

Vers des
véhicules plus propres
dans les pays en développement et en transition : Le rôle des
carburants à faible teneur en soufre



Rapport du groupe
de travail sur le soufre
du Partenariat pour
des Carburants et des
Véhicules Propres (PCFV)

Pour plus d'information sur le PCFV visitez le site Internet:
www.unep.org/pcf ou contactez son centre d'échange d'information:

PCFV Clearing House
United Nations Environment Programme
P.O. Box 30552 – Nairobi, Kenya
Téléphone: +254-20-7624184
Fax: + 254-20-7624324
Courriel: pcf@unep.org
www.unep.org/PCFV



Les vues exprimées dans ce rapport ne reflètent pas nécessairement l'opinion et/ou n'ont l'aval de tous les partenaires du Partenariat pour des Carburants et des Véhicules Propres.

Imprimé par le Programme des Nations Unies pour l'Environnement, pour le compte du Partenariat pour des Carburants et des Véhicules Propres, Nairobi, Kenya, février 2007

Le PNUE favorise les pratiques environnementales saines à la fois dans le monde entier et dans ses propres activités. Cette publication est imprimée sur du papier provenant de forêts durables, et contenant des fibres recyclées. Le papier utilisé est sans chlore et les encres sont végétales. Notre politique en matière de distribution vise à réduire l'empreinte carbone du PNUE



Vers des
véhicules plus propres
dans les pays en développement et en transition : Le rôle des
carburants à faible teneur en soufre

Rapport du groupe de travail sur le soufre du Partenariat
