constants; le véhicule B a affiché les mesures globales sur les DCC les plus faibles.

La suppression des DCC a permis de réduire les émissions de NO_x et a eu un effet moindre et plus incertain sur les émissions d'HC et de CO.

La réduction des émissions de NO_x liée à la suppression des DCC était en moyenne de 25 % pour les 6 véhicules.

FORCES/FAIBLESSES/LACUNES EN MATIÈRE DE DONNÉES

Aucune

REMARQUES

Aucune

Numéro de référence de l'étude – B.20 : Papachristos, M.J., D. Williams, M.W. Vincent et A. Raath. 1995. Deposit control additive effects on CCD formation, engine performance and emissions. *SAE Paper 952447*.

VUE D'ENSEMBLE

Cette étude consistait en un programme d'essai de deux années conçu pour découvrir : 1) dans quelle mesure les émissions sont influencées par l'accumulation et l'élimination des DCC, 2) si les anticalaminants peuvent procurer des avantages sur le plan des émissions dans des conditions réelles de conduite sur route, et 3) si les DCC représentent un bon outil de prédiction pour le rendement du carburant dans des conditions de conduite sur route.

PROGRAMME D'ESSAI

Carburants :

Le carburant de base provenait d'un raffineur du Royaume-Uni et était représentatif de l'essence vendue à la pompe répondant à la norme européenne EN228.

Le carburant de base a été mélangé à un ensemble détergent homologué par l'EPA.

Accumulation de dépôts

Un cycle de conduite de 80 000 km présentant des vitesses différentes a été utilisé, mené 7 jours/semaine pendant 2 ans. Des temps d'arrêt et de refroidissement ont été effectués au hasard en vue d'imiter des « conditions de fonctionnement de la vie de tous les jours ».

Véhicules/moteurs :

Un parc de 6 véhicules a été sélectionné pour être représentatif des voitures populaires européennes et japonaises (paires) :

- Fabricant A : 1992, moteur à carburateur de 1,3 L sans catalyseur
- Fabricant B : 1992, moteur PFI de 1,7 L avec catalyseur
- Fabricant C : 1992, moteur PFI de 2,0 L avec catalyseur

Méthode d'essai :

Le cycle d'essai ECE 15 modifié en vue d'inclure le cycle de conduite extra-urbaine (EUDC) a été utilisé pour l'analyse des émissions.

Des mesures répétées ont été prises à toutes les étapes du projet.

À la fin des 80 000 km, des mesures des DCC ont été effectuées.

- La méthode d'évaluation visuelle du Coordinating Research Council (CRC) a été utilisée.
- Épaisseur.
- Poids : utilisation d'un DualScope MP4 Fischer.

RÉSULTATS PERTINENTS

L'additif a permis de réduire l'épaisseur des DCC par rapport au carburant de base, mais a augmenté le poids des DCC. Néanmoins, ces résultats n'ont pas été validés sur le plan statistique.

En général, les émissions d'HC, de CO et de NO_x ont augmenté parallèlement à l'accumulation de dépôts, mais seules les émissions de NO_x ont baissé après l'élimination mécanique des DCC.

Rassemblement des données relatives aux 3 voitures utilisant le carburant de base et aux 3 voitures utilisant le carburant avec anticalaminant :

- tout au long de la période d'accumulation de dépôts de 80 000 km, les émissions de NO_x dans les gaz d'échappement ont augmenté de 24 %;
- l'élimination mécanique des DCC a entraîné une baisse de 12 % des émissions de NO_x.

Les véhicules utilisant le carburant avec additif présentaient des émissions de CO et de NO_x respectivement de 22 % et de 20 % plus faibles que les véhicules utilisant le carburant de base au cours de la période d'accumulation de 80 000 km.

Aucun lien n'a été trouvé entre l'épaisseur ou l'évaluation des DCC et les émissions.

Un lien a été constaté entre le poids des DCC et les émissions de NO_x.

Des essais supplémentaires seraient nécessaires pour clarifier l'impact des DCC sur les émissions d'HC et de CO.

FORCES/FAIBLESSES/LACUNES EN MATIÈRE DE DONNÉES

Aucune

REMARQUES

Aucune

Numéro de référence de l'étude – B.21 : Zahalka, T.L., A.M. Kulinowski et D.J. Malfer. A fleet evaluation of IVD and CCD: Emissions effects and correlation to the BMW 318i and Ford 2.3L IVD tests. *SAE Paper 952447*.

VUE D'ENSEMBLE

Cette étude consiste en un essai sur un parc de véhicule conçu pour évaluer les effets des dépôts sur les soupapes d'admission et des DCC sur les émissions d'échappement réglementées (HC, CO et NO_x) ainsi que sur le rendement des véhicules.

PROGRAMME D'ESSAI

Carburants :

Six carburants d'essai distincts : 2 essences de base et 3 ensembles d'anticalaminants disponibles sur le marché.

- Anticalaminant X : conçu pour limiter les dépôts sur les soupapes d'admission et les dépôts de l'injection dans la lumière d'admission (fluide porteur à base d'huile minérale)
- Anticalaminant Y : conçu pour limiter les dépôts sur les soupapes d'admission, les dépôts de l'injection dans la lumière d'admission et les DCC (totalement synthétique)
- Anticalaminant Z : conçu pour limiter les dépôts sur les soupapes d'admission, les dépôts de l'injection dans la lumière d'admission et les DCC (totalement synthétique)
 - Pour des raisons inconnues, il est indiqué que l'importance de l'anticalaminant Z est moindre dans le cadre de cette étude.

Véhicules/moteurs :

Vingt véhicules de l'année de modèle 1994 équipés de moteurs Ford à allumage commandé de 2,3 L.

Accumulation de dépôts

Les véhicules de l'année de modèle 1994 ont été conduits par des pilotes formés sur une distance de 40 225 km suivant un parcours d'essai conçu pour favoriser l'accumulation de dépôts dans les soupapes d'admission (70 % d'autoroutes, 20 % de routes secondaires, 10 % de ville).

Méthode d'essai :

Un cycle d'essai non standard a été utilisé.

Des analyses des émissions ont été réalisées au départ, après 6 400 km, après 37 000 km et à l'arrivée (40 225 km).

Les dépôts sur les soupapes d'admission ont été pesés à la fin de l'essai.

- Les soupapes ont ensuite été nettoyées par l'entremise d'un décapage avec des coquilles de noix et d'un nettoyage avec une brosse métallique. Le poids des dépôts sur les soupapes d'admission a été déterminé en soustrayant le poids de la soupape propre au poids de la soupape encrassée.

L'épaisseur et le poids des DCC ont été évalués à la fin de l'essai.

- L'épaisseur a été mesurée à l'aide d'un permascope Fischer.
- Les dépôts ont été raclés et leur poids a été arrondi au dixième de milligramme près.

L'importance statistique a été évaluée en utilisant un concept à une variable avec le logiciel Design-Ease.

RÉSULTATS PERTINENTS

Tous les additifs évalués ont permis une réduction significative des dépôts sur les soupapes d'admission.

Tous les additifs ont augmenté les DCC par rapport au carburant de base (niveau de confiance de 99 %).

Les additifs synthétiques ont entraîné une augmentation des DCC moindre que l'ensemble d'anticalaminant composé d'un fluide porteur à base d'huile minérale.

Le lien entre les émissions de NO_x et les DCC n'était pas statistiquement significatif.

Les émissions d'HC et de CO pour le carburant sans additif étaient significativement plus élevées que pour les carburants avec additif (niveau de confiance de 99 %).

- Les variations des niveaux de DCC observés avec les carburants avec additif n'ont eu aucun effet sur les émissions d'HC et de CO, suggérant ainsi que le fait de limiter les dépôts sur les soupapes d'admission est le moyen le plus efficace de réduire ces émissions.

FORCES/FAIBLESSES/LACUNES EN MATIÈRE DE DONNÉES

Aucune

REMARQUES

Aucune

Numéro de référence de l'étude – B.22 : Bitting, W.H., G.P. Firmstone et C.T. Keller. 1994. Effects of combustion chamber deposits on tailpipe emissions. *SAE Paper* 940345.

VUE D'ENSEMBLE

Cette étude avait pour but d'analyser les effets des dépôts dans la chambre de combustion (DCC) sur les émissions d'HC, de CO et de NO_x dans les gaz d'échappement.

Quatre véhicules d'années de modèles différentes ont été évalués selon quatre conditions d'accumulation de dépôts distinctes.

PROGRAMME D'ESSAI

Carburants :

Trois différents carburants ont été mélangés à partir de circuits de raffinage en vue de correspondre à de l'essence sans plomb que l'on retrouve communément à la pompe. Tous les carburants contenaient le même détergent de lutte contre les dépôts dans les soupapes d'admission à des doses suffisantes pour surpasser le critère de « millage illimité » de BMW de 100 mg en moyenne par soupape de l'essai de BMW sur 10 000 milles.

Véhicules/moteurs :

Buick Century de GM de 1986, moteur de 3,8 L.

Pontiac Grand Am de GM de 1989, moteur de 2,3 L.

Mercury Sable de Ford de 1990, moteur de 3 L.

Plymouth Voyager de Chrysler de 1992, moteur de 3 L.

Les 4 véhicules étaient équipés de systèmes d'injection dans la lumière d'admission et de contrôle des émissions d'échappement en circuit fermé.
Une paire de chaque marque/modèle a été utilisée.

Méthode d'essai :

Le cycle FTP a été utilisé pour l'analyse des émissions, avec des mesures prises dans quatre types de conditions :

1. RÉFÉRENCE : moteur minutieusement nettoyé, avant l'accumulation de millage.
2. AVEC DÉPÔTS : condition des moteurs après une accumulation de 9 000 milles.
3. SANS DCC : après les mesures en condition AVEC DÉPÔTS, décapage avec des coquilles de noix pour éliminer les DCC.
4. RÉFÉRENCE 2 : après la condition SANS DCC, les culasses et le système d'admission ont été nettoyés minutieusement.

Des mesures répétées ont été recueillies sur chaque véhicule d'essai.

Les dépôts se sont accumulés dans le moteur après plus 9 000 milles sur un dynamomètre à châssis.

L'accumulation de millage a été menée selon un modèle cyclique à régime permanent, la pression absolue de la tubulure d'admission et la vitesse du véhicule étant utilisées en tant que points de contrôle.

- o Condition de régime permanent en « cycle élevé » : vitesse sur autoroute et pression absolue de la tubulure d'admission réglées selon une charge légèrement supérieure à celle qui existerait sur une route plate.
- o Condition de régime permanent en « cycle bas » : vitesse de conduite en ville avec une charge similaire à celle utilisée pour le cycle élevé.
- o La séquence de conduite se déroulait comme suit : cycle élevé de 12 minutes suivi d'une phase de décélération de 30 secondes, puis d'un cycle bas de 6 minutes suivi d'une phase d'accélération de 30 secondes pour atteindre le cycle élevé et recommencer le cycle.

RÉSULTATS PERTINENTS

Une analyse de la variance a été utilisée pour déterminer l'impact de la procédure d'essai sur les émissions d'échappement. Des procédures de comparaisons multiples ont été utilisées avec l'approche de Bonferroni et la méthode de Dunnett.

En ce qui concerne la mesure des émissions d'HC, aucune des conditions (RÉFÉRENCE, AVEC DÉPÔTS, SANS DCC, RÉFÉRENCE 2) n'était statistiquement significative.

En ce qui concerne la mesure des émissions de CO, la condition AVEC DÉPÔTS était significativement plus importante que la condition SANS DCC (niveau de confiance de 90 %).

En ce qui concerne la mesure des émissions de NO_x, la condition AVEC DÉPÔTS était statistiquement plus importante que les 3 autres conditions (niveau de confiance de 90 %).

Les différences entre les années de modèles n'étaient pas significatives; les résultats obtenus pour l'ensemble des véhicules ont été rassemblés dans 3 tableaux.

En général, les émissions d'HC, de CO et de NO_x ont toutes augmenté parallèlement à l'élimination des DCC (seules les émissions de NO_x de façon statistiquement

significative) et diminué avec l'élimination des DCC (seules les émissions de CO et de NO_x de façon statistiquement significative).

Voici les résultats statistiquement significatifs en matière de modification moyenne des émissions :

- les émissions de NO_x ont augmenté de 47 % entre la condition RÉFÉRENCE et la condition AVEC DÉPÔTS;
- les émissions de NO_x ont diminué de 20 % entre la condition AVEC DÉPÔTS et la condition SANS DCC;
- les émissions de CO ont diminué de 26 % entre la condition AVEC DÉPÔTS et la condition SANS DCC.

FORCES/FAIBLESSES/LACUNES EN MATIÈRE DE DONNÉES

Lien établi entre les DCC et les émissions, mais pas entre les anticalaminants et les émissions.

REMARQUES

Aucune

Numéro de référence de l'étude – B.23 : R. Lee. 1999. SI Engine combustion chamber deposits and their effects upon emissions. *SAE Paper* 1999-01-3583.

VUE D'ENSEMBLE

Cette étude a mesuré l'effet de l'épaisseur des DCC sur les émissions d'échappement selon la FTP.

PROGRAMME D'ESSAI

Carburants :

Trois carburants disponibles sur le marché ont été utilisés pour accumuler des niveaux de DCC :

- Carburant A : essence reformulée de Californie phase 2
- Carburant B : essence reformulée de l'EPA
- Carburant C : essence ordinaire conventionnelle

Chaque carburant a été mélangé à une dose unitaire complète d'un ensemble d'anticalaminant commercial du programme TOP-TIER.

Deux carburants qui ne sont pas disponibles sur le marché ont également été utilisés :

- alkylat du secteur aérien
- Carburant D : mélange d'isooctane, d'alkylat et de Carburant C (40/40/20)

Véhicules/moteurs :

Oldsmobile Achieva de 1997, moteur de 2,4 L

Ford Contour de 1997, moteur de 2 L

Chevrolet Prism de 1998, moteur de 1,8 L

6 Ford Contour de 1997 supplémentaires

Méthode d'essai :

Un cycle d'essai non standard a été utilisé. Des dynamomètres de simulation routière ont fonctionné pendant 21 heures sur 24 chaque jour en suivant ce cycle : 23,8 % de ralenti, 12,7 % d'accélération ou de décélération légère, 1,6 % d'accélération puissante, 23,8 % de vitesse de croisière basse et 38,1 % de vitesse de croisière élevée.

Des mesures des DCC ont été prises en utilisant un permascope Fischer en condition de moteur froid au moins 2 heures après l'arrêt du moteur et juste avant tout essai sur les émissions.

Le poids des dépôts sur les soupapes d'admission a été mesuré à chaque soupape et à la fin de chaque essai.

Les mesures concernant les émissions ont été prises en trois exemplaires, quels que soient le millage ou l'épaisseur des DCC.

Les émissions d'HC, de CO et de NO_x ont été mesurées par un analyseur de gaz Horiba Microbench série 200 et un analyseur Horiba AFR Mexa 110λ.

RÉSULTATS PERTINENTS

Les DCC s'accumulent rapidement à un millage faible puis se stabilisent aux alentours de 4 000 à 10 000 milles.

À partir d'un moteur propre, les émissions de NO_x suivent une fonction non linéaire en escalier par rapport à l'épaisseur des DCC et les 3 moteurs montrent des résultats semblables.

À partir d'un moteur propre, les émissions d'HC augmentent de 20 à 40 % avec une épaisseur des DCC de 200 µm pour deux véhicules; l'augmentation des émissions d'HC pour tous les moteurs entre 3 000 et 6 000 milles était statistiquement significative (niveau de confiance de 95 %).

Les résultats concernant les émissions de CO sont variables. À partir d'un moteur propre, les émissions de CO ont baissé de 15 à 30 % à une épaisseur de 200 µm de DCC dans le moteur Ford, mais ces émissions n'ont montré aucune réaction aux DCC pour les moteurs d'essai Oldsmobile et Chrysler.

La réduction de l'épaisseur des DCC de 50 % (sur des DCC récents) en passant au carburant de base après avoir utilisé un carburant avec additif n'a eu aucun effet sur les émissions d'HC, de CO ou de NO_x.

La réduction de 30 % de l'épaisseur des DCC (sur des DCC anciens) a entraîné l'augmentation des émissions de NO_x et la réduction des émissions d'HC et de CO.

FORCES/FAIBLESSES/LACUNES EN MATIÈRE DE DONNÉES

La composition chimique de l'anticalaminant utilisé est inconnue.

Les DCC « anciens » et « récents » semblent donner des résultats opposés concernant les émissions de NO_x; la classification de l'âge des DCC n'est pas claire.

REMARQUES

Aucune

Numéro de référence de l'étude – B.24 : Wu, T.N., Y.C. Huang, T.S. Wu et T.D. Wu. 2007. « The Effect of Gasoline Additives on BTEX Emissions from Light-Duty Vehicle », Proceedings of the 4th WSEAS International Conference on Fluid Mechanics, Gold Coast, Queensland, Australie (du 17 au 19 janvier).

VUE D'ENSEMBLE

Une étude taiwanaise a examiné l'impact de l'utilisation de 4 différents additifs détergents par rapport à l'utilisation d'une essence de base sur les émissions d'HC, de CO, de NO_x et de BTEX provenant du moteur d'une voiture de tourisme Nissan.

PROGRAMME D'ESSAI

Carburants :

Le carburant de base était le carburant commercial taiwanais 95-LFG.

Six additifs (dont 4 anticalaminants) ont été mélangés au carburant de base selon les indications du fabricant.

- AE 1 : remonteur d'octane
- AE 2 : nettoyant pour soupapes d'admission
- AE 3 : nettoyant pour injecteurs de carburant
- AE 4 : nettoyant pour circuits d'alimentation
- AE 5 : nettoyant pour carburateurs
- AE 6 : multifonction

La composition chimique précise de chaque additif n'est pas indiquée; les ingrédients actifs (et les doses recommandées respectées au cours de l'étude) sont :

- Polyétheramine (PEA) :
 - 357 ppm pour les injecteurs de carburant ou les lumières;
 - 375 ppm pour les soupapes d'admission;
 - 2 000 ppm pour la chambre de combustion.
- Polyéther pyrolidone (PEP).
- Polyisobutylène (PIB) :
 - 140 ppm pour les injecteurs de carburant ou les lumières;
 - 166 ppm pour les soupapes d'admission;
 - 2 000 ppm pour la chambre de combustion.
- Manganèse méthyl cyclopentadiényl tricarbonyl (MMT)

Véhicules/moteurs :

Le moteur d'essai était un nouveau moteur turbo Nissan (Sentra) 4 cylindres de 1,6 L, ventilation naturelle, à injection dans la lumière d'admission, alésage et course (76 x 88 mm²), cylindrée totale de 1 597 ml, puissance maximale de 110 ch à 6 000 tr/min et couple maximal de 15 kg-m à 4 000 tr/min.

Dynamomètre à châssis Schenck W-130 :

- capable de passer rapidement de valeurs de couple négatives à des valeurs de couple positives;
- capable de fonctionner en cycle transitoire ou en régime permanent.

Le moteur a été nettoyé avant chaque contrôle des émissions avec un additif de carburant différent.

Méthode d'essai :

Procédure d'essai fédérale de l'USEPA de 1975 (FTP-75).

L'ensemble du circuit d'alimentation du moteur Nissan était nettoyé avant chaque essai d'additif d'essence; repos d'une nuit avant les essais.

RÉSULTATS PERTINENTS

Les concentrations d'HC, de CO et de NO_x mesurées à partir de chaque carburant ont été pondérées sur les 3 phases du cycle FTP et des taux d'émissions en grammes par kilomètre ont été calculés.

Les taux d'émissions d'HC, de CO et de NO_x se chiffraient respectivement à 0,219, à 1,3 et à 0,27 g/km pour le carburant de base.

Les taux d'émissions d'HC pour les 3 anticalaminants AE 2, AE 3 et AE 4 (résultats pour l'AE 5 non signalés) allaient de 0,156 g/km pour l'AE 3 à 0,169 g/km pour l'AE 2.

Les taux d'émissions de CO pour les 3 anticalaminants allaient de 0,16 g/km (AE 4) à 1,2 g/km (AE 3).

Les taux d'émissions de NO_x pour les 3 anticalaminants allaient de 0,21 g/km (AE 4) à 0,25 g/km (AE 3).

Les émissions de BTEX (taux d'émissions également pondérés d'après le cycle FTP) :

- Les émissions du carburant de base étaient : 2,69 mg/km pour le benzène, 6,17 mg/km pour le toluène, 1,81 mg/km pour l'éthylbenzène et 7,13 mg/km pour le xylène.
- L'anticalaminant AE 4 était le plus efficace pour réduire les émissions de BTEX :
 - 0,63 g/km de benzène;
 - 2,89 g/km de toluène;
 - 1,29 g/km d'éthylbenzène;
 - 3,85 g/km de xylène.
- Les additifs AE 1 et AE 6 ont en fait augmenté les émissions de BTEX.

FORCES/FAIBLESSES/LACUNES EN MATIÈRE DE DONNÉES

Aucune explication relative aux causes et aux mécanismes de l'augmentation ou de la baisse des émissions d'HC, de CO et de NO_x selon les types de carburants. Avec un circuit moteur propre au début de chaque expérience, il n'est pas clairement établi qu'une formation de dépôts ait eu lieu ou que cette dernière ait été empêchée par un additif.

Aucune analyse statistique signalée.

- Il ne semble pas que des essais multiples aient été répétés pour les carburants.
- L'importance statistique des différences entre les taux d'émissions n'est pas clairement établie.

REMARQUES

Aucune

Numéro de référence de l'étude – B.25 : Bratsky, D., et D. Stacho. Impact of motor gasoline chemical composition and additive treatment on inlet valve and combustion chamber deposits. *SAE Paper* 2000-01-2022.

VUE D'ENSEMBLE

Cette étude slovaque examine, entre autres paramètres du carburant, l'effet des niveaux d'additif détergent sur les dépôts dans la chambre de combustion (DCC) en utilisant l'essai au banc modifié CEC F-04-A-87. Les auteurs ont élaboré des équations mathématiques en vue d'évaluer l'influence des paramètres du carburant sur les DCC.

L'influence des additifs détergents sur les émissions d'HC dans les gaz d'échappement a également été mesurée.

Des moteurs de la voiture de tourisme LADA 2130 ont été utilisés, car cette dernière est très répandue en Slovaquie. Il s'agit d'un véhicule à carburateur.

Le moteur d'essai était à carburateur et non à injection, les résultats ne sont donc pas pertinents pour le parc automobile canadien.

Numéro de référence de l'étude – B.26 : Carlisle, H.W., R.W. Frew, J.R. Mills, A.A. Aradi et N.L. Avery. 2001. The effect of fuel composition and additive content on injector deposits and performance of an air-assisted direct injection spark ignition (DISI) research engine. *SAE Paper 2001-01-2030*.

VUE D'ENSEMBLE

Cette étude caractérise les dépôts qui se forment sur les injecteurs d'un moteur automobile à allumage commandé et à injection directe assistée par air comprimé ainsi que l'impact de ces dépôts sur le rendement du moteur avec diverses compositions d'additifs. Cette étude recense également les émissions de fumées et d'hydrocarbures bruts dans le temps, pendant toute la durée du cycle d'essai.

PROGRAMME D'ESSAI

Carburants :

Le Carburant n° 1 était le carburant de base : T90 = 158 °C, 18 % d'aromatiques, 19,7 % d'oléfiniques, 32 ppm de soufre et indice d'octane de 89,1.

L'Additif A (il n'est pas précisé s'il s'agit d'un additif de type PEA ou Mannich) présente un taux de traitement de 115 ptb (livres par milliers de barils).

L'Additif B (il n'est pas précisé s'il s'agit d'un additif de type PEA ou Mannich) présente un taux de traitement de 115 ptb.

Véhicules/moteurs :

Un moteur d'essai polycylindrique basé sur un moteur Ford Zetec de 1,8 L DACT et modifié pour fonctionner avec un dispositif spécial de combustion à pulvérisation dirigée conçu par l'Orbital Energy Company.

Méthode d'essai :

Un cycle d'essai non standard a été utilisé pour un moteur d'essai à allumage commandé et à injection directe. Mode de combustion stratifiée : régime moteur de 2 500 tr/min, plein de 13 mg/c/c, durée de 15 h.

Mode de combustion homogène : régime moteur de 4 000 tr/min, plein de 30 mg/c/c, durée de 5 h.

L'épaisseur maximale des dépôts sur le clapet a été mesurée à la fin de chaque cycle d'essai.

RÉSULTATS PERTINENTS

Mode stratifié

Avec le Carburant n° 1 (sans additif), les émissions d'HC ont augmenté d'environ 1 000 ppm au cours des 15 heures d'essai par rapport à l'heure 0.

Avec l'Additif A, l'augmentation des émissions d'HC n'a jamais dépassé 200 ppm (par rapport à l'heure 0).

Avec l'Additif B, l'augmentation des émissions d'HC n'a jamais dépassé 0 ppm (par rapport à l'heure 0).

Aucune concentration de fumée n'a été indiquée en mode de combustion stratifiée.

Mode homogène

Les Additifs A et B ont provoqué l'augmentation des fumées et des émissions d'HC par rapport au Carburant n° 1 au cours des 5 heures du cycle d'essai.

FORCES/FAIBLESSES/LACUNES EN MATIÈRE DE DONNÉES

Certaines analyses statistiques sont proposées pour l'analyse des émissions, mais elles ne sont pas clairement interprétées en termes de niveau de confiance pour les résultats.

REMARQUES

Aucune

Numéro de référence de l'étude – B.27 : OACIS Deposit Workgroup. 2002. A Study of Injector Deposits, Combustion Chamber Deposits (CCD) and Intake Valve Deposits (IVD) in Direct Injection Spark Ignition (DISI) Engines. *SAE Paper* 2002-01-2659.

VUE D'ENSEMBLE

Cette étude comprend des essais sur les dépôts dans trois moteurs japonais à allumage commandé et à injection directe représentatifs et sur sept carburants, deux d'entre eux étant le carburant de base et le carburant de base avec des anticalaminants.

Les effets du détergent (ainsi que ceux d'autres additifs de carburant) sur les dépôts dans les injecteurs, les dépôts sur les soupapes d'admission et les DCC ont été analysés en vue de sélectionner un moteur pour l'élaboration d'une méthode d'essai.

PROGRAMME D'ESSAI

Carburants :

Carburant A : le carburant de base avec un indice d'octane recherche de 100.

Carburant E : base de polybutylamine (PBA) avec un indice d'octane recherche de 100.

Véhicules/moteurs :

Les 3 moteurs sont tous des moteurs à allumage commandé et à injection directe équipés de convertisseurs catalytiques à trois voies (TWC) et de catalyseurs à faible production de NO_x.

- Mitsubishi : écoulement de tourbillon transversal inversé avec orifices verticales, taux de compression relativement élevé, injecteurs à soupape conique.
- Nissan : écoulement tourbillonnaire avec des injecteurs à soupape à bille.
- Toyota : injecteurs à clapets coniques.

Méthode d'essai :

Un cycle d'essai non standard a été utilisé sur un moteur d'essai à allumage commandé et à injection directe. Deux phases d'essai ont été réalisées :

- Phase I : Conditions de fonctionnement à températures et à charge élevées du moteur.
 - 50 heures de conduite à 140 km/h.
 - Combustion stoechiométrique homogène ou plus riche.
- Phase II : Conditions de fonctionnement à une charge typique, contrairement à une charge élevée.
 - 25 heures à 70 km/h.
 - 25 heures à 40 km/h.
 - Combustion pauvre stratifiée.

Les mesures prises au cours des deux phases comprenaient : le débit de carburant, le poids des dépôts sur les soupapes d'admission et le poids des DCC avant et après l'essai de 50 heures.

RÉSULTATS PERTINENTS

Résultats de la phase I (charge du moteur élevée)

Quel que soit le type de carburant (A ou E), les injecteurs des moteurs Mitsubishi et Toyota ont tous subi une baisse de débit à la suite de l'essai de 50 heures. Les injecteurs du moteur Nissan ont quant à eux présenté une augmentation du débit.

Le Carburant E a entraîné une plus grande perte de débit que le Carburant A dans les moteurs Mitsubishi et Toyota. Le débit des injecteurs du moteur Nissan a davantage augmenté au cours de l'essai de 50 heures lorsque le Carburant E a été utilisé.

Le poids des DCC obtenus avec le Carburant A et le Carburant E était beaucoup plus élevé dans le moteur Toyota que dans les autres, vraisemblablement en raison du fait que le moteur Toyota nécessitait un régime moteur plus élevé pour conserver la vitesse de 140 km/h.

Le poids des DCC était plus élevé dans les trois moteurs avec le Carburant E qu'avec le Carburant A.

Le poids des dépôts sur les soupapes d'admission était moins important avec le Carburant E qu'avec le Carburant A dans les moteurs Mitsubishi et Nissan.

Le poids des dépôts sur les soupapes d'admission augmentait dans le moteur Toyota lorsque le Carburant E était utilisé.

Résultats de la phase II (charge du moteur normale/typique)

Les mêmes tendances générales ont été observées au cours de la phase II en ce qui concerne le débit de carburant : les injecteurs des moteurs Mitsubishi et Toyota ont affiché une perte de débit tandis que les injecteurs du moteur Nissan ont affiché une augmentation du débit, quel que soit le type de carburant (A ou E).

L'utilisation de détergent (Carburant E) a entraîné une modification du débit moindre dans les 3 moteurs après l'essai de 50 heures.

Comparé au Carburant A, le Carburant E a provoqué une augmentation du poids des DCC dans le moteur Mitsubishi et une diminution du poids des DCC dans les moteurs Nissan et Toyota.

Le poids des DCC est bien plus élevé dans le moteur Nissan que dans les deux autres. Le poids des dépôts sur les soupapes d'admission est bien moins élevé dans le moteur Toyota que dans les deux autres.

Le Carburant E a augmenté les dépôts sur les soupapes d'admission dans le moteur Mitsubishi et les a diminués dans les moteurs Nissan et Toyota.

FORCES/FAIBLESSES/LACUNES EN MATIÈRE DE DONNÉES

Aucune analyse des émissions n'a été effectuée.

Aucune analyse de l'importance statistique n'a été effectuée pour les mesures du débit et le poids des dépôts.

REMARQUES

Aucune

Numéro de référence de l'étude – B.28 : Houser, K.R., et T.A. Crosby. The impact of intake valve deposits on exhaust emissions. *SAE Paper 922259*.

VUE D'ENSEMBLE

Les émissions de gaz d'échappement ont été mesurées et les dépôts dans les soupapes d'admission ont été évalués sur vingt véhicules de l'année de modèle 1990 soumis à une accumulation de 80 000 km.

PROGRAMME D'ESSAI

Carburants :

Essence de base pour 4 véhicules.

Essence de base avec anticalaminants (diverses compositions et concentrations) pour 16 véhicules.

Véhicules/moteurs :

Vingt berlines identiques de 1990 et de taille moyenne équipées de moteurs PFI V6 de 3 L et de convertisseurs catalytiques à 3 voies.

Méthode d'essai :

Accumulation de dépôts : 80 000 km sur la route en utilisant un cycle de type AMA.

Les émissions d'échappement d'HC, de CO et de NO_x ont été mesurées en utilisant le cycle FTP avant et après l'élimination des dépôts sur les soupapes d'admission une fois les 80 000 km parcourus.

Les dépôts sur les soupapes d'admission ont été évalués en utilisant l'échelle de 1 à 10 du CRC, 1 étant les soupapes d'admission les plus encrassées et 10 étant les soupapes d'admission les plus propres.

Analyses statistiques

- Une analyse de la variance a été effectuée sur les taux d'émissions d'HC, de CO et de NO_x dans les trois sacs du cycle FTP avant et après l'élimination mécanique des dépôts sur les soupapes d'admission (niveau de confiance de 90 % indiqué).
- Une analyse de la variance a été effectuée sur tous les facteurs d'émissions avant l'élimination des dépôts sur les soupapes d'admission en tant que fonction de la pondération du CRC (niveau de confiance de 90 % indiqué).

RÉSULTATS PERTINENTS

L'élimination mécanique des dépôts sur les soupapes d'admission a apporté des améliorations de 11 % et de 15 % en termes d'émissions de CO et de NO_x sur l'ensemble du cycle FTP (niveau de confiance de 90 %).

Pour les 3 polluants, les émissions moyennes du cycle FTP tendent à être plus élevées pour les véhicules qui affichent des cotes faibles relativement aux dépôts sur les soupapes d'admission (dépôts élevés).

Les facteurs d'émissions suivent une fonction linéaire par rapport à l'échelle d'évaluation des dépôts sur les soupapes d'admission :

- Les changements moyens, minimaux et maximaux des facteurs d'émissions augmentent, par rapport à l'échelle du CRC, d'un nombre entier (soupapes d'admission plus encrassées) par sac du cycle FTP et par polluant.
- Le sac 2 d'HC (gaz d'échappement en fonctionnement), le sac 1 de CO et le sac 1 de NO_x (démarrages à froid) n'étaient pas significatifs (niveau de confiance de 90 %).
- Émissions de NO_x pondérées selon le cycle FTP.

FORCES/FAIBLESSES/LACUNES EN MATIÈRE DE DONNÉES

Aucune

REMARQUES

Aucune

Numéro de référence de l'étude – B.29 : United States Environmental Protection Agency. 1995. Relevant sections of the Regulatory Impact Analysis (RIA) for the final certification rule on DCA.

VUE D'ENSEMBLE

Il ne s'agit pas d'une étude scientifique originale, mais plutôt d'un passage en revue des études existantes disponibles juste avant la rédaction d'un règlement provisoire par l'EPA des États-Unis sur les dépôts sur les soupapes d'admission et les dépôts de l'injection dans la lumière d'admission, en 1995. Un aperçu des preuves appuyant la nécessité d'imposer des limites aux dépôts sur les soupapes d'admission et aux dépôts de l'injection dans la lumière d'admission est proposé ci-dessous.

PROGRAMME D'ESSAI

Analyse documentaire.

RÉSULTATS PERTINENTS

Résultats provenant des études contenues dans un document de 1990 du California Air Resources Board (CARB) intitulé « Reformulated Gasoline: Proposed Phase 1 Specifications, Technical Support Document » :

- Des essais sur un véhicule de l'année de modèle 1983 présentant des limitations du débit comprises entre 20 et 25 % (moyenne de 23 %) ont permis d'observer les effets suivants : augmentation de 28 % des émissions d'HC, augmentation de 266 % des émissions de CO et diminution de 28 % des émissions de NO_x.

- Un autre véhicule de l'année de modèle 1983 présentant des limitations du débit comprises entre 4 et 10 % (moyenne de 8 %) a affiché les résultats suivants : augmentation de 26 % des émissions d'HC, augmentation de 16 % des émissions de CO et diminution de 5 % des émissions de NO_x.
- Un véhicule de 1985 utilisant quatre séries distinctes d'injecteurs avec différents niveaux d'encrassement (non précisés) a affiché les résultats suivants : augmentation de 63 à 168 % des émissions d'HC, augmentation de 129 à 668 % des émissions de CO et une augmentation de 106 % suivant une diminution de 42 % des émissions de NO_x.
- Un autre véhicule (année de modèle non précisée) avec des injecteurs encrassés à un niveau non précisé a affiché les résultats suivants : augmentation de 228 % des émissions d'HC, augmentation de 48 % des émissions de CO et augmentation de 169 % des émissions de NO_x.
- CONCLUSION : Les dépôts dans les injecteurs de carburant peuvent accroître de façon importante les émissions d'HC et de CO. Néanmoins, l'effet des dépôts de l'injection dans la lumière d'admission sur les émissions de NO_x est variable.
- L'ampleur de l'impact des dépôts sur les soupapes d'admission sur les émissions dépend de la technologie des véhicules.
 - Une étude d'Unocol a rapporté une amélioration de 33 % des émissions de NO_x lorsque les dépôts sur les soupapes d'admission étaient éliminés des moteurs de 6 véhicules équipés de technologies modernes [en 1995].
 - Une étude de Texaco a rapporté des améliorations des émissions après le nettoyage des dépôts sur les soupapes d'admission dans un parc d'essai comprenant un nombre inconnu de véhicules équipés de technologies modernes [en 1995] : réduction de 33 % des émissions d'HC, réduction de 1 % des émissions de CO et réduction de 21 % des émissions de NO_x.
 - Une étude de Chevron a comparé les émissions provenant de 10 véhicules des années de modèles 1978 et 1979 utilisant un carburant avec anticalaminant au même nombre de véhicules (de même modèle) utilisant un carburant de base sans additif. Selon cette étude, les améliorations des émissions obtenues grâce à l'anticalaminant étaient de 12 % pour les émissions d'HC, de 15 % pour les émissions de CO et de 18 % pour les émissions de NO_x.

Résultats provenant du document de la SAE 922259 [numéro de référence de l'étude – **B.28]**

- Utilisation de 20 véhicules de l'année de modèle 1999.
- Les effets des dépôts sur les soupapes d'admission sur les émissions pourraient suivre une fonction linéaire par rapport aux niveaux de dépôt.
- L'effet moyen des dépôts sur les soupapes d'admission sur les émissions du parc était : une augmentation de 11 % des émissions de CO et une augmentation de 15 % des émissions de NO_x.
- Les véhicules du parc présentant des dépôts sur les soupapes d'admission moindres ont subi des augmentations des émissions de CO et de NO_x inférieures à la moyenne.
- Les véhicules du parc présentant des dépôts sur les soupapes d'admission importants ont affiché des augmentations de 32 % des émissions de CO et de 54 % des émissions de NO_x.

- L'effet des dépôts sur les soupapes d'admission sur les émissions d'HC n'était pas statistiquement significatif sur l'ensemble du cycle d'essai FTP sur les émissions, mais s'est avéré significatif pour les émissions du sac 2.

Résultats provenant d'une présentation de 1990 du Texaco Research Center au CARB intitulée « Effects of Intake and Combustion System Deposits on Regulated Exhaust Emissions » :

- Effet évalué du nettoyage des dépôts sur les soupapes d'admission : réduction importante des émissions de NO_x; résultats variables des émissions d'HC et de CO.
- Dans le cadre d'un essai sur un parc de 12 véhicules, l'amélioration des émissions liée à l'élimination mécanique des dépôts sur les soupapes d'admission se chiffrait à 10,8 % pour les émissions d'HC, à 1,6 % pour les émissions de CO et à 8,6 % pour les émissions de NO_x.
- Un essai distinct sur un parc de 35 véhicules a montré que l'élimination mécanique des dépôts sur les soupapes d'admission augmentait de 7 % les émissions d'HC et de CO et réduisait les émissions de NO_x de 7,6 %.

FORCES/FAIBLESSES/LACUNES EN MATIÈRE DE DONNÉES

Aucune

REMARQUES

Aucune

Page intentionnellement laissée en blanc

Annexe C : Diesel – Analyse des effets du cétane

Numéro de référence de l'étude – C.1 : Ickes, A.M., S.V. Bohac et D.N. Assanis. 2009. Effect of fuel cetane number on a premixed diesel combustion mode. *International Journal of Engine Research*, vol. 10, n° 4, p. 251-263.

VUE D'ENSEMBLE

Cette étude a démontré en détail le comportement de la combustion selon les divers indices de cétane dans un moteur ACCH.

L'essai a été mené dans des conditions de régime léger sur un moteur d'essai monocylindrique moderne, alimenté au diesel à faible teneur en soufre (ULSD) dont l'indice de cétane variait de 42 à 53.

PROGRAMME D'ESSAI

Carburants :

Quatre carburants d'essai avec des propriétés de carburant différentes :

- diesel Swedish Environmental Class 1 avec un indice de cétane élevé (53);
- carburant diesel d'homologation américaine à faible teneur en soufre avec un indice de cétane faible (42);
- carburant diesel d'homologation américaine ULSD avec un indice de cétane moyen (47);
- carburant diesel d'homologation américaine ULSD avec un indice de cétane élevé (50).

Véhicules/moteurs :

Un moteur d'essai monocylindrique.

Basé sur un moteur de série diesel moderne 4 cylindres de 1,7 L équipé d'un dispositif RGE.

Utilisé comme un moteur ACCH.

Méthode d'essai :

Aucun cycle d'essai de contrôle des émissions standard.

Étude expérimentale.

Les paramètres de combustion analysés comprenaient le délai d'allumage et le phasage de la combustion.

RÉSULTATS PERTINENTS

L'indice de cétane a une forte incidence sur le délai d'allumage et le phasage de la combustion.

Les émissions d'HC, de CO et de NO_x provenant de la combustion du diesel prémélangé testé sont principalement liées au débit de la RGE refroidie et au phasage de la combustion.

Les changements de l'indice de cétane et de nombreux autres facteurs modifient le phasage de la combustion, modifiant ainsi les émissions gazeuses.

Un calage fixe de l'injection pour la combustion de diesel prémélangé n'est pas compatible avec une large gamme d'indices de cétane. Un système de contrôle par rétroaction devrait permettre l'utilisation d'une plus large gamme d'indices de cétane.

CONCLUSION

L'indice de cétane du carburant n'influence pas directement les émissions des véhicules.

L'indice de cétane du carburant n'était pas important lorsque le phasage de la combustion et la RGE étaient adaptés.

FORCES/FAIBLESSES/LACUNES EN MATIÈRE DE DONNÉES

Les essais n'ont pas été menés selon un cycle de conduite standard.

L'essai s'est limité à des régimes légers.

Les conclusions sont fondées sur la mesure des émissions par masse de carburant brûlé, plutôt que sur le nombre de kilomètres parcourus par les véhicules ou par bhp-hr.

REMARQUES

Étude expérimentale sur un moteur d'essai ACCH uniquement.

Numéro de référence de l'étude – C.2 : European Environment Agency. 2009. « EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook », Technical Report 6/2009.

VUE D'ENSEMBLE

Ce guide d'orientation précise la méthodologie utilisée pour le calcul des émissions d'échappement provenant de la circulation routière en Europe.

Les méthodes d'estimation comprennent des facteurs de correction en vue de tenir compte de l'impact des différences dans les propriétés des carburants, y compris l'indice de cétane.

PROGRAMME D'ESSAI

Analyse documentaire.

RÉSULTATS PERTINENTS

Estimations calculées pour toutes les catégories du parc automobile européen et basées sur les normes et les technologies européennes relatives aux émissions pour :

- les véhicules européens légers (le changement relatif est lié au carburant et à la technologie de base);
- les véhicules européens lourds (le changement relatif est lié au carburant et à la technologie de base).

Concernant les moteurs diesels, des facteurs de correction ont été élaborés pour tenir compte des propriétés de carburant suivantes :

- densité;
- teneur en soufre;
- teneur en hydrocarbures aromatiques polycycliques;
- indice de cétane;
- distillation finale (T95).

CONCLUSION

L'utilisation des méthodes d'estimation des émissions élaborées dans le cadre de cette étude et l'utilisation d'indices de cétane compris entre 40 et 50 :

- permettent de réduire les émissions de CO et d'HC pour les parcs européens de véhicules légers et lourds (la réduction étant plus importante pour les véhicules légers);
- n'apportent aucun changement significatif en matière d'émissions de NO_x ou de matières particulaires.

FORCES/FAIBLESSES/LACUNES EN MATIÈRE DE DONNÉES

Ces méthodes visent à fournir une représentation de l'impact de l'indice de cétane sur l'ensemble du parc automobile européen et ne permettent pas d'établir une différence entre les technologies de moteur.

Cette étude s'applique à une série de technologies dont est équipé le parc automobile à l'heure actuelle, mais n'aborde pas les technologies émergentes.

REMARQUES

L'objectif de ce rapport est de proposer un modèle général des émissions pour les véhicules qui sont actuellement sur la route et non de présenter des résultats d'essais.

Numéro de référence de l'étude – C.3 : Nuskowski, J., R.R. Tincher et G.J. Thompson. 2009. Evaluation of the NO_x emissions from heavy-duty diesel engines with the addition of cetane improvers. *Journal of Automobile Engineering*, vol. 223, n° D8, p. 1049-1060.

VUE D'ENSEMBLE

Cette étude a évalué l'effet d'additifs « améliorateurs de cétane » sur les émissions de NO_x à partir de cinq moteurs diesels de véhicules lourds d'années de modèles allant de 1991 à 2004.

PROGRAMME D'ESSAI

Carburants :

Deux additifs courants d'amélioration de l'allumage (ou améliorateurs de cétane) ont été utilisés dans cette étude : un additif à base de nitrate, le 2-éthylhexyl nitrate (2-EHN) et un additif à base de peroxyde (le DTBP).

Ces améliorateurs ont été testés à différentes concentrations dans trois carburants de base : deux produits pétroliers et un carburant B20.

Véhicules/moteurs :

Cinq moteurs ont été testés dans une cellule d'essai dynamométrique des moteurs :

- moteur DDC série 60 de 1991;
- moteur DDC série 60 de 1992;
- moteur DDC série 60 de 1992;
- moteur Cummins ISM370 de 1999;
- moteur Cummins ISM370 de 2004 (avec dispositif de recirculation refroidie des gaz d'échappement).

Méthode d'essai :

Procédure d'essai fédérale des États-Unis (FTP).

Des essais en trois exemplaires de chaque combinaison carburant/moteur.

RÉSULTATS PERTINENTS

C'est à bas régime que l'effet le plus important des additifs sur la réduction des émissions a été observé, mais la gamme de régimes moteurs présentant une amélioration des émissions de NO_x différerait selon les moteurs.

Les améliorateurs de cétane ont apporté une réduction des émissions de NO_x plus importante sur les moteurs équipés de technologies plus anciennes (respectivement 1 %, 3,5 %, 3,2 % et 1,9 % pour les moteurs DDC série 60 de 1991, DDC série 60 de 1992, DDC série 60 de 1992 et Cummins ISM370 de 1999). Ce sont des moteurs conventionnels qui ne sont pas équipés de RGE.

En ce qui concerne le moteur relativement récent (le Cummins ISM370 de 2004 équipé d'un dispositif de recirculation refroidie des gaz d'échappement), l'augmentation de l'indice de cétane a entraîné une augmentation des émissions de NO_x de 1,3 %.

Les améliorateurs du cétane sont avantageux en matière de réduction des émissions de NO_x dans les moteurs présentant des taux de compression faibles (moteurs équipés de technologies plus anciennes), mais pas pour la réduction des émissions de NO_x dans les moteurs équipés de technologies plus récentes (taux de compression plus élevés et RGE).

FORCES/FAIBLESSES/LACUNES EN MATIÈRE DE DONNÉES

L'effet des additifs sur les émissions de NO_x n'est peut-être pas limité à celui de l'indice de cétane.

REMARQUES

Cette étude a démontré que les améliorateurs de cétane pourraient ne pas réduire les émissions des véhicules équipés de technologies récentes.

Numéro de référence de l'étude – C.4 : CONCAWE. 2008. « Advanced Combustion for Low Emissions and High Efficiency: A Literature Review of HCCI Combustion Concepts », rapport n° 4/08, Bruxelles.

VUE D'ENSEMBLE

Cette étude a mené un examen exhaustif des publications concernant les concepts avancés relatifs à la combustion pour les moteurs à essence et diesel, connus sous le nom d'allumage par compression à charge homogène (ACCH).

PROGRAMME D'ESSAI

Analyse documentaire.

RÉSULTATS PERTINENTS

Dans des moteurs prototypes ACCH, des niveaux très faibles d'émissions de MP et de NO_x à la sortie du moteur ont été largement démontrés dans des conditions d'essai à régime permanent.

Les émissions de CO et d'HC provenant des moteurs diesels ACCH sont plus importantes que celles observées dans les moteurs diesels conventionnels, des catalyseurs d'oxydation seront donc toujours nécessaires.

Le délai d'allumage est un paramètre clé de la combustion de type ACCH, un paramètre pour lequel un choix adéquat de carburant peut avoir son importance. Les recherches réalisées à ce jour laissent entendre que les carburants diesels avec un indice de cétane inférieur à 45 pourraient être le meilleur choix pour les moteurs diesels ACCH.

Le carburant avec un indice de cétane inférieur à 45 est généralement avantageux dans les moteurs diesels ACCH étant donné qu'il permet d'augmenter le délai d'allumage et d'améliorer le mélange avant l'allumage.

Le carburant avec un indice de cétane plus faible permet un fonctionnement du moteur à un niveau moins élevé de RGE, et même sans RGE.

FORCES/FAIBLESSES/LACUNES EN MATIÈRE DE DONNÉES

Il est trop tôt pour définir des spécifications futures de carburants pour l'ACCH.

REMARQUES

La technologie de l'ACCH est encore jeune. Bien qu'elle soit prometteuse, de nombreux défis doivent encore être surmontés avant qu'elle puisse être mise en pratique.

Les moteurs diesels ACCH ont la capacité de réduire les émissions par rapport aux moteurs diesels conventionnels, principalement les émissions de NO_x et de MP, avant le système de post-traitement.

La réduction des émissions à la source permettra de réduire les besoins de post-traitement pour les moteurs diesels.

Numéro de référence de l'étude – C.5 : CRC. 2008. « Review of Prior Studies of Fuel Effects on Vehicle Emissions », préparé par M. Albert M. Hochhauser, 12 Celler Rd., Edison, NJ 8817; préparé pour le Coordinating Research Council, CRC Project E-84.

VUE D'ENSEMBLE

Cette étude a mené un examen exhaustif des publications relatives aux effets des propriétés des carburants sur les émissions.

Au total, 183 documents ont été examinés, couvrant les périodes :

- 1990-2007 pour les véhicules à essence et les véhicules diesels légers;
- 1998-2007 pour les véhicules diesels lourds.

Parmi les nombreux facteurs analysés, les effets du cétane, de la densité et des hydrocarbures aromatiques du carburant ont été abordés ensemble (de façon distincte pour les véhicules légers et lourds).

Un total de 28 documents concernant l'effet du cétane sur les émissions a été analysé :

- 15 documents sur les véhicules légers impliquant 86 véhicules et 267 carburants (le document le plus récent datant de 2004);
- 13 documents sur les moteurs de véhicules lourds impliquant 63 véhicules et 205 carburants (le document le plus récent datant de 2007).

PROGRAMME D'ESSAI

Analyse documentaire.

RÉSULTATS PERTINENTS

Dans bon nombre des programmes d'essai, la densité, le cétane et les hydrocarbures aromatiques étaient mis en relation. Il s'est donc avéré impossible d'isoler les effets du cétane.

Plusieurs études ne montrent aucune différence entre le cétane naturel et le cétane avec additif.

D'après l'analyse documentaire, les tendances générales ont été résumées ainsi (sans post-traitement) :

- l'augmentation de l'indice de cétane est susceptible de réduire les émissions de CO et d'HC provenant des moteurs des véhicules légers et lourds;
- l'augmentation de l'indice de cétane est susceptible d'augmenter les émissions de MP provenant de véhicules légers;
- aucune tendance n'a été observée concernant l'effet du cétane sur les émissions de MP provenant des moteurs de véhicules lourds;
- aucune tendance n'a été observée concernant l'effet du cétane sur les émissions de NO_x provenant des moteurs de véhicules légers et lourds.

« Plus les moteurs sont sophistiqués sur le plan du contrôle des émissions, moins les effets du carburant semblent être importants. »

FORCES/FAIBLESSES/LACUNES EN MATIÈRE DE DONNÉES

Il existe un grand nombre de données contradictoires, peut-être en raison de l'incapacité à distinguer les effets du cétane des effets d'autres paramètres.

REMARQUES

Une analyse exhaustive des publications disponibles concernant les propriétés des carburants diesels et leurs effets sur les émissions.

Numéro de référence de l'étude – C.6 : Row, J., et A. Doukas. 2008. « Fuel Quality in Canada Impact on Tailpipe Emissions », préparé par le Pembina Institute, Drayton Valley, Alberta, Canada T7A 1S7; préparé pour l'Association des fabricants internationaux d'automobiles du Canada.

VUE D'ENSEMBLE

Cette étude examine les niveaux de soufre et de détergence dans l'essence ainsi que le cétane et la lubrification dans le diesel.

Elle compare les normes canadiennes sur les carburants à celles d'autres autorités en ce qui concerne les paramètres en question et passe en revue les résultats de certains essais.

PROGRAMME D'ESSAI

Analyse documentaire.

RÉSULTATS PERTINENTS

L'étude indique que des indices de cétane faibles entraînent des émissions d'échappement plus élevées.

D'après cette étude, une augmentation de l'indice de cétane de 40 à 45 ou de 40 à 55 entraînerait respectivement une réduction des émissions de NO_x de 2,7 % ou de 5,4 % (pour les moteurs sans dispositif de recirculation des gaz [d'échappement]).

Cette conclusion s'est fondée sur le rapport de l'USEPA n° EPA420-R-03-002 de 2003 (The Effect of Cetane Number Increase Due to Additives on NO_x Emissions from Heavy-Duty Highway Engines).

Il est indiqué que les études du programme européen pour les émissions, les carburants et les technologies des moteurs (EPEFE) confirment ces conclusions et indiquent également que les émissions de CO et d'HC sont aussi réduites avec un indice de cétane plus élevé.

L'étude fait référence au programme européen pour les émissions, les carburants et les technologies des moteurs. Rapport du programme européen pour les émissions, les carburants et les technologies des moteurs (1995). Référence croisée du document « The Department of Heritage and the Environment, Australie. Measuring Cetane Number: Options for Diesel and Alternative Diesel Fuels » (Australie, 2004).

FORCES/FAIBLESSES/LACUNES EN MATIÈRE DE DONNÉES

Les études sur lesquelles se base ce rapport impliquaient des moteurs fabriqués avant 2000 et qui n'étaient pas équipés de RGE. Ainsi, il se base sur des conclusions concernant uniquement des véhicules équipés de technologies relativement anciennes. Le travail de l'EPEFE cité dans ce rapport n'inclut que des moteurs de véhicules légers et fabriqués avant 1995. En fait, il signale des réductions des émissions de CO et d'HC liées à l'augmentation de l'indice de cétane (de 50 à 58), mais n'observe aucun changement significatif en matière d'émissions de NO_x. Toutefois, il indique une augmentation significative des émissions de MP liée à l'augmentation de l'indice de cétane dans les moteurs à injection directe. Par conséquent, ce rapport ne confirme pas clairement les conclusions de l'EPA des États-Unis ni le fait qu'un indice de cétane plus élevé réduirait toutes les émissions.

REMARQUES

Ce rapport ne présente aucune analyse documentaire approfondie.

Numéro de référence de l'étude – C.7 : Bunting, B.G. *et al.* 2008. The chemistry, properties, and HCCI combustion behavior of refinery streams derived from Canadian Oil Sands crude. *SAE Paper* 2008-01-2406.

VUE D'ENSEMBLE

Cette étude a analysé l'effet des carburants dérivés des sables bitumineux sur un moteur ACCH.

L'une des principales raisons de l'intérêt que suscitent les moteurs ACCH et les moteurs utilisant d'autres stratégies de combustion à basse température est leur potentiel

d'économie de carburant améliorée combiné à des émissions réduites de NO_x et de matières particulaires.

PROGRAMME D'ESSAI

Carburants :

17 produits de raffinage dérivés à 100 % de pétrole brut tiré des sables bitumineux canadiens.

L'indice de cétane variait de 32 à 55.

Véhicules/moteurs :

Un moteur d'essai ACCH monocylindrique basé sur un moteur diesel Hatz D50Z.

Un phasage de la combustion contrôlé par le contrôle de la température de l'air d'admission.

Méthode d'essai :

Aucun cycle d'essai de contrôle des émissions standard.

Analyse expérimentale sur la technologie ACCH.

RÉSULTATS PERTINENTS

Les moteurs ACCH à carburant prémélangé fourniraient des performances optimales avec des carburants présentant des indices de cétane faibles et des points d'ébullition inférieurs.

Les carburants avec un indice de cétane supérieur accélèrent le phasage de la combustion, entraînant la nécessité de réduire la température de l'air d'admission et l'augmentation du rapport air/carburant. Cela rend la combustion des carburants à indice de cétane plus élevé davantage sensible au refroidissement pendant la course de détente et demande un phasage plus précoce de la combustion, éloignant ainsi le moteur de son rendement thermodynamique optimal.

Les émissions de NO_x sont restées faibles lorsque le phasage de la combustion était réglé à des niveaux optimaux, quel que soit l'indice de cétane.

L'indice de cétane du carburant reste la principale variable du carburant dans le contrôle de la combustion qui s'opère dans les moteurs ACCH.

FORCES/FAIBLESSES/LACUNES EN MATIÈRE DE DONNÉES

L'étude ne s'est pas concentrée sur l'effet du cétane sur les émissions, mais plutôt sur l'effet du cétane sur le fonctionnement d'un moteur ACCH.

REMARQUES

Les résultats sont applicables aux technologies ACCH émergentes.

Numéro de référence de l'étude – C.8 : Massa, C.V. *et al.* 2007. Influence of cetane number on Euro III engine emissions. *SAE Paper* 2007-01-2000.

VUE D'ENSEMBLE

Cette étude analyse l'effet de l'indice de cétane sur les moteurs diesels lourds EURO III (indices de cétane compris entre 42 et 48).

On s'attendait, pour cette étude, à ce que l'augmentation de l'indice de cétane améliore le rendement et les émissions d'après les analyses précédemment effectuées au cours des 15 dernières années sur des moteurs EURO I et EURO II.

Le carburant brésilien présente généralement un indice de cétane bien inférieur au carburant européen (42 au minimum).

Cette étude a été conçue pour évaluer l'effet de l'indice de cétane uniquement.

PROGRAMME D'ESSAI

Carburants :

Sept carburants d'essai : trois carburants de base, avec et sans améliorateur d'indice de cétane, et un carburant diesel commercial de référence.

Les valeurs des autres propriétés essentielles du carburant (densité, soufre, T90) ont été conservées dans des fourchettes étroites afin de minimiser les variables autres que l'indice de cétane.

Véhicules/moteurs :

Deux moteurs équipés de technologies différentes fabriqués par différents constructeurs et utilisés communément dans les parcs d'autobus brésiliens.

Les deux moteurs sont des moteurs 4 cylindres en ligne respectant la norme EURO III.

L'un est équipé d'un système d'injection à rampe commune et l'autre d'un système injecteur-pompe.

Méthode d'essai :

Le cycle stationnaire de l'Union européenne (ESC) pour la certification à la norme 2000. Chaque essai a été effectué trois fois.

RÉSULTATS PERTINENTS

La consommation de carburant précise et les émissions de fumée Bosch, de CO, de NO_x, d'HC, de CO₂ et de MP ont été calculées.

Une analyse de la variance et des corrélations a été utilisée pour évaluer la valeur significative des écarts.

Le passage d'un indice de cétane du carburant de 42 à 48 n'a pas eu une influence importante sur les émissions d'échappement ou sur la consommation de carburant.

Il est conclu que, pour les technologies répondant à la norme EURO III, l'augmentation de l'indice de cétane dans la plage comprise entre 42 et 48 n'entraîne aucun avantage en termes d'environnement ou d'économie de carburant.

FORCES/FAIBLESSES/LACUNES EN MATIÈRE DE DONNÉES

Les résultats s'appliquent aux véhicules routiers lourds respectant les normes EURO III. Cette étude a été bien conçue pour permettre d'isoler les effets de l'indice de cétane.

REMARQUES

Les moteurs EURO III n'étaient généralement pas équipés de RGE ni de dispositifs post-traitement.

Numéro de référence de l'étude – C.9 : Bunting, B.G., C.B. Wildman, J.P. Szybist, S. Lewis et J. Storey. 2007. Fuel chemistry and cetane effects on diesel homogeneous charge compression ignition performance, combustion, and emissions. *International Journal of Engine Research*, vol. 8, n° 1, p. 15-27.

VUE D'ENSEMBLE

Cette étude analyse les effets de l'indice de cétane sur les moteurs à allumage par compression à charge homogène (ACCH).

L'allumage par compression à charge homogène (ACCH) présente un intérêt particulier pour les moteurs à combustion interne parce qu'il a le potentiel de produire simultanément de faibles émissions de NO_x et de faibles émissions de matières particulaires (MP) tout en ayant un rendement comparable au diesel.

PROGRAMME D'ESSAI

Carburants :

Mélanges de diesel couvrant une gamme d'indices de cétane compris entre 19 et 76.

Véhicules/moteurs :

Un moteur ACCH monocylindrique à injection dans la lumière d'admission utilisant la température de l'air d'admission comme contrôle.

Méthode d'essai :

Aucun cycle d'essai de contrôle des émissions standard.

Étude expérimentale.

RÉSULTATS PERTINENTS

L'étude se concentre sur l'effet des différents carburants sur les caractéristiques de la combustion au cours d'une large gamme de phasage de la combustion.

Lorsque le phasage de la combustion est réglé au niveau qui permet d'obtenir la puissance de sortie maximale, tous les carburants expérimentaux ont affiché des émissions de NO_x faibles et satisfaisantes.

Les carburants dont l'indice de cétane se situait entre 40 et 50 ont développé la puissance de sortie la plus élevée.

Avec les carburants dont l'indice de cétane était plus élevé, il s'est avéré de plus en plus difficile de contrôler un phasage de la combustion suffisamment tardif à des charges élevées du moteur.

Les émissions de NO_x à la sortie du moteur ne semblent pas liées à l'indice de cétane du carburant.

FORCES/FAIBLESSES/LACUNES EN MATIÈRE DE DONNÉES

Cette étude couvrait une large gamme d'indices de cétane (de 19 à 76).

REMARQUES

Les résultats s'appliquent aux technologies ACCH émergentes.

Numéro de référence de l'étude – C.10 : Zannis, T.C., et D.T. Hountalas. 2007. Experimental study of diesel fuel effects on direct injection (DI) diesel engine performance and pollutant emissions. *Energy & Fuels*, vol. 21, p. 2642-2654.

VUE D'ENSEMBLE

Il s'agit d'une analyse expérimentale visant à décrire l'effet de la composition du carburant diesel, de ses propriétés physiques et chimiques, de la performance du moteur et des émissions de polluants sur les moteurs diesels à injection directe.

PROGRAMME D'ESSAI

Carburants :

Sept carburants d'essai en vue d'étudier principalement l'effet de la densité, de la viscosité et du facteur de compressibilité du carburant.

Véhicules/moteurs :

Moteur diesel à injection directe à quatre temps refroidi à l'air aspiré naturellement.

Méthode d'essai :

Aucun cycle d'essai de contrôle des émissions standard.

Étude expérimentale.

Des équipements permettant de surveiller et de contrôler les variables du moteur ont été installés sur un moteur expérimental de banc d'essai monocylindrique Lister LV1.

Les essais sur le moteur ont été menés à un régime moteur constant de 2 500 tr/min et à trois charges différentes du moteur, soit à 20, à 60 et à 80 % de la charge maximale.

RÉSULTATS PERTINENTS

Cette étude s'est concentrée sur l'effet des propriétés physiques du carburant, telles que la densité, la viscosité et le facteur de compressibilité sur les caractéristiques de combustion et les émissions de polluants des moteurs diesels.

FORCES/FAIBLESSES/LACUNES EN MATIÈRE DE DONNÉES

Même si les carburants couvraient une large gamme d'indices de cétane, cette étude n'a pas été conçue pour analyser l'effet du cétane. En outre, aucune corrélation entre les émissions et le cétane n'a été proposée.

REMARQUES

Aucune conclusion relative à l'effet de l'indice de cétane sur les émissions ne peut être tirée de cette étude.

Numéro de référence de l'étude – C.11 : Hara, S. *et al.* 2006. Effects of fuel properties on the performance of advanced diesel NO_x after-treatment devices. *SAE Paper* 2006-01-3443.

VUE D'ENSEMBLE

Cette étude analyse les effets des propriétés du carburant sur la performance de deux dispositifs de post-traitement des NO_x provenant de moteurs diesels.

PROGRAMME D'ESSAI

Carburants :

Trois carburants d'essai présentant une teneur en soufre de 0, 10 et 50 ppm.

Véhicules/moteurs :

Deux moteurs diesels de véhicules lourds équipés de dispositifs post-traitement : RSC et NSR.

Méthode d'essai :

Cycle à 13 modes pour moteurs diesels (le cycle à 13 modes a remplacé l'ancien cycle à 6 modes pour l'essai des moteurs de véhicules lourds au Japon).

Mode JE05 (nouveau cycle de conduite transitoire pour l'analyse des émissions provenant des véhicules lourds qui a remplacé le cycle à 13 modes).

Étude expérimentale.

RÉSULTATS PERTINENTS

L'effet de l'indice de cétane sur les émissions n'est pas abordé dans cette étude.

FORCES/FAIBLESSES/LACUNES EN MATIÈRE DE DONNÉES

L'effet de l'indice de cétane sur les émissions n'est pas abordé dans cette étude.

REMARQUES

Cette étude n'a présenté aucun résultat concernant l'analyse de l'indice de cétane.

Numéro de référence de l'étude – C.12 : Li, D. *et al.* 2005. Physico-chemical properties of ethanol–diesel blend fuel and its effect on performance and emissions of diesel engines. *Renewable Energy*, vol. 30, n° 6, p. 967-976.

VUE D'ENSEMBLE

Ces travaux évaluent les effets de différents mélanges éthanol-diesel sur la performance et les émissions des moteurs.

PROGRAMME D'ESSAI

Carburants :

Diesel commercial et éthanol anhydre de qualité de laboratoire.

La présence d'éthanol entraîne différentes modifications physicochimiques du carburant diesel telles que la réduction de l'indice de cétane.

Véhicules/moteurs :

Un moteur diesel monocylindrique à injection directe.

Méthode d'essai :

Aucun cycle d'essai de contrôle des émissions standard.
Étude expérimentale.

RÉSULTATS PERTINENTS

Lorsque le moteur est alimenté avec un mélange éthanol-diesel, l'indice de cétane du carburant est réduit en raison du fait que l'éthanol présente un indice de cétane très faible comparé au diesel.

Une modification des émissions a été observée avec le mélange éthanol-diesel, mais il n'est pas indiqué que cette modification est liée à l'indice de cétane.

FORCES/FAIBLESSES/LACUNES EN MATIÈRE DE DONNÉES

Aucune conclusion concernant les effets du cétane ne peut être tirée de cette étude étant donné que les changements observés concernant les émissions pourraient être dominés par l'effet du carburant oxygéné plutôt que par l'effet de l'indice de cétane.

REMARQUES

Aucune conclusion relative à l'effet de l'indice de cétane sur les émissions ne peut être tirée.

Numéro de référence de l'étude – C.13 : Lu, X.C. *et al.* 2005. Improving the combustion and emissions of direct injection compression ignition engines using oxygenated fuel additives combined with a cetane number improver. *Energy & Fuels*, vol. 19, n° 5, p. 1879-1888.

VUE D'ENSEMBLE

Analyse des effets de la teneur en oxygène dans les mélanges de carburant sur la combustion et les émissions des moteurs diesels.

Cette étude a également analysé l'influence d'un améliorateur de cétane sur la combustion d'un mélange éthanol-diesel.

PROGRAMME D'ESSAI

Carburants :

Trois carburants oxygénés comprenant de l'éthanol, du carbonate de diméthyle et du diméthoxyméthane ont été sélectionnés en vue de les mélanger avec du carburant diesel.

Un améliorateur de l'indice de cétane a également été testé avec un mélange éthanol (15 %)-diesel.

Véhicules/moteurs :

Un moteur diesel de 58 kW quatre cylindres à quatre temps, à injection directe et à allumage par compression équipé d'une pompe d'injection standard.

Aucune modification du calage ou du volume de l'injection (c.-à-d. un moteur diesel standard).

Méthode d'essai :

Aucun cycle d'essai de contrôle des émissions standard.

Étude expérimentale.

RÉSULTATS PERTINENTS

Les émissions de NO_x ont diminué lorsque les carburants oxygénés ont été ajoutés, mais les émissions de CO et d'HC ont augmenté. Les émissions de CO ont diminué à des charges élevées, mais ont augmenté à des charges faibles et moyennes.

L'ajout d'un améliorateur de l'indice de cétane au mélange éthanol (15 %)-diesel a permis d'obtenir une réduction supplémentaire des émissions de NO_x et a permis de réduire les émissions de CO et d'HC par rapport au mélange éthanol (15 %)-diesel.

FORCES/FAIBLESSES/LACUNES EN MATIÈRE DE DONNÉES

Les conclusions de cette étude ne sont applicables qu'aux mélanges de carburants oxygénés dans des moteurs diesels standard.

L'étude ne présente pas de mesure ou de calcul de l'indice de cétane sur les carburants mélangés ou sur le mélange avec un améliorateur de l'indice de cétane.

Il est difficile de savoir si l'effet sur les émissions est dû au carburant oxygéné ou à l'indice de cétane. Par conséquent, cette étude n'est pas pertinente dans le cadre de la présente analyse.

REMARQUES

Aucune conclusion relative à l'effet de l'indice de cétane sur les émissions ne peut être tirée.

Numéro de référence de l'étude – C.14 : Kono, N., Y. Kobayashi et H. Takeda. 2005. Fuel effects on emissions from diesel vehicles equipped with advanced after-treatment devices. *SAE Paper* 2005-01-3700.

VUE D'ENSEMBLE

Cette étude a examiné les effets du carburant sur les émissions d'échappement provenant des véhicules diesels équipés de technologies avancées de réduction des émissions.

PROGRAMME D'ESSAI

Carburants :

Huit carburants d'essai avec des propriétés de carburant différentes.

L'objectif principal était de varier les propriétés de la plage de distillation, de la teneur en hydrocarbures aromatiques et de la teneur en soufre.

L'indice de cétane allait de 48 à 69 (seulement deux en deçà de 60, les deux à 48).

Véhicules/moteurs :

Trois camions de deux tonnes (PBV > 3,5 tonnes, catégorie des véhicules lourds à moteur diesel) ont été testés au cours de cette étude :

- un véhicule conforme au règlement à long terme japonais (Règlement J-1998) – équipé d'un système d'injection haute pression à distributeur d'allumage et d'une RGE;

- un véhicule conforme au nouveau règlement à court terme japonais (Règlement J-2003) – équipé d'un système d'injection haute pression à rampe commune, d'une RGE refroidie et d'un catalyseur d'oxydation pour moteur diesel (COD);
- un véhicule conforme au Règlement J-2003 – équipé d'un système d'injection haute pression à rampe commune, d'une RGE refroidie et d'un NSR.

Méthode d'essai :

Cycle d'essai dynamométrique sur châssis JC08 (nouveau circuit de conduite urbaine japonais permettant l'analyse des émissions et de l'économie de carburant des véhicules légers qui remplacera totalement le cycle en mode 10/15 d'ici 2011).

RÉSULTATS PERTINENTS

En général, les effets du carburant sur les émissions sont faibles par rapport à l'effet des nouvelles technologies.

Voici les principales conclusions de cette étude :

- les technologies des systèmes évolués d'alimentation en carburant pour la réduction des émissions sont très efficaces pour la réduction des émissions de NO_x, mais les effets du carburant sont très faibles;
- les paramètres du carburant peuvent réduire les émissions de MP à la sortie du moteur et améliorer la fiabilité et la durabilité d'un DPF en raison d'une charge plus faible;
- le catalyseur d'oxydation est efficace pour réduire les émissions d'HT et d'HCNM, alors que certains carburants reformulés ont affiché des émissions plus élevées;
- un catalyseur d'oxydation suffisamment actif est efficace pour réduire les émissions de CO, alors que certains carburants reformulés ont affiché des émissions plus élevées.

FORCES/FAIBLESSES/LACUNES EN MATIÈRE DE DONNÉES

L'évaluation des propriétés du carburant était limitée aux plages de distillation, à la teneur en hydrocarbures aromatiques et à la teneur en soufre.

Les auteurs n'ont fait aucun commentaire sur l'influence du cétane sur les émissions étant donné que les variations de l'indice de cétane correspondaient à d'autres modifications importantes des paramètres du carburant.

Cette étude n'a pas isolé l'effet de l'indice de cétane; d'autres paramètres des carburants d'essai ont été modifiés de façon importante.

REMARQUES

Même si l'indice de cétane variait fortement (deux carburants à 48 et le reste au-dessus de 60) un examen visuel des présentations graphiques ne permet d'observer aucune corrélation claire avec les émissions.

Numéro de référence de l'étude – C.15 : Murphy, M.J., J.D. Taylor et R.L. McCormick. 2004. « Compendium of Experimental Cetane Number Data », National Renewable Energy Laboratory, Report No. NREL/SR-540-36805.

VUE D'ENSEMBLE

Ce rapport présente une compilation des indices de cétane déclarés pour un certain nombre de composés chimiques purs.

L'effet de l'indice de cétane sur les émissions n'est pas abordé dans cette étude.

Numéro de référence de l'étude – C.16 : CRC. 2004. « The Effect of Fuel Cetane Quality on Light-Duty Diesel Performance », préparé par Shell Global Solutions (RU); préparé pour le Coordinating Research Council, CRC Project No. AVFL-11.

VUE D'ENSEMBLE

Cette étude vise à déterminer l'effet de l'indice de cétane sur les performances des véhicules légers alimentés au diesel.

PROGRAMME D'ESSAI

Carburants :

Huit carburants avec des indices de cétane compris entre 40 et 55.

Véhicules/moteurs :

Quatre véhicules à passagers équipés de moteurs à injection directe à grande vitesse (HSDI) pour le marché européen :

- Toyota Avensis D-4D (EURO IV, 2003)
- Mazda 6 TS (EURO III, 2003)
- VW Lupo TDi PD (EURO III, 2003)
- VW Golf TDi PD (EURO III, 2003)

Méthode d'essai :

L'essai utilise la méthode CEC-M-11-T-91 (procédure d'essai de la performance des véhicules diesels par temps froid), ci-après nommée M11, pour évaluer les capacités de démarrage à froid et la méthode CEC M-08-T-83 (procédure d'essai de la motricité par temps froid), ci-après nommée M08, pour évaluer la motricité juste après un démarrage à froid.

RÉSULTATS PERTINENTS

Les véhicules modernes équipés de systèmes d'injection directe haute pression commandés par le solénoïde sont moins sensibles aux changements de l'indice de cétane que les véhicules équipés de technologies plus anciennes.

La baisse de l'indice de cétane entraîne une émission plus importante de fumées lors d'un démarrage à froid. Cette corrélation est encore plus évidente à des températures plus froides.

À mesure que l'essai avance, la relation entre le cétane et les émissions de fumées change. Les valeurs des émissions de fumée provenant d'un moteur partiellement chaud seront probablement plus élevées avec des carburants dont l'indice de cétane est plus élevé.

Certains éléments indiquaient que le cétane avec additif donnait de meilleures performances que le cétane naturel, mais les données étaient limitées et les auteurs ont conclu que cette amélioration était une coïncidence.

FORCES/FAIBLESSES/LACUNES EN MATIÈRE DE DONNÉES

Aucune mesure des émissions d'HC, de CO ou de NO_x.

REMARQUES

Cette étude ne se concentrait que sur les performances du moteur.

Numéro de référence de l'étude – C.17 : USEPA. 2003. « The Effect of Cetane Number Increase Due to Additives on NO_x Emissions from Heavy-Duty Highway Engines: Final Technical Report », Office of Transportation and Air Quality, United States Environmental Protection Agency, EPA420-R-03-002.

VUE D'ENSEMBLE

Il s'agit d'une analyse technique sur les effets des émissions de NO_x provenant de l'augmentation de l'indice de cétane résultant de l'utilisation d'additifs de carburant diesel.

L'objectif est de fournir des renseignements aux parties intéressées susceptibles d'évaluer la valeur, l'efficacité et le caractère approprié de l'utilisation des additifs améliorateurs de cétane.

PROGRAMME D'ESSAI

Aucun programme d'essai n'a été mené.

Les résultats de cette étude sont fondés sur les ensembles de données existants et sur une analyse documentaire.

RÉSULTATS PERTINENTS

D'après l'analyse statistique des données, les émissions de NO_x ont diminué en même temps que l'indice de cétane augmentait.

Cela ne s'applique pas aux moteurs à deux temps ou aux moteurs équipés d'une RGE. L'étude indique que les moteurs équipés d'une RGE ne devraient démontrer aucune réaction perceptible au cétane en matière de NO_x, d'après les essais effectués par le Heavy-Duty Engines Workgroup sous les auspices du Mobile Source Technical Review Subcommittee.

FORCES/FAIBLESSES/LACUNES EN MATIÈRE DE DONNÉES

Toutes les données concernaient des moteurs de véhicules lourds fabriqués dans les années 1990 (année de modèle moyenne : 1994) et excluaient particulièrement tous les moteurs à deux temps et les moteurs équipés d'une RGE.

Aucune description détaillée des moteurs dans la base de données – travaux précédents cités.

REMARQUES

Cette étude est basée sur des moteurs relativement anciens (années 1990).

Les résultats ne s'appliquent pas aux moteurs équipés d'une RGE et ne s'appliquent donc pas à la majorité des moteurs fabriqués de nos jours.

Numéro de référence de l'étude – C.18 : İçngür, Y., et D. Altiparmak. 2003. Effect of fuel cetane number and injection pressure on a DI diesel engine performance and emissions. *Energy Conversion and Management*, vol. 44, n° 3, p. 389-397.

VUE D'ENSEMBLE

Cette étude analyse les effets de différents indices de cétane et de différentes pressions de l'injection de carburant sur les émissions et les performances d'un moteur diesel.

PROGRAMME D'ESSAI

Carburants :

Carburants avec des indices de cétane de 46, 51, 54,5 et 61,5. Tous avec une teneur en soufre > 250 ppm.

Véhicules/moteurs :

Un moteur diesel quatre cylindres à injection directe et à quatre temps.

Méthode d'essai :

Aucun cycle d'essai de contrôle des émissions standard.

Étude expérimentale.

Des mesures ont été menées pour chacune des pressions d'injection suivantes : 100, 150, 200 et 250 bars.

RÉSULTATS PERTINENTS

Les émissions de NO_x et de SO₂ étaient réduites lorsque l'indice de cétane du carburant était augmenté à une pression d'injection standard (150 bars).

Les émissions de CO augmentaient à certains régimes du moteur lorsque l'indice de cétane du carburant était augmenté à une pression d'injection standard (150 bars).

Le niveau des émissions de fumées augmente en même temps que l'indice de cétane.

La réduction des émissions et l'amélioration des performances sont plus sensibles aux valeurs de l'indice de cétane comprises entre 46 et 54,5.

FORCES/FAIBLESSES/LACUNES EN MATIÈRE DE DONNÉES

Les données présentées ont montré des écarts importants et aucune analyse de la valeur significative n'a été réalisée.

REMARQUES

Cette étude est peut-être davantage représentative des véhicules équipés de technologies anciennes (sans RGE).

Il n'y a aucune indication relative à la technologie du moteur, à part le fait qu'il s'agit d'un moteur à quatre temps et à injection directe : par conséquent, on suppose qu'il s'agit d'un moteur à injection directe typique antérieur à 2000 (le document a été soumis en 2001) sans RGE.

Numéro de référence de l'étude – C.19 : Bielaczyc, P., M. Kozak et J. Merkisz. 2003. Effects of fuel properties on exhaust emissions from the latest light duty DI diesel engine. *SAE Paper* 2003-01-1882.

VUE D'ENSEMBLE

Ce programme expérimental a été mené pour analyser les effets de la variation des propriétés du carburant sur les émissions.

Les propriétés du carburant comprennent des variations au niveau de l'indice de cétane.

PROGRAMME D'ESSAI

Carburants :

Quatre différents carburants avec des indices de cétane de 45, 50, 55 et 63.

Véhicules/moteurs :

Une voiture à passagers équipée d'un moteur 4 cylindres de 2 L à injection directe à rampe commune, d'un turbocompresseur (avec échangeur d'air), d'une RGE et de catalyseurs d'oxydation. Cette voiture est réglée pour respecter la norme EURO III.

Méthode d'essai :

Cycles d'essai ECE + EUDC (cycle utilisé pour la certification des véhicules légers européens en matière d'émissions).

RÉSULTATS PERTINENTS

L'augmentation de l'indice de cétane de 45 à 63 a permis de réduire les émissions de CO de 26 %.

L'augmentation de l'indice de cétane de 45 à 63 a permis de réduire les émissions d'HC de 25 %.

L'augmentation de l'indice de cétane de 45 à 63 a permis de réduire légèrement les émissions de NO_x (3 à 4 %). Les émissions de NO_x n'ont été réduites que pour la phase UDC (le cycle UDC étant un circuit de conduite urbaine).

Il n'y avait pas de corrélation directe entre l'indice de cétane et les émissions de MP, mais les émissions les plus faibles ont été observées avec le carburant dont l'indice de cétane était le plus faible.

FORCES/FAIBLESSES/LACUNES EN MATIÈRE DE DONNÉES

Un seul véhicule d'essai a été utilisé.

L'indice de cétane variait selon l'utilisation de carburants différents. Ainsi, d'autres paramètres s'en trouvaient modifiés et pourraient avoir influencé les résultats.

REMARQUES

D'après l'examen de la présentation graphique, l'augmentation de l'indice de cétane de 45 à 55 n'a eu aucun impact sur les émissions de NO_x. Ces dernières étaient légèrement inférieures pour le carburant d'essai avec un indice de cétane de 63. Ainsi, la conclusion est basée sur un point de données.

Numéro de référence de l'étude – C.20 : Nakakita, K. *et al.* 2003. Effect of hydrocarbon molecular structure in diesel fuel on in-cylinder soot formation and exhaust emissions. *SAE paper* 2003-01-1914.

VUE D'ENSEMBLE

Cette étude a évalué les émissions d'échappement et les caractéristiques de la combustion de trois moteurs diesels monocylindriques à injection directe à grande vitesse (HSDI).

PROGRAMME D'ESSAI

Carburants :

Six carburants avec des indices de cétane compris entre 48,9 et 80,5.
D'autres paramètres du carburant variaient également.

Véhicules/moteurs :

Deux types de moteurs monocylindriques à injection directe à grande vitesse et à rampe commune; l'un suralimenté avec échangeur d'air.
Un moteur diesel avec accès optique.

Méthode d'essai :

Cycles d'essai ECE + EUDC (cycle utilisé pour la certification des véhicules légers européens en matière d'émissions).
Étude expérimentale.

RÉSULTATS PERTINENTS

Les équations ont été adaptées aux données de l'essai, les meilleurs résultats ayant été obtenus pour les variables de régression relatives au cétane, aux noyaux aromatiques et aux noyaux naphthaléniques.

Le coefficient de régression était positif pour le cétane, indiquant qu'une augmentation de cétane entraînera une augmentation des émissions de MP; toutes les autres variables sont restées constantes.

FORCES/FAIBLESSES/LACUNES EN MATIÈRE DE DONNÉES

Ce programme d'essai s'est limité à des moteurs d'essai monocylindriques.

REMARQUES

Aucune

Numéro de référence de l'étude – C.21 : Neill, W.S. *et al.* 2003 Emissions from heavy-duty diesel engine with EGR using fuels derived from oil sands and conventional crude. *SAE Paper* 2003-01-3144.

VUE D'ENSEMBLE

Cette étude a comparé les comportements de 12 carburants d'essai en matière d'émissions dans un moteur prototype de véhicule lourd de 2004.

Les objectifs de ladite étude étaient de déterminer si les émissions de MP et de NO_x provenant d'un moteur diesel moderne étaient influencées par la source de pétrole brut et par la teneur totale en hydrocarbures aromatiques.

PROGRAMME D'ESSAI

Carburants :

12 carburants diesels obtenus à partir de sables bitumineux et de sources conventionnelles.

Indice de cétane stable : 43.

Véhicules/moteurs :

Une version monocylindrique du moteur diesel de véhicules lourds de la série 3400 de Caterpillar.

Le moteur de base est représentatif de la technologie des moteurs Caterpillar pour les années de modèles 1994 à 1997.

Le moteur était équipé d'une injection électronique, de hauts niveaux de suralimentation par turbocompression et d'une RGE.

Méthode d'essai :

La simulation AVL 8-Mode en régime permanent.

La simulation AVL 8-Mode est conçue pour obtenir une corrélation précise avec les résultats sur les émissions d'échappement obtenus à partir du cycle transitoire de la procédure d'essai fédérale des États-Unis concernant les moteurs de véhicules lourds.

RÉSULTATS PERTINENTS

Les émissions de MP et de NO_x provenant du moteur d'essai ont été influencées par des propriétés compositionnelles clés du carburant.

Les émissions de MP et de NO_x provenant du moteur d'essai n'ont pas été influencées par la source du pétrole brut.

FORCES/FAIBLESSES/LACUNES EN MATIÈRE DE DONNÉES

Cette étude n'a pas évalué l'effet de l'indice de cétane sur les émissions. Par conséquent, elle n'est pas pertinente dans le cadre de la présente analyse.

REMARQUES

Aucune

Numéro de référence de l'étude – C.22 : Oyama, K., et T. Kakegawa. 2003. Evaluation of diesel exhaust emission of advanced emission control technologies using various diesel fuels, and sulphur effect on performance after mileage accumulation – JCAP Diesel WG (Fuel) Report for Step II Study. *SAE Paper* 2003-01-1907.

VUE D'ENSEMBLE

Cette étude a analysé différentes technologies de carburant et de contrôle des émissions pour le carburant diesel ainsi que les essais sur les émissions réalisés en utilisant différents carburants.

PROGRAMME D'ESSAI

Carburants :

Onze carburants d'essai.

Des indices de cétane de 47 et de 54 comparés à deux carburants de type kérosène dont la composition est autrement similaire, dans les véhicules 1 à 3 ci-dessous.

Véhicules/moteurs :

Six moteurs/véhicules ont été testés.

- Un véhicule à passagers équipé d'un catalyseur NSR, d'une injection à rampe commune et d'une RGE refroidie.
- Un véhicule à passagers équipé d'un filtre à particules à régénération continue pour moteur diesel (CR-DPF) à base de fibres, d'un TGV, d'une injection à distributeur et d'une RGE.
- Un véhicule à passagers équipé d'un catalyseur NSR et d'un CR-DPF, d'une injection à rampe commune et d'une RGE refroidie.
- Un moteur de petit camion équipé d'une LPL-EGR, d'un CR-DPF, d'une injection à distributeur et d'un dispositif de recirculation des gaz d'échappement refroidie par une boucle basse pression.
- Un moteur de gros camion équipé d'un CR-DPF, d'un dispositif de RSC à base d'urée et d'une injection à rampe commune (sans RGE).
- Un moteur de petit camion équipé d'un catalyseur NSR, d'une injection à rampe commune et d'une RGE refroidie par une boucle basse pression.

Méthode d'essai :

Mode 10/15 (véhicules)

Mode D13 (moteurs)

Cycle transitoire européen (ETC)

Cycle pour les moteurs de véhicules lourds à l'échelle mondiale

Nouveau cycle transitoire japonais pour les véhicules lourds

RÉSULTATS PERTINENTS

Voici les résultats obtenus pour les voitures à passagers dont l'indice de cétane est passé de 47 à 54 :

- Aucune modification significative des émissions de NO_x et de MP pour le véhicule équipé d'un catalyseur NSR et d'une RGE refroidie.
- Aucune modification significative des émissions de NO_x, mais augmentation de 13 % des émissions de MP pour le véhicule à passagers équipé d'un CR-DPF à base de fibres et d'une RGE.
- Aucune modification significative des émissions de NO_x et de MP pour le véhicule à passagers équipé d'un catalyseur NSR, d'un CR-DPF et d'une RGE refroidie.

FORCES/FAIBLESSES/LACUNES EN MATIÈRE DE DONNÉES

Aucune

REMARQUES

L'influence de l'indice de cétane est propre au véhicule/à la technologie.
L'expression « aucune modification significative » signifie une modification inférieure à 10 %. L'examen visuel de la présentation graphique indique que lorsqu'« aucune modification significative » n'était rapportée, certaines émissions augmentaient tandis que d'autres diminuaient quand l'indice de cétane augmentait.

Numéro de référence de l'étude – C.23 : Khalek, I.A., T.L. Ullman, L. Vasquez et M. Guerrero. 2002. Hot-start transient emissions from a Mercedes OM 366 LA and a Detroit Diesel operated on Chilean, California, and US 2D fuels. *SAE Paper* 2002-01-2827.

VUE D'ENSEMBLE

Cette étude a analysé les performances en matière d'émissions d'un moteur diesel mi-lourd Mercedes OM 366 LA de 1997 et d'un moteur diesel lourd Detroit Diesel Corporation (DDC) série 60 de 1998.

PROGRAMME D'ESSAI

Carburants :

Quatorze carburants d'essai avec des indices de cétane compris entre 45,1 et 62,3.

Véhicules/moteurs :

Dans ce programme, deux moteurs diesels lourds routiers ont été testés :

- Moteur diesel mi-lourd Mercedes OM 366 LA de 1997 – 210 ch, turbocompresseur, pompe d'injection distributrice mécanique.
- Moteur diesel lourd Detroit Diesel Corporation (DDC) série 60 de 1998 – 400 ch, turbocompresseur, injecteur-pompe électronique.

Méthode d'essai :

Cycle transitoire pour les véhicules lourds de la FTP de l'EPA des États-Unis

RÉSULTATS PERTINENTS

Tendance à la baisse des émissions de NO_x et d'HC après l'augmentation de l'indice de cétane de 49 à 63

- Le moteur Mercedes a affiché une réduction plus importante des émissions de NO_x que le moteur DDC.
- Le moteur DDC a affiché une réduction des émissions d'HC plus importante que le moteur Mercedes.

Aucune tendance générale n'a été observée pour les émissions de MP.

- Le moteur Mercedes a affiché une augmentation des émissions de MP avec l'augmentation de l'indice de cétane.
- Le moteur DDC n'a montré qu'une faible corrélation entre les émissions de MP et l'indice de cétane.

FORCES/FAIBLESSES/LACUNES EN MATIÈRE DE DONNÉES

Les résultats sont applicables à des moteurs diesels lourds de technologie plus ancienne.

REMARQUES

Aucune

Numéro de référence de l'étude – C.24 : CONCAWE. 2002. « Evaluation of Diesel Fuel Cetane and Aromatics Effects on Emissions from Euro-3 Engines », rapport n° 4/02, Bruxelles.

VUE D'ENSEMBLE

Cette étude a analysé l'effet de la teneur en hydrocarbures aromatiques (mono contre poly) et de l'indice de cétane (naturel contre additif) sur les émissions provenant de véhicules EURO III.

PROGRAMME D'ESSAI

Carburants :

Six carburants d'essai avec un indice de cétane compris entre 51,1 et 58,3.

Véhicules :

Trois véhicules légers conçus pour le marché européen :

- Tous équipés de technologies à injection directe, d'une RGE non refroidie et de catalyseurs d'oxydation améliorés.
- Chacun équipé soit d'un système d'injection à rampe commune, soit d'un système à injecteur-pompe, soit d'un système à pompe mécanique.

Deux moteurs de véhicules lourds conçus pour le marché européen :

- Les deux équipés d'une injection directe, d'un turbocompresseur et d'un système post-refroidi.
- L'un avec un système à pompe en ligne et sans RGE.
- L'autre avec un système à injecteur-pompe et une RGE refroidie.

Méthode d'essai :

cycle d'essai MVEG de la norme EURO III pour les véhicules à passagers;

cycle ESC (cycle stationnaire de l'Union européenne);

cycle ELR (European Load Response), un essai de réactivité de charge dynamique pour la fumée;

cycle ETC (European Transient Cycle).

RÉSULTATS PERTINENTS

Les effets liés aux carburants étudiés (indices de cétane et teneur en hydrocarbures aromatiques) étaient généralement faibles par rapport aux effets liés à la technologie du moteur et à la variabilité de l'essai.

Des véhicules différents peuvent réagir de façon différente aux mêmes changements de carburants.

L'augmentation de l'indice de cétane (de 53 à 58) n'a eu aucun effet significatif sur les émissions de NO_x ou de MP, que ce soit pour les moteurs de véhicules lourds ou de véhicules légers testés.

L'augmentation de l'indice de cétane a entraîné parallèlement une réduction des émissions d'HC et de CO.

- Pour les moteurs de véhicules lourds, les effets de l'indice de cétane sur les émissions d'HC n'étaient pas significatifs; seul un moteur a montré un effet significatif de l'indice de cétane sur les émissions de CO.
- Des réductions statistiquement significatives ont été observées pour tous les véhicules légers sauf un.

Aucune différence en matière d'émissions n'a pu être constatée entre les carburants avec un indice de cétane naturel et ceux pour lesquels l'indice de cétane était renforcé en utilisant un additif permettant d'améliorer l'allumage.

FORCES/FAIBLESSES/LACUNES EN MATIÈRE DE DONNÉES

Aucune

REMARQUES

Les résultats obtenus ne s'appliquent qu'à des véhicules respectant la norme EURO III ou de technologie plus récente.

Numéro de référence de l'étude – C.25 : Kwon, Y. *et al.* 2001. Fuel effects on diesel emissions – a new understanding. *SAE Paper* 2001-01-3522.

VUE D'ENSEMBLE

Cette étude décrit les effets du carburant sur les émissions à la sortie d'un moteur diesel léger européen.

PROGRAMME D'ESSAI

Carburants :

Quatre matrices de carburants, dont une pour un indice de cétane compris entre 40 et 70.

Véhicules/moteurs :

Un moteur léger quatre cylindres en ligne Rover série L à turbocompresseur et à injection directe équipé d'une pompe d'injection rotative et d'une RGE. Le contrôle électronique de Bosch a été conservé, mais le système de rétroaction a été remplacé par des contrôles sur le banc d'essai en vue de conserver un calage de l'injection et un taux de RGE strictement conformes aux paramètres du fabricant pour chaque régime et chaque charge.

Méthode d'essai :

Cycles d'essai ECE + EUDC (cycle utilisé pour la certification des véhicules légers européens en matière d'émissions).

Banc d'essai spécifique en vue de maintenir un calage de l'injection et un taux de RGE constants.

RÉSULTATS PERTINENTS

« Les changements importants des paramètres du carburant analysés dans cette étude ont entraîné des émissions relativement faibles à la sortie du moteur. »

L'augmentation de l'indice de cétane a entraîné l'augmentation des émissions de MP.

L'augmentation de l'indice de cétane a engendré dans certains cas une légère diminution des émissions de NO_x, mais les auteurs ont conclu que les émissions de NO_x étaient relativement insensibles aux changements de carburant.

L'augmentation de l'indice de cétane a entraîné une réduction des émissions d'HC et de CO.

Le type d'amélioreur de l'indice de cétane utilisé n'avait que peu d'influence sur les résultats.

FORCES/FAIBLESSES/LACUNES EN MATIÈRE DE DONNÉES

Un seul moteur d'essai. Cependant, des systèmes de contrôle sophistiqués ont été utilisés afin d'éliminer les effets de distorsion sur les carburants entraînés par les changements à l'étalonnage du moteur. Par conséquent, les résultats devraient moins dépendre du type et du modèle de moteur.

REMARQUES

Aucune

Numéro de référence de l'étude – C.26 : USEPA. 2001. « Strategies and Issues in Correlating Diesel Fuel Properties with Emissions: Staff Discussion Document », Office of Transportation and Air Quality, United States Environmental Protection Agency, EPA420-P-01-001.

VUE D'ENSEMBLE

Ce rapport décrit les enjeux techniques liés à une évaluation des effets entraînés par les changements des paramètres du carburant diesel sur les émissions d'HC, de CO, de MP, de NO_x et de substances toxiques.

Ce rapport a analysé un ensemble de données important (75 essais de moteurs) afin de modéliser les effets des propriétés du carburant sur les émissions provenant des moteurs lourds.

Le rapport a passé en revue d'autres études pour tirer des conclusions sur les moteurs légers.

PROGRAMME D'ESSAI

Analyse documentaire.

RÉSULTATS PERTINENTS

Conclusions relatives aux moteurs légers :

- Certains chercheurs ont constaté une corrélation entre l'indice de cétane et les émissions de NO_x, alors que d'autres groupes de recherche n'ont relevé aucun effet significatif du carburant sur les émissions de NO_x avec une variabilité importante dans la composition des carburants.
- Outre les effets du carburant sur les émissions de MP et de NO_x, plusieurs chercheurs ont constaté qu'une augmentation de l'indice de cétane entraînait une réduction des émissions d'HC et de CO.

- Les différentes études analysées ont également démontré que des moteurs de technologies différentes réagissaient différemment aux changements apportés aux propriétés du carburant.
- La diversité des réactions des moteurs pourrait avoir partiellement contribué aux incohérences que l'on retrouve dans plusieurs conclusions relatives aux effets des carburants sur les émissions de polluants.
- L'étude de l'EPEFE a démontré que l'effet des propriétés du carburant comme la densité ou l'indice de cétane sur l'ampleur des émissions de NO_x dépendait clairement de la conception du moteur : la réaction des parcs de moteurs à injection directe (majoritairement équipés d'une injection électronique) était ainsi l'inverse de celle des moteurs à injection indirecte (majoritairement équipés d'une injection mécanique).
- Les chercheurs ont également présenté des résultats indiquant que la quantité d'émissions de polluants pouvait, dans certains cas, dépendre fortement des technologies du moteur du véhicule.
- Une étude de l'EPEFE de 1996 [voir la référence C.33] a été passée en revue. Elle concluait que l'augmentation de l'indice de cétane permettait de réduire les émissions de benzène et de 1,3 butadiène parallèlement aux émissions d'HT et de réduire également les émissions d'acétaldéhyde et de formaldéhyde.

Conclusions relatives aux moteurs lourds :

- Le modèle prévoit qu'une augmentation de 5 points de l'indice de cétane entraînera une réduction de 0 à 1,5 % des émissions de NO_x, une réduction de 2 % des émissions de MP et une réduction de 15 à 17 % des émissions d'HC.
- Deux études liées de 1993 et de 1994 passées en revue dans ce rapport analysaient l'effet d'une augmentation de l'indice de cétane par l'entremise d'amélioreurs sur les émissions d'un moteur DDC série 60 de 1991. L'augmentation de 9 à 16 points de l'indice de cétane entraînait des réductions des émissions d'HC comprises entre 40 et 75 %. La réduction des émissions de substances toxiques correspondait à celle obtenue pour les émissions d'hydrocarbures. Les substances toxiques comprenaient l'acétaldéhyde, l'acétone, l'acroléine, le benzaldéhyde, le benzène, le 1,3-butadiène, le crotonaldéhyde, le formaldéhyde, l'hexanaldéhyde, l'isobutyraldéhyde + MEK et le propionaldéhyde.

FORCES/FAIBLESSES/LACUNES EN MATIÈRE DE DONNÉES

L'applicabilité des conclusions de ce rapport est très limitée étant donné l'âge de l'ensemble de données utilisé.

Bien que ce rapport ait présenté les conclusions d'un ensemble de données important, ce dernier ne comprenait qu'un seul moteur équipé d'une RGE.

REMARQUES

Cette étude est basée sur des moteurs relativement anciens (années 1990).

Les résultats ne s'appliquent pas aux moteurs équipés d'une RGE et ne s'appliquent donc pas à la majorité des moteurs fabriqués de nos jours.

Numéro de référence de l'étude – C.27 : Matheaus, A.C. *et al.* 2000. EPA HDEWG Program – Engine Tests Results. *SAE Paper* 2000-01-1858.

et

Numéro de référence de l'étude – C.28 : Mason, R.L. *et al.* 2000. EPA HDEWG Program – Statistical Analysis. *SAE Paper* 2000-01-1859.

VUE D'ENSEMBLE

Cette étude a été menée en vue de déterminer les effets des propriétés du carburant sur les émissions de NO_x provenant des moteurs diesels lourds conçus pour respecter les normes de 2004 relatives aux émissions.

L'un des objectifs était de déterminer les paramètres clés du carburant, y compris l'indice de cétane, et d'analyser leurs effets sur les émissions.

PROGRAMME D'ESSAI

Carburants :

Une matrice de carburants conçue à partir de données statistiques comptant 18 carburants.

L'indice de cétane variait de 42 à 52.

Véhicules/moteurs :

Moteur de camion Caterpillar 3176 avec un étalonnage de 1994.

Moteur à turbocompresseur, post-refroidi, de 4 valves par cylindre et à injecteur-pompe.

Moteur modifié en vue d'ajouter une LPL-EGR.

La plupart des essais ont été menés avec la RGE et seulement quelques essais sans la RGE.

Méthode d'essai :

AVL 8-Mode (l'essai AVL 8-Mode est une procédure d'essai à régime permanent conçue pour obtenir une corrélation précise avec les résultats sur les émissions d'échappement obtenus à partir du cycle transitoire de la procédure d'essai fédérale des États-Unis concernant les moteurs de véhicules lourds).

RÉSULTATS PERTINENTS

Une augmentation de l'indice de cétane de 42 à 52 (avec RGE) a entraîné :

- une augmentation de 1,3 % des émissions de NO_x;
- une baisse de 12 et de 13 % des émissions d'HC et de CO, respectivement;
- un impact nul sur la consommation de carburant.

Il n'y avait aucune différence significative entre les émissions provoquées par les carburants dont l'indice de cétane était naturel ou renforcé, que ce soit avec ou sans RGE.

L'effet de la RGE est très important par rapport aux effets induits par le carburant.

Les auteurs ont indiqué qu'une sensibilité très faible à l'indice de cétane a pu être démontrée pour le moteur équipé d'une RGE, ce qui diffère significativement d'autres études menées sur des moteurs qui n'étaient pas équipés de RGE.

FORCES/FAIBLESSES/LACUNES EN MATIÈRE DE DONNÉES

Un seul moteur d'essai, mais plusieurs travaux précédents ont permis de démontrer qu'il s'agissait d'un moteur typique des moteurs prototypes utilisés par plusieurs fabricants. Une conception de l'essai ainsi qu'une analyse statistique très détaillées en vue d'isoler les effets de chaque paramètre du carburant.

REMARQUES

Aucune

Numéro de référence de l'étude – C.29 : Mitchell, K. 2000. Effects of fuel properties and source on emissions from five different heavy-duty diesel engines. *SAE Paper* 2000-01-2890.

VUE D'ENSEMBLE

Cette étude a passé en revue les résultats de trois programmes afin d'évaluer les effets des propriétés et de la source du carburant sur les émissions d'échappement provenant de moteurs diesels lourds postérieurs à 1994.

PROGRAMME D'ESSAI

Carburants :

Uniquement une analyse d'autres programmes d'essai.
Quinze carburants dont la teneur en hydrocarbures aromatiques et la source (pétrole brut tiré des sables bitumineux ou de sources conventionnelles) variaient.

Véhicules/moteurs :

Tous les moteurs étaient des moteurs lourds à injection directe.
Trois moteurs de série à turbocompresseur et injecteurs-pompes :

- Un moteur de Detroit Diesel série 50 de 1996 – 4 cylindres et 8,5 L.
- Un moteur Caterpillar 3406E de 1995 – 6 cylindres et 14,6 L.
- Un moteur Cummins N14-460 de 1995 – 6 cylindres et 14 L.

Un moteur à injection directe Caterpillar 3476 modifié de 1994 équipé d'un turbocompresseur avec des injecteurs-pompes et une LPL-EGR (conçu pour respecter les normes de 2004 relatives aux émissions).
Un moteur d'essai monocylindrique équipé d'une pompe d'injection en ligne.

Méthode d'essai :

AVL 8-Mode (l'essai AVL 8-Mode est une procédure d'essai à régime permanent conçue pour obtenir une corrélation précise avec les résultats sur les émissions d'échappement obtenus à partir du cycle transitoire de la procédure d'essai fédérale des États-Unis concernant les moteurs de véhicules lourds).

RÉSULTATS PERTINENTS

Une corrélation entre les émissions de NO_x et l'indice de cétane a été constatée dans les cinq moteurs, mais aucune tendance cohérente n'a pu être observée : deux moteurs ont présenté une augmentation des émissions de NO_x avec l'augmentation de l'indice de cétane tandis que trois moteurs ont présenté une réduction des émissions de NO_x. L'utilisation d'une RGE peut diminuer de moitié les émissions de NO_x.

Les résultats liés à l'effet de la qualité du carburant sur les émissions d'HC et de CO mesurées pour chacun des moteurs comportaient peu de similarités.

Les émissions de MP étaient liées à la teneur en soufre et à la densité, mais aucun effet du carburant n'a pu être observé pour deux moteurs.

FORCES/FAIBLESSES/LACUNES EN MATIÈRE DE DONNÉES

Pour certains résultats d'essai présentés dans cette analyse, plusieurs paramètres du carburant étaient modifiés simultanément; aussi est-il difficile de conclure que les effets rapportés sont uniquement liés à l'indice de cétane.

REMARQUES

Aucune

Numéro de référence de l'étude – C.30 : CONCAWE. 1999. « Fuel Quality, Vehicle Technology and their Interactions », rapport n° 99/55, Bruxelles.

VUE D'ENSEMBLE

Ce rapport passe en revue les interactions entre les carburants, la technologie du véhicule, les cycles d'essai et les carburants de référence en ce qui concerne leur influence relative sur les émissions du véhicule, la consommation de carburant, les émissions de CO₂, la durabilité et l'acceptation des clients.

PROGRAMME D'ESSAI

Analyse documentaire.

RÉSULTATS PERTINENTS

Cette étude conclut que les effets sur les émissions et le rendement liés uniquement au changement de carburant sont relativement faibles, mais qu'un tel changement procure des avantages lorsqu'il est fait en vue de favoriser les nouvelles technologies.

Les carburants et les moteurs doivent être conçus de concert en tant que système commun.

FORCES/FAIBLESSES/LACUNES EN MATIÈRE DE DONNÉES

Ce document se base sur des données antérieures à 1999 et certains aspects pourraient ne plus être pertinents.

REMARQUES

Aucune

Numéro de référence de l'étude – C.31 : Lee, R., J. Pedley et C. Hobbs. 1998. Fuel quality impact on heavy duty diesel emissions – a literature review. *SAE Paper* 982649.

VUE D'ENSEMBLE

L'objectif de cette étude était de passer en revue les publications scientifiques existantes concernant les effets de la qualité du carburant diesel sur les émissions réglementées.

Elle s'est concentrée sur les modifications liées aux propriétés du carburant sur les moteurs diesels lourds conçus pour respecter les limites d'émissions fixées entre 1991 et 1998.

PROGRAMME D'ESSAI

Analyse documentaire.

RÉSULTATS PERTINENTS

Ce document exclut spécifiquement toute considération pour les technologies qui n'étaient pas présentes sur les moteurs de série (à l'époque) telles que les catalyseurs d'oxydation ou la RGE.

La plupart des études indiquent que les indices de cétane naturels ou améliorés (par l'ajout d'additifs) présentent des résultats similaires.

Les publications ont démontré que l'augmentation de l'indice de cétane peut réduire les émissions d'HC ou n'avoir aucun effet.

Les analyses menées dans ces documents montrent que les moteurs conçus pour émettre moins de 0,2 g/bhp-h d'HC sont pour la plupart insensibles à l'indice de cétane, alors que les moteurs respectant des normes moins strictes présentent une réduction des émissions d'HC.

Comme pour les HC, les moteurs homologués pour émettre moins de CO présentent des réductions très faibles (voire aucune réduction), alors que les moteurs respectant des normes d'émission moins strictes affichent des réductions plus importantes des émissions de CO avec l'augmentation de l'indice de cétane.

Aucune tendance n'a été constatée dans la relation entre l'indice de cétane et les émissions de MP.

Pour les moteurs émettant de grandes quantités de NO_x, l'augmentation de l'indice de cétane permet de réduire les émissions de NO_x. Pour les moteurs émettant de faibles quantités de NO_x, cette réduction est moins importante ou inexistante.

FORCES/FAIBLESSES/LACUNES EN MATIÈRE DE DONNÉES

Cette analyse documentaire est dépassée et n'inclut pas les technologies actuelles ou récentes que l'on retrouve dans les moteurs.

REMARQUES

Aucune

Numéro de référence de l'étude – C.32 : Ryan, T.W., J. Buckingham, L.G. Dodge et C. Olikara. 1998. The effects of fuel properties on emissions from a 2.5 gm NO_x heavy duty diesel engine. *SAE Paper* 982491.

VUE D'ENSEMBLE

Cette étude évalue les différentes technologies visant à respecter les normes d'émission à venir ainsi que l'effet des propriétés du carburant sur les émissions.

PROGRAMME D'ESSAI

Carburants :

Treize différents carburants avec un indice de cétane variant de 35 à 45 ainsi qu'une teneur en hydrocarbures aromatiques et polyaromatiques.

Véhicules/moteurs :

Moteur Caterpillar 3176 modifié avec l'ajout d'une LPL-EGR.
Injecteur-pompe électronique avec une distribution modifiée.

Méthode d'essai :

Cycle transitoire de la procédure d'essai fédérale de l'EPA des États-Unis pour les moteurs de véhicules lourds.

RÉSULTATS PERTINENTS

Aucune corrélation entre l'indice de cétane et les émissions de NO_x ou de MP n'a pu être constatée.

FORCES/FAIBLESSES/LACUNES EN MATIÈRE DE DONNÉES

Les résultats ne sont basés que sur un seul moteur d'essai.
Plus d'une propriété du carburant variait; aussi a-t-il été difficile d'évaluer plus particulièrement l'influence de l'indice de cétane.

REMARQUES

Aucune

Numéro de référence de l'étude – C.33 : Hublin, M., P.G. Gadd, D.E. Hall et K.P. Schindler. 1996. European Programs on Emissions, Fuels and Engine Technologies (EPEFE) light duty diesel study. *SAE Paper* 961073.

VUE D'ENSEMBLE

Cette étude recense les résultats obtenus dans le cadre du programme européen pour les émissions, les carburants et les technologies des moteurs (EPEFE) en ce qui concerne la relation entre les propriétés du carburant diesel et les technologies des véhicules légers.

Les domaines suivants ont été analysés :

- l'effet des propriétés du carburant sur les paramètres du moteur;
- l'effet des émissions d'échappement sur les nouvelles technologies des véhicules.

PROGRAMME D'ESSAI

Carburants :

Onze carburants d'essai avec un indice de cétane compris entre 50 et 58.

Véhicules/moteurs :

Dix-neuf véhicules légers européens équipés d'une large gamme de technologies et affichant des niveaux d'émissions inférieurs aux normes européennes de 1996.

Les essais concernaient des véhicules à injection directe et à injection indirecte équipés ou non d'une RGE.

Méthode d'essai :

Cycle d'essai ECE15 + EUDC

RÉSULTATS PERTINENTS

L'augmentation de l'indice de cétane de 51 à 58 a permis de réduire les émissions de CO et d'HC.

L'augmentation de l'indice de cétane de 51 à 58 a entraîné l'augmentation des émissions de MP.

L'augmentation de l'indice de cétane de 51 à 58 n'a eu aucun effet sur les émissions de NO_x.

L'augmentation de l'indice de cétane a permis de réduire les émissions de benzène et de 1,3-butadiène proportionnellement aux effets observés sur les émissions d'HT.

L'augmentation de l'indice de cétane a permis de réduire les émissions d'aldéhyde (formaldéhyde et acétaldéhyde).

FORCES/FAIBLESSES/LACUNES EN MATIÈRE DE DONNÉES

Cette étude s'appliquait à des technologies plus anciennes qui devaient permettre de se conformer aux normes d'émission adoptées après 1996.

REMARQUES

L'une des rares études prenant en considération l'effet de l'indice de cétane sur les substances toxiques.

Numéro de référence de l'étude – C.34 : Signer, M., P. Heinze, R. Mercogliano et H.J. Stein. 1996. European Program on Emissions, Fuels and Engine Technologies (EPEFE) heavy duty diesel study. *SAE Paper* 961074.

VUE D'ENSEMBLE

Cette étude recense les résultats obtenus dans le cadre du programme européen pour les émissions, les carburants et les technologies des moteurs (EPEFE) en ce qui concerne la relation entre les propriétés du carburant diesel et les technologies des véhicules lourds.

PROGRAMME D'ESSAI

Carburants :

Onze carburants d'essai avec un indice de cétane compris entre 50 et 58.

Véhicules/moteurs :

Cinq moteurs diesels lourds de 1996 à technologie avancée (la plupart étant des prototypes).

Tous étaient des moteurs à injection directe (pompe d'injection en ligne), à turbocompresseur et à échangeur d'air.

Méthode d'essai :

Cycle d'essai 88/77 de la CEE.

RÉSULTATS PERTINENTS

L'augmentation de l'indice de cétane de 51 à 58 a permis de réduire les émissions de CO et d'HC.

L'augmentation de l'indice de cétane de 51 à 58 n'a eu aucun effet significatif sur les émissions de MP ou de NO_x.

FORCES/FAIBLESSES/LACUNES EN MATIÈRE DE DONNÉES

Cette étude s'appliquait à des technologies plus anciennes qui devaient permettre de se conformer aux normes d'émission adoptées après 1996.

REMARQUES

Aucune

Numéro de référence de l'étude – C.35 : Ladommatos, N., M. Parsi et A. Knowles. 1996. The effect of fuel cetane improver on diesel pollutant emissions. *Fuel*, vol. 75, n° 1, p. 8-14.

VUE D'ENSEMBLE

Cette étude a analysé l'effet d'un améliorateur de cétane sur les émissions de polluants d'un moteur diesel.

PROGRAMME D'ESSAI

Carburants :

Un carburant de base avec un indice de cétane de 40,2 auquel a été progressivement ajouté l'améliorateur de cétane (ethyl-hexyl-nitrate).

Neuf lots de carburant.

L'indice de cétane variait de 40,2 à 62.

Véhicules :

Un moteur d'essai monocylindrique à injection indirecte.

Méthode d'essai :

Étude expérimentale.

RÉSULTATS PERTINENTS

L'augmentation de l'indice de cétane a entraîné une réduction des émissions de NO_x et d'HC.

L'augmentation de l'indice de cétane a entraîné une augmentation des émissions de fumées.

FORCES/FAIBLESSES/LACUNES EN MATIÈRE DE DONNÉES

Un seul moteur d'essai qui n'est pas fabriqué en série.
Cette étude n'est pas représentative des technologies de moteur récentes.

REMARQUES

Aucune

Numéro de référence de l'étude – C.36 : Tsurutani, K., Y. Takei, Y. Fujimoto, J. Matsudaira et M. Kumamoto. 1995. The effects of fuel properties and oxygenates on diesel exhaust emissions. *SAE Paper* 952349.

VUE D'ENSEMBLE

Cette étude a analysé les effets des propriétés du carburant diesel sur les émissions d'un véhicule léger.

PROGRAMME D'ESSAI

Carburants :

Huit carburants d'essai dont les paramètres variaient (y compris l'indice de cétane).
L'effet du cétane a été évalué en ajoutant un améliorateur de cétane.

Véhicules/moteurs :

Une Toyota Corolla avec un moteur diesel à injection directe de 2 L équipé d'une RGE.
Un moteur diesel léger à injection directe de 4 L sans RGE.

Méthode d'essai :

Cycle de conduite urbaine japonais 10/15 pour l'homologation concernant les émissions et la détermination de l'économie de carburant des véhicules légers.
ECE + EUDC

RÉSULTATS PERTINENTS

Dans le moteur à injection directe, l'améliorateur de cétane n'a eu aucun effet sur les émissions de MP et de NO_x.

Dans le véhicule à injection indirecte :

- pour les carburants avec un faible indice de cétane, la réduction des émissions de MP était limitée au cours du cycle ECE + EUDC utilisant un améliorateur de cétane;
- le niveau de cétane n'a eu aucun effet sur les émissions de NO_x.

FORCES/FAIBLESSES/LACUNES EN MATIÈRE DE DONNÉES

Le véhicule et le moteur d'essai représentent des technologies relativement anciennes.

REMARQUES

Les résultats peuvent avoir été influencés par des propriétés du carburant autres que l'indice de cétane seulement.

Numéro de référence de l'étude – C.37 : Den Ouden, C.J.J. *et al.* 1994. Fuel quality effects on particulate matter emissions from light- and heavy-duty diesel engines. *SAE Paper* 942022.

VUE D'ENSEMBLE

Cette étude propose une mise à jour concernant les corrélations entre la qualité du carburant diesel et les émissions de matières particulaires pour les véhicules légers et lourds.

Cette étude passe en revue des travaux précédents et ajoute certaines données provenant de nouveaux essais.

PROGRAMME D'ESSAI

Carburants :

Trente carburants pour les moteurs lourds.
Plus de 40 carburants pour les véhicules légers.

Véhicules/moteurs :

Mélange de moteurs légers à injection directe (2) et à injection indirecte (20), à turbocompresseur et avec ou sans catalyseur.
Cinq moteurs diesels lourds.

Méthode d'essai :

Cycle d'essai japonais à 13 modes en régime permanent pour les moteurs lourds.
Cycle d'essai européen EUC-EUDC pour les véhicules légers.
UDDS de l'EPA des États-Unis (FTP).

RÉSULTATS PERTINENTS

Augmentation de l'indice de cétane dans les véhicules légers :

- L'augmentation de l'indice de cétane n'a pas modifié significativement les émissions de MP provenant des véhicules équipés ou non d'un catalyseur.

Pour les moteurs lourds, l'effet de l'indice de cétane dépendait du moteur.

L'augmentation de l'indice de cétane a permis de réduire les émissions de MP sur trois des cinq moteurs tandis qu'elle n'a eu aucun effet sur les deux autres moteurs.

FORCES/FAIBLESSES/LACUNES EN MATIÈRE DE DONNÉES

Le véhicule et le moteur d'essai représentent des technologies relativement anciennes.

REMARQUES

Aucune

Numéro de référence de l'étude – C.38 : CONCAWE. 1994. « The Effect of Diesel Fuel Properties on Exhaust Emissions from Catalyst Equipped Diesel Passenger Vehicles – Part 2 », rapport n° 94/56, Bruxelles.

VUE D'ENSEMBLE

Cette étude a évalué l'influence sur les émissions des propriétés du carburant diesel et du catalyseur d'oxydation.

PROGRAMME D'ESSAI

Carburants :

Six mélanges basés sur un carburant commercial européen.

Un améliorateur de cétane a été utilisé pour modifier l'indice de cétane.

Véhicules/moteurs :

Six véhicules légers européens, de 1,8 à 2,5 L, principalement à injection indirecte et à turbocompresseur.

Méthode d'essai :

ECE-15 + EUDC

RÉSULTATS PERTINENTS

Sans le catalyseur, l'augmentation de l'indice de cétane a permis de réduire les émissions de MP.

Avec le catalyseur, l'effet de l'augmentation de l'indice de cétane sur les émissions de MP s'est avéré négligeable.

Sans le catalyseur, l'augmentation de l'indice de cétane a permis de réduire les émissions d'HC et de CO dans la plupart des véhicules. Cet effet était moindre avec le catalyseur. Deux véhicules n'ont montré aucune réaction par rapport à l'indice de cétane, que ce soit avec ou sans catalyseur.

FORCES/FAIBLESSES/LACUNES EN MATIÈRE DE DONNÉES

Le véhicule et le moteur d'essai représentent des technologies relativement anciennes.

REMARQUES

Aucune

Numéro de référence de l'étude – C.39 : Tritthart, P., R. Cichocki et W. Cartellieri. 1993. Fuel effects on emissions in various test cycles in advanced passenger car diesel vehicles. SAE Paper 932684.

VUE D'ENSEMBLE

Cette étude a évalué l'influence sur les émissions des propriétés du carburant diesel et du catalyseur d'oxydation.

Aucune conclusion n'a été tirée concernant le lien entre les émissions d'échappement et l'indice de cétane.

Annexe D : Diesel – Analyse des effets de la lubrification

Numéro de référence de l'étude – D.1 : Matzke, M. *et al.* 2009. Diesel lubricity requirements of future fuel injection equipment. *SAE Paper* 2009-01-0848.

VUE D'ENSEMBLE

La composition du carburant diesel a une forte influence sur le matériel d'injection du carburant.

Plusieurs types différents d'additifs lubrifiants sont ajoutés au carburant diesel pour augmenter sa lubrifiante.

Les moteurs diesels modernes que l'on retrouve dans les véhicules légers sont équipés de systèmes d'injection de carburant à rampe commune.

Les équipements diesels modernes n'utilisent plus de pompes d'injection distributrices.

L'objectif de cette étude était de déterminer :

- le comportement tribologique et le mécanisme de défaillance de diverses compositions de carburant dans un contexte de contact à charge élevée;
- si les carburants et les additifs lubrifiants actuels peuvent offrir une protection contre l'usure dans des conditions tribologiques plus intenses;
- si l'essai HFRR peut reproduire ces conditions tribologiques plus intenses.

PROGRAMME D'ESSAI

Carburants :

Quatre carburants commerciaux de base :

- Un carburant diesel suédois de classe 1 (Classe 1) – WSD = 699 μm sur le HFRR;
- Deux carburants diesels à faible teneur en soufre (ULSD) – supérieurs à la norme européenne en matière de lubrifiante, c.-à-d. WSD < 460 μm sur le HFRR (le WSD sur le HFRR étant compris approximativement entre 520 et 600 μm);
- Un ULSD avec une teneur en biodiesel (esther méthylique de colza [RME]) de 5 % (B5) – WSD sur le HFRR = 236 μm .

Quatre additifs lubrifiants différents disponibles sur le marché :

- à base d'acide;
- à base d'amide;
- à base d'ester;
- à base d'ester (conçu pour les régions avec un climat extrêmement froid).

Méthodes d'essai :

Deux méthodes d'essai ont été utilisées pour la détermination de la lubrifiante :

- le banc alternatif à haute fréquence (High Frequency Reciprocating Rig ou HFRR);
- la charge critique de grippage initiale (capacité de charge) dans l'essai HiTOM (High-Temperature Oscillating Machine) en utilisant les composants réels d'une pompe à rampe commune. Ce banc d'essai a été conçu par Bosch.

Quatre carburants de base commerciaux ont été testés avec un diamètre d'impression d'usure (WSD) sur le banc alternatif à haute fréquence (HFRR) compris entre 699 et 236 μm .

RÉSULTATS PERTINENTS

Il existe une bonne corrélation entre l'essai HiTOM qui utilise des composants réels d'une pompe à rampe commune pour les échantillons et l'essai HFRR.

L'essai HFRR a pu être utilisé avec succès pour la lubrification supplémentaire apportée par les additifs lubrifiants.

La lubrification mesurée en utilisant les méthodes d'essai HFRR et HiTOM dépend de la composition des carburants de base ainsi que du taux de traitement et du type de lubrification des additifs lubrifiants utilisés.

Une teneur de 5 % de RME dans le carburant augmente la capacité de charge (essai HiTOM) et diminue le taux de lubrification dans l'essai HFRR (WSD).

L'hydrodésulfuration réduit la lubrification de 80 à 200 µm (HFRR) ainsi que la capacité de charge de 1 500 N dans l'essai HiTOM.

La suppression des composés sulfurés n'est pas la principale cause de la perte de lubrification dans les carburants diesels à faible teneur en soufre.

Le dibenzothiophène peut augmenter la capacité de charge (c.-à-d. augmenter les propriétés de lubrification).

La suppression des composés azotés entraînera probablement un carburant diesel ayant un rendement plus faible en matière de lubrification.

Il existe une bonne corrélation entre l'essai HiTOM et l'essai HFRR.

L'essai HFRR peut être utilisé pour les véhicules modernes utilisant une pompe à rampe commune.

FORCES/FAIBLESSES/LACUNES EN MATIÈRE DE DONNÉES

Cette étude offre un excellent aperçu des composés du carburant diesel et des additifs lubrifiants.

Cette étude a établi une bonne corrélation entre l'usure sur une pompe à rampe commune et l'essai HFRR.

REMARQUES

Aucune

Numéro de référence de l'étude – D.2 : CRC. 2009. « Diesel Fuel Lubricity Requirements for LDD Vehicles », préparé par le Southeast Research Institute (SwRI Project 08.11250); préparé pour le Coordinating Research Council, CRC Contract No. DP-1-03.

VUE D'ENSEMBLE

Il s'agit d'un rapport final provisoire pour ce projet.

L'objectif principal de cette étude était de déterminer la relation entre la lubrification du carburant diesel et la durabilité du matériel d'injection du carburant diesel pour le matériel d'injection du carburant diesel dans les moteurs légers d'aujourd'hui et de demain équipant les véhicules aux États-Unis.

PROGRAMME D'ESSAI

Carburants :

Deux carburants d'une lubrification d'environ 400 et 600 µm sur le HFRR.

Méthode d'essai :

Le programme d'essai a été mené selon un cycle précis (lié à la mesure de la lubrification) avec un type de pompe d'injection et deux carburants.

RÉSULTATS PERTINENTS

Les réactions allaient d'une défaillance immédiate à un fonctionnement à long terme sans dégradation.

Le résultat des inspections sur les pompes a démontré que les mécanismes d'usure ne sont pas fortement liés à la lubrification du carburant.

FORCES/FAIBLESSES/LACUNES EN MATIÈRE DE DONNÉES

Cette étude n'a présenté aucun résultat relatif au lien entre la lubrification du carburant et les émissions.

Il ne s'agit pas des résultats définitifs. Les écarts pourraient être causés par la méthodologie de l'essai et des travaux supplémentaires sont en cours.

Cependant, les résultats provisoires suggèrent que la corrélation entre le taux de lubrification du HFRR et l'usure ne serait pas bonne.

REMARQUES

D'après les résultats de cette étude, de plus amples travaux seraient nécessaires avant que ce système d'essai puisse produire les données fiables requises pour atteindre les objectifs de ce projet. Des modifications supplémentaires à l'appareil et aux procédures d'essai sont recommandées.

Numéro de référence de l'étude – D.3 : CRC. 2008. « Review of Prior Studies of Fuel Effects on Vehicle Emissions », préparé par M. Albert M. Hochhauser, 12 Celler Rd., Edison, NJ 8817; préparé pour le Coordinating Research Council, CRC Project E-84.

VUE D'ENSEMBLE

Cette étude a mené un examen exhaustif des publications scientifiques relatives aux effets des propriétés des carburants sur les émissions.

Cette étude n'a pas traité la question de l'effet de la lubrification du carburant sur les émissions.

Numéro de référence de l'étude – D.4 : Row, J., et A. Doukas. 2008. « Fuel Quality in Canada Impact on Tailpipe Emissions », préparé par le Pembina Institute, Drayton Valley, Alberta, Canada T7A 1S7; préparé pour l'Association des fabricants internationaux d'automobiles du Canada.

VUE D'ENSEMBLE

Cette étude examine les niveaux de soufre et de détergence dans l'essence ainsi que les niveaux de cétane et la lubrification dans le diesel.

Elle compare les normes canadiennes sur les carburants à celles d'autres autorités en ce qui concerne les paramètres en question et cite d'autres discussions sur le sujet.

PROGRAMME D'ESSAI

Analyse documentaire.

RÉSULTATS PERTINENTS

La lubrification en tant que telle n'a pas d'incidence directe sur les émissions, mais une faible lubrification entraîne une usure à long terme des pièces maîtresses d'un moteur, ce qui peut causer une dégradation des performances du moteur au fil du temps.

L'usure se produit principalement dans les systèmes d'injection de carburant, ce qui, en retour, a une incidence sur les performances du moteur.

La conclusion selon laquelle la lubrification est considérée comme un enjeu important est basée sur deux rapports du personnel de l'Environmental Protection Agency de la Californie.

- California Environmental Protection Agency Air Resources Board, Proposed Amendments to the California Diesel Fuel Regulations — Staff Report: Initial Statement of Reasons (2003);
- California Environmental Protection Agency Air Resources Board, Proposed Amendments to the California Diesel Fuel Regulations — Staff Report: Final Statement of Reasons (2004).
- « Le CARB déclare également que les niveaux de lubrification actuels ne sont pas appropriés pour les technologies à faibles émissions à venir. »

FORCES/FAIBLESSES/LACUNES EN MATIÈRE DE DONNÉES

Les références citées dans ce rapport ainsi que la citation ci-dessus ont été rédigées avant la mise en place d'une norme sur la lubrification par l'Environmental Protection Agency de la Californie. Ainsi, les « niveaux de lubrification actuels » n'étaient pas du tout définis à l'époque. Ces documents de discussion ont conduit à la mise en place d'une norme sur la lubrification de 0,520 mm dans les carburants diesels en Californie.

Les commentaires indiquant que le soufre serait un lubrifiant naturel sont inexacts d'un point de vue technique.

REMARQUES

À ce jour, la Californie dispose de l'une des normes les plus faibles concernant la lubrification (taux le plus élevé) – 0,520 mm par rapport à 0,460 mm en Europe, en Australie et au Japon. Le Canada dispose de la même limite volontaire que ces derniers, fixée à 0,460 mm.

Ce rapport ne présente aucune analyse documentaire approfondie.

Numéro de référence de l'étude – D.5 : Caprotti, R., S. Takaharu et D. Masahiro. 2008. Impact of diesel fuel additives on vehicle performance. *SAE Paper* 2008-01-1600.

VUE D'ENSEMBLE

Cette étude a été menée pour évaluer l'incidence potentielle des additifs du carburant diesel (p. ex. additifs lubrifiants et additifs améliorant l'écoulement par temps froid) sur les performances des véhicules.

Un carburant sans additif a été traité avec des niveaux très élevés de tous les additifs de carburant diesel utilisés à l'heure actuelle pour respecter les spécifications limites et pour améliorer la performance du carburant diesel.

Un véhicule utilisant un système avancé d'injection à rampe commune a été conduit de façon contrôlée sur une distance de 50 000 km.

PROGRAMME D'ESSAI

Carburants :

Des analyses du carburant d'essai ont été menées tous les 10 000 km (échantillonnage du carburant à partir du réservoir du véhicule).

La lubrifiante du carburant utilisé pour cette étude était de 0,542 µm.

Méthode d'essai :

Des essais sur les émissions et la motricité ont été effectués au kilomètre 0 afin d'obtenir des données de référence.

Des essais supplémentaires ont ensuite été réalisés à 15 000 et à 50 000 km en vue de déceler tout changement par rapport aux données de référence.

Après chaque tranche de 5 000 km parcourus, les paramètres du véhicule et du moteur ont été évalués en suivant le protocole ECU.

RÉSULTATS PERTINENTS

Cette étude a démontré que l'utilisation d'un carburant particulier affichant une lubrifiante de 0,542 µm grâce à l'ajout d'additifs n'aurait aucun effet nocif sur le matériel moderne d'injection du carburant utilisé dans le parc de véhicules actuel après 50 000 km.

Les données obtenues sur le carburant d'essai montrent que pratiquement aucune modification n'a pu être observée pendant toute la durée de l'essai, probablement en raison de l'utilisation d'un additif lubrifiant à base d'ester.

L'utilisation d'un additif lubrifiant dont la composition chimique est à base d'ester s'avère inoffensive même dans les environnements les plus intenses au sein du matériel d'injection du carburant. Cela s'applique à la pompe, aux conduites d'alimentation en carburant, au corps d'injecteur, aux orifices de pulvérisation de l'injecteur et aux buses.

Ces résultats sont cohérents avec ceux d'autres essais :

- Graupner, O. *et al.* 2005. « Injector Deposit Test for Modern Diesel Engines », TAE Symposium.
- Caprotti, R., A. Breakspear, O. Graupner et T. Klaua. 2005. Detergency requirements of future diesel injection systems. *SAE Paper* 2005-01-3901.
- Caprotti, R., A. Leedham, O. Graupner et T. Klaua. 2004. Impact of fuel additives on diesel injector deposits. *SAE Paper* 2004-01-2935.

FORCES/FAIBLESSES/LACUNES EN MATIÈRE DE DONNÉES

Ces résultats ne s'appliquent qu'aux additifs lubrifiants à base d'ester.

REMARQUES

Un kilométrage total de 50 000 km est relativement faible et n'est pas nécessairement représentatif du cycle de vie d'un moteur.

Numéro de référence de l'étude – D.6 : Ullmann *et al.* 2008. Investigation into the formation and prevention of internal diesel injector deposits. *SAE Paper* 2008-01-0926.

VUE D'ENSEMBLE

Au cours des trois dernières années, un nouveau type de dépôts dans les injecteurs a été observé de plus en plus souvent sur les composants et les systèmes internes de l'injecteur.

Le matériel d'injection du carburant pris en compte dans cette étude consistait généralement en un système à rampe commune qui s'appuie sur le carburant diesel pour apporter la lubrification nécessaire.

Cette étude a été menée pour comprendre la composition des dépôts et leurs mécanismes de formation.

Elle s'est concentrée sur les dépôts qui peuvent se produire à l'intérieur des injecteurs au sein de systèmes d'injection à rampe commune.

La méthodologie utilisée et les données générées à l'appui des mécanismes de dépôt suggérés sont décrites dans le document.

PROGRAMME D'ESSAI

Analyse des dépôts et étude menée en laboratoire.

RÉSULTATS PERTINENTS

Deux nouveaux types de dépôts ont été observés sur les composants internes des injecteurs.

Ces nouveaux dépôts peuvent avoir un effet nocif sur la motricité et entraîner une non-conformité avec les limites d'émissions EURO IV ou EURO V

L'analyse des dépôts et l'étude menée en laboratoire ont permis de déceler :

- des dépôts à base de métaux, particulièrement ceux contenant du sodium. Les ions sodium présents dans le carburant réagissent avec les acides gras pour former un savon.
- des dépôts polymériques sans cendre provenant de la réaction entre les détergents PIBSI et les substances basées sur des acides gras que l'on retrouve typiquement aujourd'hui dans le commerce. Le polymère en résultant se caractérise par la présence d'une liaison peptidique solide provenant de la réaction entre le détergent et les substances acides, notamment les diacides gras.

Les acides gras sont communément utilisés comme additifs lubrifiants dans le carburant diesel avec différents degrés d'insaturation. Il a été démontré que ces additifs réagissaient immédiatement avec les impuretés des ions métalliques présents dans le carburant pour former des savons métalliques.

L'utilisation d'additifs lubrifiants à base d'ester s'est avérée neutre lorsqu'elle est combinée à des détergents.

FORCES/FAIBLESSES/LACUNES EN MATIÈRE DE DONNÉES

Cette étude a démontré que le choix de l'additif lubrifiant ou de la méthode de lubrification est important pour éviter les dépôts sur le matériel d'injection du carburant.

REMARQUES

Ce document confirme les conclusions d'un document précédent selon lesquelles les additifs à base d'ester n'auront aucun effet nocif sur le matériel d'injection de carburant moderne utilisé dans le parc de véhicules actuel.

Numéro de référence de l'étude – D.7 : DOE. 2007. « The Advanced Petroleum-Based Fuels-Diesel Emission Control (APBF-DEC) Program: 2,000-Hour Performance of a NO_x Absorber Catalyst and Diesel Particle Filter System for a Medium-Duty, Pick-Up Truck Diesel Engine Platform, Final Report », U.S. Department of Energy, DOE/GO-102007-2377.

VUE D'ENSEMBLE

Les objectifs de cette étude étaient :

- de démontrer le potentiel d'émissions des carburants, des moteurs et des dispositifs antipollution modernes en vue de respecter les normes d'émission fédérales de Niveau 2 de la Série 5;
- d'évaluer l'effet du niveau de soufre sur les émissions, l'économie de carburant, la performance des dispositifs antipollution et la dégradation des catalyseurs.

Cette étude n'a pas abordé la question de la lubrification du carburant diesel.

Numéro de référence de l'étude – D.8 : Gallant, T., J. Franz et M. Ainajjar. 2007. « The Influence of Molecular Structure of Distillate Fuels on HRFF Lubricity », Diesel Engine-Efficiency and Emissions Research Conference, Technical Session 7: Fuels and Lubricants, Part 2.

VUE D'ENSEMBLE

Un partenariat entre CANMET, le NCUT, l'ORNL et le PNNL a été créé afin :

- d'étudier les méthodes de chimie analytique qui pourraient s'appliquer à la chimie des mazouts légers;
- de démontrer la valeur de ces méthodes analytiques avancées en déterminant des domaines de recherche (combustion ACCH, émissions, lubrification ou technologies post-traitement) pour lesquels des données analytiques pourraient en améliorer la compréhension.

PROGRAMME D'ESSAI

Aucun

RÉSULTATS PERTINENTS

De nombreux facteurs influencent la lubrification :

- la viscosité;
- le soufre;
- l'azote;
- les diaromatiques.

Aucun de ces facteurs ne permet d'expliquer à lui seul l'ensemble des résultats obtenus concernant l'usure. Par exemple :

- l'augmentation de la viscosité a entraîné une diminution du diamètre d'impression d'usure dans le cadre de l'essai HFRR;
- l'augmentation du 1H-alcane a entraîné une augmentation du diamètre d'impression d'usure dans le cadre de l'essai HFRR.

La lubrifiante est un mécanisme complexe dans lequel la structure moléculaire entre en jeu.

Diverses méthodes analytiques sont nécessaires pour explorer de façon adéquate les différentes théories relatives à la lubrifiante.

La corrélation entre les deux essais sur la lubrifiante (HFRR et SLBOCLE) n'était pas bonne.

FORCES/FAIBLESSES/LACUNES EN MATIÈRE DE DONNÉES

Présentation dans le cadre d'une conférence. Aucun détail n'est disponible sur cette étude.

REMARQUES

CANMET : CanmetÉNERGIE, de Ressources naturelles Canada, est le chef de file canadien de la recherche et du développement de technologies en matière d'énergies propres.

NCUT : Le Centre national des technologies de valorisation (NCUT) est la principale organisation scientifique et technologique Canada-Alberta visant à valoriser le bitume et le pétrole lourd en pétrole brut synthétique.

ORNL : L'Oak Ridge National Laboratory est un laboratoire menant de multiples programmes scientifiques et technologiques qui est géré par le département de l'Énergie des États-Unis.

PNNL : Le Pacific Northwest National Laboratory, situé à Richland (Washington), est un laboratoire de recherche gouvernemental rattaché au département de l'Énergie des États-Unis.

Numéro de référence de l'étude – D.9 : Chevron Corporation. 2007. « Diesel Fuels Technical Review », Chevron Products Company, 6001 Bollinger Canyon Road, San Ramon, CA 94583.

VUE D'ENSEMBLE

Ce rapport passe en revue la performance, les propriétés, le raffinage et l'essai du carburant diesel.

- Un chapitre est consacré aux moteurs diesels et plus particulièrement aux moteurs diesels lourds utilisés dans les camions et les autobus.
- Le rapport examine leur influence sur le carburant et le moteur.

PROGRAMME D'ESSAI

Analyse documentaire.

RÉSULTATS PERTINENTS

Le carburant diesel doit présenter un niveau minimal de lubrifiante si l'on veut éviter une usure excessive, car certaines pièces mobiles des pompes et des injecteurs de carburant diesel sont protégées de l'usure par le carburant lui-même.

L'utilisation de carburant à faible lubrifiante peut favoriser l'usure des pompes et des injecteurs de carburant et, dans les cas extrêmes, être à l'origine d'une défaillance majeure.

Tout avantage obtenu grâce aux additifs lubrifiants est généralement observé à long terme.

Les trois types d'additifs lubrifiants généralement utilisés sont :

- les monoacides;
- les amides;
- les esters.

La plupart des carburants diesels à faible teneur en soufre ont besoin d'un additif lubrifiant en vue de se conformer à la norme ASTM D975 relative à la lubrifiante.

Le mécanisme de lubrification est une combinaison de lubrification hydrodynamique et de lubrification limite.

- Lubrification hydrodynamique :
 - une couche de liquide empêche tout contact entre deux surfaces opposées;
 - le carburant lui-même ainsi que sa viscosité représentent la propriété clé du carburant en ce qui concerne l'usure des pompes et des injecteurs de carburant diesel;
 - les carburants diesels présentant une viscosité supérieure permettront une meilleure lubrification hydrodynamique.
- Lubrification limite :
 - les composés qui forment une couche protectrice anti-usure en adhérant aux surfaces solides;
 - cette lubrification est notamment importante lorsque des charges élevées ou de faibles régimes ont entraîné l'évacuation d'une grande partie du liquide permettant la lubrification hydrodynamique, laissant ainsi certaines petites parties de surfaces opposées en contact.

Les additifs lubrifiants contiennent un groupement polaire attiré par les surfaces métalliques qui permet à l'additif de former une fine pellicule sur ces surfaces. Cette pellicule agit en tant que lubrifiant limite lorsque deux surfaces métalliques sont en contact.

Les essais HFRR et SLBOCLE permettent d'indiquer lorsque les carburants traités à l'aide d'un additif lubrifiant efficace présentent une faible lubrifiante alors que l'essai au banc le plus précis sur le matériel d'injection du carburant les considérera acceptables. En raison de la réglementation des États-Unis sur les pipelines, les additifs lubrifiants sont ajoutés aux terminaux.

FORCES/FAIBLESSES/LACUNES EN MATIÈRE DE DONNÉES

Aucune

REMARQUES

Ce rapport offre un bon aperçu de la lubrifiante dans le carburant diesel.

Numéro de référence de l'étude – D.10 : ASTM International Standard for Lubricity ASTM D 6078 and D 6079.

VUE D'ENSEMBLE

En 2005, ASTM International a approuvé l'ajout d'une exigence en matière de lubrifiante à sa norme relative aux carburants diesels (ASTM D975). Deux méthodes d'essai sont acceptées pour évaluer la lubrifiante :

- ASTM D6079 – 04e1: ASTM D6079 – 04e1 Standard Test Method for Evaluating Lubricity of Diesel Fuels by the High-Frequency Reciprocating Rig (HFRR);
- ASTM D6078 – 04: ASTM D6078 – 04 Standard Test Method for Evaluating Lubricity of Diesel Fuels by the Scuffing Load Ball-on-Cylinder Lubricity Evaluator (SLBOCLE).

PROGRAMME D'ESSAI

Protocole détaillé pour effectuer des mesures de la lubrifiante.

RÉSULTATS PERTINENTS

L'essai HFRR est plus communément utilisé que l'essai SLBOCLE.

L'essai HFRR exige que tous les indices de carburant diesel (1-D et 2-D) présentent des diamètres d'impression d'usure maximaux de 520 microns à 60 °C. Une valeur plus faible représente une meilleure lubrifiante du carburant.

L'ASTM a signalé qu'« on ne sait pas si ces méthodes d'essai prévoient la performance de toutes les combinaisons additif/carburant. Des travaux supplémentaires sont en cours pour mieux établir cette corrélation et de futures révisions de cette méthode d'essai seront peut-être nécessaires une fois ces travaux terminés. »

Aucune corrélation absolue n'a été établie entre ces deux méthodes d'essai.

FORCES/FAIBLESSES/LACUNES EN MATIÈRE DE DONNÉES

Aucune

REMARQUES

Dans l'essai HFRR, une valeur plus faible représente une meilleure lubrifiante du carburant.

Dans l'essai SLBOCLE, une valeur plus élevée représente une meilleure lubrifiante du carburant.

Voici les lignes directrices recommandées par l'Engine Manufacturers Associations (EMA) en ce qui concerne la lubrifiante :

- Essai HFRR : un diamètre d'impression d'usure inférieur à 0,450 mm à 60 °C;
- ou
- Essai SLBOCLE : valeur minimale de 3 100 g.

Numéro de référence de l'étude – D.11 : Knothe, G., et K.R. Steidley. 2005. Lubricity of Components of Biodiesel and Petrodiesel. The Origin of Biodiesel Lubricity. *Energy & Fuels*, vol. 19, p. 1192-1200.

VUE D'ENSEMBLE

Cette étude a abordé et établi des corrélations concernant les caractéristiques structurelles des composés du biodiesel et du pétrodiesel ayant une influence sur la lubrification.

L'un des objectifs de cette étude était de définir les composés et les caractéristiques structurelles qui donnent les meilleures propriétés de lubrification à un carburant diesel. Divers composés ont été étudiés sous leur forme pure (y compris les esters gras, les alcools gras, les acides gras et les hydrocarbures) tout comme leur mélange ou leur utilisation comme additifs dans les carburants diesels.

PROGRAMME D'ESSAI

La détermination de la lubrification a été réalisée avec l'essai de lubrification HFRR à 25 et à 60 °C.

RÉSULTATS PERTINENTS

Pour tous les échantillons testés, le diamètre d'impression d'usure était supérieur à 60 °C qu'à 25 °C.

Les deux carburants diesels (DF1 et ULSD) ont affiché une lubrification faible sous leur forme pure alors que le biodiesel commercial a affiché une excellente lubrification.

Conformément aux résultats présentés dans plusieurs autres publications scientifiques citées dans le document, l'ajout de 1 à 2 % de biodiesel aux deux carburants diesels à faible lubrification utilisés dans cette étude a permis d'améliorer leur lubrification.

La conclusion principale consiste à dire qu'au moins deux caractéristiques doivent être présentes dans une molécule pour apporter de la lubrification :

- la présence d'un hétéroatome (de préférence de l'oxygène) apportant la polarité et dont la nature (et le nombre) de la fraction d'oxygène jouera un rôle important;
- une chaîne carbonée de longueur suffisante augmentant également la viscosité.

La lubrification des mélanges faibles (de 1 à 2 %) de biodiesel avec un carburant diesel à faible lubrification est principalement causée par les contaminants que représentent les acides gras libres et le monoacylglycérol présents dans le biodiesel.

FORCES/FAIBLESSES/LACUNES EN MATIÈRE DE DONNÉES

Aucune

REMARQUES

Cette étude a abordé les aspects importants du carburant diesel responsables de la lubrification.

Numéro de référence de l'étude – D.12 : CRC. 2002. « Operability and Compatibility Characteristics of Advanced Technology Diesel Fuels », préparé par le Southwest Research Institute (SWRI Project No. 03-02476); préparé pour le Coordinating Research Council, CRC Project No. AVFL-2.

VUE D'ENSEMBLE

Des tests d'endurance ont été menés en utilisant une pompe motorisée en vue de définir les effets de la composition du carburant diesel sur la durabilité du matériel d'injection du carburant dans son ensemble.

Les séries d'essais ont tenté de déterminer le niveau de dégradation du système d'injection du carburant causé par l'usure et la défaillance de la pellicule limite pour chaque carburant d'essai.

PROGRAMME D'ESSAI

Carburants :

Quatre carburants d'essai ont été sélectionnés pour cette étude :

- carburant pétrolier fortement hydrocraqué présentant de très faibles teneurs en soufre et en composés aromatiques (LSLA);
- carburant diesel de référence californien (CA);
- diesel pur Fischer-Tropsch (FT100);
- mélange de 15 % de diméthoxyméthane (DMM) avec 85 % de LSLA (DMM15).

Méthode d'essai :

Les séries d'essais ont tenté de déterminer le niveau de dégradation du système d'injection du carburant causé par l'usure et la défaillance de la pellicule limite pour chaque carburant d'essai.

La procédure d'essai consistait à faire fonctionner la pompe pendant 500 heures.

RÉSULTATS PERTINENTS

Stanadyne Automotive et Bosch ont signalé que ces 500 heures de fonctionnement seraient suffisantes pour constater l'usure de la pompe d'injection avec des carburants présentant une lubrifiante faible. Les deux fabricants ont indiqué qu'avec des carburants présentant une lubrifiante insuffisante, une baisse de la performance de l'injection de carburant pouvait également se produire au cours des 500 heures.

La pompe Stanadyne est une pompe d'injection de carburant rotative/distributrice à pistons opposés. La pompe d'injection de carburant rotative/distributrice est lubrifiée par le carburant; elle est donc sensible à la lubrifiante de ce dernier.

Le système Bosch testé était un système d'injection haute pression à rampe commune.

Les essais sur la lubrifiante ont été menés sur le carburant pétrolier fortement hydrocraqué présentant de très faibles teneurs en soufre et en composés aromatiques (LSLA) afin de déterminer si des additifs lubrifiants étaient présents.

- Le diamètre d'impression d'usure de l'essai HFRR était de 0,585 µm.
- La charge de grippage de l'essai SLBOCLE était de 1 850 grammes.
- Ces résultats semblent indiquer qu'aucun additif lubrifiant n'avait été ajouté.

Les conclusions de cette étude comprenaient les suivantes :

- La variabilité des données et la petite taille de l'échantillon rendent difficile l'évaluation de l'incidence de la lubrifiante du carburant.
- Les pompes Bosch à rampe commune à haute pression semblent plus sensibles à la lubrifiante du carburant.

Même si les essais au banc alternatif à haute fréquence (HFRR) ont été capables de distinguer les carburants avec additif lubrifiant des carburants sans additif lubrifiant, la corrélation était faible avec les résultats relatifs à durabilité de la pompe.

FORCES/FAIBLESSES/LACUNES EN MATIÈRE DE DONNÉES

Aucune

REMARQUES

Installation expérimentale visant à déterminer l'influence de la lubrification du carburant.

Numéro de référence de l'étude – D.13 : Gray, C. *et al.* 2002. Investigation of diesel fuel lubricity and evaluation of bench tests to correlate with medium and heavy duty diesel fuel injection component wear – Part 1. *SAE Paper* 2002-01-1700.

VUE D'ENSEMBLE

Cette étude a été menée en vue d'analyser les effets de la lubrification du carburant diesel sur les taux d'usure et de défaillance du matériel d'injection du carburant diesel.

PROGRAMME D'ESSAI

Carburants :

Les sept carburants d'essai utilisés dans cette étude ont permis d'obtenir des diamètres d'impression d'usure (HFRR) de 0,603 (carburant de base), de 0,423, de 0,410, de 0,352, de 0,320, de 0,196 et de 0,103 µm.

Méthode d'essai :

Cinq essais ont été utilisés pour évaluer les caractéristiques de lubrification du carburant diesel :

- un banc d'essai modifié « Ball-on-Three-Disk » (BOTD) de la Falex Corporation;
- un banc d'essai à haute vitesse impliquant un moteur Detroit Diesel Corporation (DDC) 8V71T fonctionnant à des conditions de charge et de régime maximales et à des températures de carburant, de liquide de refroidissement et d'air ambiant élevées;
- un groupe électrogène Wartsila VASA 9R32 fonctionnant au diesel (semi-rapide) situé à Iqaluit (Nunavut) au Canada;
- un essai au banc d'une pompe;
- un banc alternatif à haute fréquence (HFRR).

RÉSULTATS PERTINENTS

Plusieurs additifs lubrifiants disponibles sur le marché peuvent améliorer de façon importante la lubrification des carburants diesels présentant une faible lubrification.

L'amélioration de la lubrification des carburants diesels peut être obtenue en utilisant des concentrations relativement faibles d'additifs lubrifiants.

Les additifs lubrifiants réduisent nettement l'usure des composants du matériel d'injection du carburant.

L'essai HFRR semble être :

- capable de faire la distinction entre les niveaux de lubrification des carburants à lubrification élevée ou faible dans les moteurs diesels lourds, semi-rapides et rapides.

- incapable de déterminer de façon précise les caractéristiques de lubrification des carburants contenant des additifs lubrifiants pour les carburants utilisés dans cette étude.

FORCES/FAIBLESSES/LACUNES EN MATIÈRE DE DONNÉES

Aucune donnée indiquant une relation entre les taux d'usure du matériel d'injection du carburant et les niveaux de lubrification n'est présentée.

REMARQUES

Ce document a montré que les additifs lubrifiants amélioreront la lubrification de carburants diesels ayant une faible lubrification pour obtenir des niveaux satisfaisants et qu'ils réduiront considérablement les taux d'usure du matériel d'injection du carburant.

Page intentionnellement laissée en blanc

Annexe E : BIBLIOGRAPHIE

Essence – Effets du soufre dans le carburant

- A.1. Alliance of Automobile Manufacturers. 2009. « National Clean Gasoline: An Investigation of Costs and Benefits » (juin).
- A.2. Alliance of Automobile Manufacturers. 2009. « Alliance of Automobile Manufacturers Comments on Clean Air Act Waiver Application to Increase the Allowable Ethanol Content of Gasoline to 15 Percent », présenté à l'Environmental Protection Agency des États-Unis (20 juillet).
- A.3. Row, J., et A. Doukas. 2008. « Fuel Quality in Canada Impact on Tailpipe Emissions », préparé par le Pembina Institute, Drayton Valley, Alberta, Canada T7A 1S7; préparé pour l'Association des fabricants internationaux d'automobiles du Canada.
- A.4. Shen, Y. 2008. Effects of gasoline fuel properties on engine performance. *SAE Paper* 2008-01-0628.
- A.5. CRC. 2008. « Review of Prior Studies of Fuel Effects on Vehicle Emissions », préparé par M. Albert M. Hochhauser, 12 Celler Rd., Edison, NJ 8817; préparé pour le Coordinating Research Council, CRC Project E-84.
- A.6. EPA. 2007. « Regulatory Impact Analysis: Control of Hazardous Air Pollutants from Mobile Sources, Chapter 6: Feasibility of the Benzene Control Program », United States Environmental Protection Agency. EPA420-R-07-002.
- A.7. Ntziachristos, L., A. Mamakos, Z. Samaras, U. Mathis, M. Mohr, N. Thompson, R. Stradling, L. Forti et C. Serves. 2004. Overview of the European "Particulates" Project on the characterization of exhaust particulate emissions from road vehicles: Results for light-duty vehicles. *SAE Paper* 2004-01-1985.
- A.8. Stradling, R., N., R. Thompson, D. Bazzani, S.D. Rickeard, P.M. Bjordal, P. Martinez, P. Schmelzle, G. Scorletti, P. Wolff et J. Zemroch. 2004. Fuel effects on regulated emissions from modern gasoline vehicles. *SAE Paper* 2004-01-1886.
- A.9. Durbin, T.D., J.W. Miller, J.T. Pisano, T. Younglove, C.G. Sauer, S.H. Rhee, T. Huai et G.I. Mackay. 2003. « The Effect of Fuel Sulphur on NH₃ and Other Emissions from 2000-2001 Model Year Vehicle », Coordinating Research Council (mai).
- A.10. Saitoh, K., et M. Hamasaki. 2003. Effects of sulphur, aromatics, T50, T90 and MTBE on mass exhaust emission from vehicles with advanced technology – JCAP Gasoline WG STEP II Report. *SAE Paper* 2003-01-1905.
- A.11. Mohr, M.U.L., et G. Margaria. 2003. ACEA program on the emissions of fine particulates from passenger cars (2) – Part 2: Effect of sampling conditions and fuel sulphur content on the particle emission. *SAE Paper* 2003-01-1890.

- A.12. N. Kono, M. Hirose, K. Akasofu et H. Takeda. 2003. Gasoline sulphur effect on emissions from vehicles equipped with lean NO_x catalyst under mileage accumulation tests. *SAE Paper* 2003-01-3077.
- A.13. Commission européenne. 2001. « The Costs and Benefits of Lowering the Sulphur Content of Petrol & Diesel to less than 10 ppm », Commission européenne, DG Environnement, Division du développement durable et Unité des évaluations relatives aux émissions et au bruit.
- A.14. AECC. 2000. « Response to European Commission Consultation on the Need to Reduce the Sulphur Content of Petrol and Diesel Fuels below 50 Parts per Million », Association for Emissions Control by Catalyst (juillet).
- A.15. Takei, Y., Y. Kinugasa, M. Okada, T. Tanaka et Y. Fujimoto. 2000. Fuel property requirement for advanced technology engines. *SAE Paper* 2000-01-2019.
- A.16. Koseki, K., T. Uchiyama et M. Kawamura. 2000. A study on the effects of sulphur in gasoline on exhaust emissions. *SAE Paper* 2000-01-1878.
- A.17. Baronick, J., B. Heller et G. Lach. 2000. Impact of sulphur in gasoline on nitrous oxide and other exhaust gas components. *SAE Paper* 2000-01-0857.
- A.18. ACEA. 2000. « ACEA Data of the Sulphur Effect in Advanced Emission Control Technologies », Association of European Automobile Manufacturers, Bruxelles.
- A.19. Lyons, J.M., D. Lax et S. Welstand. 1999. Investigation of sulphur sensitivity and reversibility in late-model vehicles. *SAE Paper* 1999-01-3676.
- A.20. Kwon, Y.K., R. Bazzani, P.J. Bennett, O. Esmilaire, P. Scorletti, T. David, B. Morgan, C.L. Goodfellow, M. Lien, W. Broeckx et P. Liiva. 1999. Emissions response of a European specification direct-injection gasoline vehicle to a fuels matrix incorporating independent variations in both compositional and distillation parameters. *SAE Paper* 1999-01-3663.
- A.21. Schleyer, C.H., K.D. Eng, R.A. Gorse, R.F. Gunst, J. Eckstrom, J. Freel, M. Natarajan et A.M. Schlenker. 1999. Reversibility of sulphur effects on emissions of California low-emission vehicles. *SAE Paper* 1999-01-1544.
- A.22. Schleyer, C.H., R.A. Gorse Jr., R.F. Gunst, G.J. Barnes, J. Eckstrom, K.D. Eng, J. Freel, M. Natarajan et A.M. Schlenker. 1998. Effect of fuel sulphur on emissions in California low emission vehicles. *SAE Paper* 982726.
- A.23. Lyons. 1997. « Initiative on the Potential Impact of Sulphur in Gasoline on Motor Vehicle Pollution Control and Monitoring Technologies – The Final Report of the Industry-Government », Sierra Research, Inc. (juillet).

Esence – Anticalaminants

- B.1. Samuel S., A.E. Hassaneen, D. Morrey et R. Gonzalez-Oropeza. 2009. The effect of gasoline additives on combustion generated nano-scale particulates. *SAE Paper* 2009-01-1823.
- B.2. Alliance of Automobile Manufacturers. 2009. « National Clean Gasoline: An Investigation of Costs and Benefits » (juin).
- B.3. Alliance of Automobile Manufacturers. 2009. « Alliance of Automobile Manufacturers Comments on Clean Air Act Waiver Application to Increase the Allowable Ethanol Content of Gasoline to 15 Percent », présenté à l'Environmental Protection Agency des États-Unis (20 juillet).
- B.4. CRC. 2008. « Review of Prior Studies of Fuel Effects on Vehicle Emissions », préparé par M. Albert M. Hochhauser, 12 Celler Rd., Edison, NJ 08817; préparé pour le Coordinating Research Council, CRC Project E-84.
- B.5. Row, J., et A. Doukas. 2008. « Fuel Quality in Canada Impact on Tailpipe Emissions », préparé par le Pembina Institute, Drayton Valley, Alberta, Canada T7A 1S7; préparé pour l'Association des fabricants internationaux d'automobiles du Canada.
- B.6. Karpov, S.A. 2007. Improving the environmental and performance properties of automotive gasolines: Detergent additives. *Chemistry and Technology of Fuels and Oils*, vol. 43, n° 3, p. 173-178.
- B.7. Zand, A.D., G.N. Bidhendi, A. Mikaeili et H. Pezeshk. 2007. The influence of deposit control additives on exhaust CO and HC emissions from gasoline engines (case study: Tehran). *Transportation Research Part D*, vol. 12, p. 189-194.
- B.8. Aradi, A.A., J. Evans, K. Miller et A. Hotchkiss. 2003. Direct injection gasoline (DIG) injector deposit control with additives. *SAE Paper* 2003-01-2024.
- B.9. Environnement Canada. 2002. « Combustion Chamber Deposits in Gasoline Engines: A Literature Review », préparé par Chandra B. Prakash; préparé pour la Direction générale du pétrole, du gaz et de l'énergie, Environnement Canada (mars).
- B.10. Martin, D.P., et J.F. Unsworth. 2002. The M111 engine CCD and emissions test: Is it relevant to real-world vehicle data? *SAE Paper* 2002-01-1642.
- B.11. CRC. 2002. « Combustion Chamber Deposit Research Tool Development, Part 1, Vehicle Deposits and Emissions », CRC Report No. 630.
- B.12. CRC. 2005. « Combustion Chamber Deposit Research Tool Development, Part 2, Engine Dynamometer Testing », CRC Report No. 644.
- B.13. Balysky, N.R., A.J. Lonardo, A.A. Millard et K. Brunner. 2001. Vektron® 6913 gasoline additive NO_x evaluation fleet test program. *SAE Paper* 2001-01-1997.

- B.14. Tondelli, G., M. Carriero et A. Pedicillo. 2000. Combustion chamber deposits: Fuel and lubricant effects on exhaust hydrocarbon emissions measured by fast FID analyzer. *SAE Paper* 2000-01-2024.
- B.15. CRC; CCD Emissions Group. 2000. « Effects of Combustion Chamber Deposits on Vehicle Emissions and Fuel Economy », CRC Project No. E-6 (avril).
- B.16. Aradi, A., W.J. Colucci, H.M. Scull Jr. et M.J. Openshaw. 2000. A study of fuel additives for direct injection gasoline (DIG) injector deposit control. *SAE Paper* 2000-01-2024.
- B.17. Graskow B.R., M.R. Ahmadi, J.E. Morris et D.B. Kittelson. 1999. Exhaust particulate emissions from two port-fuel-injected, spark-ignition engines. *SAE Paper* 1999-01-1144.
- B.18. Haider, H.A., et J.B. Heywood. 1997. Combustion chamber deposit effects on hydrocarbon emissions from spark ignition engine. *SAE Paper* 972887.
- B.19. Barnes, J.R., et T. Stephenson. 1996. Influence of combustion chamber deposits on vehicle performance and tailpipe emissions. *SAE Paper* 962027.
- B.20. Papachristos, M.J., D. Williams, M.W. Vincent et A. Raath. 1995. Deposit control additive effects on CCD formation, engine performance, and emissions. *SAE Paper* 952444.
- B.21. Zahalka T.L., A.M. Kulinowski et D.J. Malfer. 1995. A fleet evaluation of IVD and CCD: Emissions effects and correlation to the BMW 318i and Ford 2.3L IVD Tests. *SAE Paper* 952447.
- B.22. Bitting, W.H., G.P. Firmstone et C.T. Keller. 1994. Effect of combustion chamber deposits on tailpipe emissions. *SAE Paper* 940345.
- B.23. Lee, R. 1999. SI engine combustion chamber deposits and their effects upon emissions. *SAE Paper* 1999-01-3583.
- B.24. Wu, T.N., Y.C. Huang, T.S. Wu et T.D. Wu. 2007. The effect of gasoline additives on BTEX emissions from light-duty vehicle. Proceedings of the 4th WSEAS International Conference on Fluid Mechanics, Gold Coast, Queensland, Australie (du 17 au 19 janvier).
- B.25. Bratsky, D., et D. Stacho. Impact of motor gasoline chemical composition and additive treatment on inlet valve and combustion chamber deposits. *SAE Paper* 2000-01-2022.
- B.26. Carlisle, H.W., et R.W. Frew. 2001. The effect of fuel composition and additive content on injector deposits and performance of an air-assisted direct injection spark ignition (DISI) research engine. *SAE Paper* 2001-01-2030.

- B.27. Oil and Auto Cooperation for International Standards (OACIS) Deposit Workgroup. 2002. A study of injector deposits, combustion chamber deposits (CCD) and intake valve deposits (IVD) in direct injection spark ignition (DISI) engines. *SAE Paper* 2002-01-2659.
- B.28. Houser, K.R., et T.A. Crosby. 1992. The impact of intake valve deposits on emissions. *SAE Paper* 922259.
- B.29. USEPA. 1995. Regulatory Impact Analysis for the final certification rule on DCA. Ébauche (14 août 1995).

Diesel – Effets du cétane

- C.1. Ickes, A.M., S.V. Bohac et D.N. Assanis. 2009. Effect of fuel cetane number on a premixed diesel combustion mode. *International Journal of Engine Research*, vol. 10, n° 4, p. 251-263.
- C.2. European Environment Agency. 2009. « EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook », Technical Report 6/2009.
- C.3. Nuskowski, J., R.R. Tincher et G.J. Thompson. 2009. Evaluation of the NO_x emissions from heavy-duty diesel engines with the addition of cetane improvers. *Journal of Automobile Engineering*, vol. 223, n° D8, p. 1049-1060.
- C.4. CONCAWE. 2008. « Advanced Combustion for Low Emissions and High Efficiency: A Literature Review of HCCI Combustion Concepts », rapport n° 4/08, Bruxelles.
- C.5. CRC. 2008. « Review of Prior Studies of Fuel Effects on Vehicle Emissions », préparé par M. Albert M. Hochhauser, 12 Celler Rd., Edison, NJ 8817; préparé pour le Coordinating Research Council, CRC Project E-84.
- C.6. Row, J., et A. Doukas. 2008. « Fuel Quality in Canada Impact on Tailpipe Emissions », préparé par le Pembina Institute, Drayton Valley, Alberta, Canada T7A 1S7; préparé pour l'Association des fabricants internationaux d'automobiles du Canada.
- C.7. Bunting, B.G. *et al.* 2008. The chemistry, properties, and HCCI combustion behavior of refinery streams derived from Canadian Oil Sands crude. *SAE Paper* 2008-01-2406.
- C.8. Massa, C.V. *et al.* 2007. Influence of cetane number on Euro III engine emissions. *SAE Paper* 2007-01-2000.
- C.9. Bunting, B.G., C.B. Wildman, J.P. Szybist, S. Lewis et J. Storey. 2007. Fuel chemistry and cetane effects on diesel homogeneous charge compression ignition performance, combustion, and emissions. *International Journal of Engine Research*, vol. 8, n° 1, p. 15-27.
- C.10. Zannis, T.C., et D.T. Hountalas. 2007. Experimental study of diesel fuel effects on direct injection (DI) diesel engine performance and pollutant emissions. *Energy & Fuels*, vol. 21, p. 2642-2654.
- C.11. Hara, S. *et al.* 2006. Effects of fuel properties on the performance of advanced diesel NO_x after-treatment devices. *SAE Paper* 2006-01-3443.
- C.12. Li, D. *et al.* 2005. Physico-chemical properties of ethanol–diesel blend fuel and its effect on performance and emissions of diesel engines. *Renewable Energy*, vol. 30, n° 6, p. 967-976.

- C.13. Lu, X.C. *et al.* 2005. Improving the combustion and emissions of direct injection compression ignition engines using oxygenated fuel additives combined with a cetane number improver. *Energy & Fuels*, vol. 19, n° 5, p. 1879-1888.
- C.14. Kono, N., Y. Kobayashi et H. Takeda. 2005. Fuel effects on emissions from diesel vehicles equipped with advanced after-treatment devices. *SAE Paper* 2005-01-3700.
- C.15. Murphy, M.J., J.D. Taylor et R.L. McCormick. 2004. « Compendium of Experimental Cetane Number Data », National Renewable Energy Laboratory, Report No. NREL/SR-540-36805.
- C.16. CRC. 2004. « The Effect of Fuel Cetane Quality on Light-Duty Diesel Performance », préparé par Shell Global Solutions (RU); préparé pour le Coordinating Research Council, CRC Project No. AVFL-11.
- C.17. USEPA. 2003. « The Effect of Cetane Number Increase Due to Additives on NO_x Emissions from Heavy-Duty Highway Engines: Final Technical Report », Office of Transportation and Air Quality, United States Environmental Protection Agency, EPA420-R-03-002.
- C.18. İçingür, Y., et D. Altıparmak. 2003. Effect of fuel cetane number and injection pressure on a DI diesel engine performance and emissions. *Energy Conversion and Management*, vol. 44, n° 3, p. 389-397.
- C.19. Bielaczyc, P., M. Kozak et J. Merkisz. 2003. Effects of fuel properties on exhaust emissions from the latest light duty DI diesel engine. *SAE Paper* 2003-01-1882.
- C.20. Nakakita, K. *et al.* 2003. Effect of hydrocarbon molecular structure in diesel fuel on in-cylinder soot formation and exhaust emissions. *SAE paper* 2003-01-1914.
- C.21. Neill, W.S. *et al.* 2003. Emissions from heavy-duty diesel engine with EGR using fuels derived from oil sands and conventional crude. *SAE Paper* 2003-01-3144.
- C.22. Oyama, K., et T. Kakegawa. 2003. Evaluation of diesel exhaust emission of advanced emission control technologies using various diesel fuels, and sulphur effect on performance after mileage accumulation – JCAP Diesel WG (Fuel) Report for Step II Study. *SAE Paper* 2003-01-1907.
- C.23. Khalek, I.A., T.L. Ullman, L. Vasquez et M. Guerrero. 2002. Hot-start transient emissions from a Mercedes OM 366 LA and a Detroit Diesel operated on Chilean, California, and US 2D fuels. *SAE Paper* 2002-01-2827.
- C.24. CONCAWE. 2002. « Evaluation of Diesel Fuel Cetane and Aromatics Effects on Emissions from Euro-3 Engines », rapport n° 4/02, Bruxelles.
- C.25. Kwon, Y. *et al.* 2001. Fuel effects on diesel emissions – a new understanding. *SAE Paper* 2001-01-3522.

- C.26. USEPA. 2001. « Strategies and Issues in Correlating Diesel Fuel Properties with Emissions: Staff Discussion Document », Office of Transportation and Air Quality, United States Environmental Protection Agency, EPA420-P-01-001.
- C.27. Matheaus, A.C. *et al.* 2000. EPA HDEWG Program – Engine Tests Results. *SAE Paper* 2000-01-1858.
- C.28. Mason, R.L. *et al.* 2000. EPA HDEWG Program – Statistical Analysis. *SAE Paper* 2000-01-1859.
- C.29. Mitchell, K. 2000. Effects of fuel properties and source on emissions from five different heavy-duty diesel engines. *SAE Paper* 2000-01-2890.
- C.30. CONCAWE. 1999. « Fuel Quality, Vehicle Technology and their Interactions », rapport n° 99/55, Bruxelles.
- C.31. Lee, R., J. Pedley et C. Hobbs. 1998. Fuel quality impact on heavy duty diesel emissions – a literature review. *SAE Paper* 982649.
- C.32. Ryan, T.W., J. Buckingham, L.G. Dodge et C. Olikara. 1998. The effects of fuel properties on emissions from a 2.5 gm NO_x heavy duty diesel engine. *SAE Paper* 982491.
- C.33. Hublin, M., P.G. Gadd, D.E. Hall et K.P. Schindler. 1996. European Programs on Emissions, Fuels and Engine Technologies (EPEFE) light duty diesel study. *SAE Paper* 961073.
- C.34. Signer, M., P. Heinze, R. Mercogliano et H.J. Stein. 1996. European Program on Emissions, Fuels and Engine Technologies (EPEFE) heavy duty diesel study. *SAE Paper* 961074.
- C.35. Ladommatos, N., M. Parsi et A. Knowles. 1996. The effect of fuel cetane improver on diesel pollutant emissions. *Fuel*, vol. 75, n° 1, p. 8-14.
- C.36. Tsurutani, K., Y. Takei, Y. Fujimoto, J. Matsudaira et M. Kumamoto. 1995. The effects of fuel properties and oxygenates on diesel exhaust emissions. *SAE Paper* 952349.
- C.37. Den Ouden, C.J.J. *et al.* 1994. Fuel quality effects on particulate matter emissions from light- and heavy-duty diesel engines. *SAE Paper* 942022.
- C.38. CONCAWE. 1994. « The Effect of Diesel Fuel Properties on Exhaust Emissions from Catalyst Equipped Diesel Passenger Vehicles - Part 2 », rapport n° 94/56, Bruxelles.
- C.39. Tritthart, P., R. Cichocki et W. Cartellieri. 1993. Fuel effects on emissions in various test cycles in advanced passenger car diesel vehicles. *SAE Paper* 932684.

Diesel – Effets de la lubrification

- D.1. Matzke, M. *et al.* 2009. Diesel lubricity requirements of future fuel injection equipment. *SAE Paper* 2009-01-0848.
- D.2. CRC. 2009. « Diesel Fuel Lubricity Requirements for LDD Vehicles », préparé par le Southeast Research Institute (SwRI Project 08.11250); préparé pour le Coordinating Research Council, CRC Contract No. DP-1-03.
- D.3. CRC. 2008. « Review of Prior Studies of Fuel Effects on Vehicle Emissions », préparé par M. Albert M. Hochhauser, 12 Celler Rd., Edison, NJ 8817; préparé pour le Coordinating Research Council, CRC Project E-84.
- D.4. Row, J., et A. Doukas. 2008. « Fuel Quality in Canada Impact on Tailpipe Emissions », préparé par le Pembina Institute, Drayton Valley, Alberta, Canada T7A 1S7; préparé pour l'Association des fabricants internationaux d'automobiles du Canada.
- D.5. Caprotti, R., S. Takaharu et D. Masahiro. 2008. Impact of diesel fuel additives on vehicle performance. *SAE Paper* 2008-01-1600.
- D.6. Ullmann *et al.* 2008. Investigation into the formation and prevention of internal diesel injector deposits. *SAE Paper* 2008-01-0926.
- D.7. DOE. 2007. « The Advanced Petroleum-Based Fuels—Diesel Emission Control (APBF-DEC) Program: 2,000-Hour Performance of a NO_x Absorber Catalysts and Diesel Particle Filter System for a Medium-Duty, Pick-Up Truck Diesel Engine Platform, Final Report », U.S. Department of Energy, DOE/GO-102007-2377.
- D.8. Gallant, T., J. Franz et M. Ainajjar. 2007. « The Influence of Molecular Structure of Distillate Fuels on HRFF Lubricity », Diesel Engine-Efficiency and Emissions Research Conference, Technical Session 7: Fuels and Lubricants, Part 2.
- D.9. Chevron Corporation. 2007. « Diesel Fuels Technical Review », Chevron Products Company, 6001 Bollinger Canyon Road, San Ramon, CA 94583.
- D.10. ASTM International Standard for Lubricity ASTM D 6078 and D 6079.
- D.11. Knothe, G., et K.R. Steidley. 2005. Lubricity of components of biodiesel and petrodiesel: The origin of biodiesel lubricity. *Energy & Fuels*, vol. 19, p. 1192-1200.
- D.12. CRC. 2002. « Operability and Compatibility Characteristics of Advanced Technology Diesel Fuels », préparé par le Southwest Research Institute (SWRI Project No. 03-02476); préparé pour le Coordinating Research Council, CRC Project No. AVFL-2.
- D.13. Gray, C. *et al.* 2002. Investigation of diesel fuel lubricity and evaluation of bench tests to correlate with medium and heavy duty diesel fuel injection component wear – Part 1. *SAE Paper* 2002-01-1700.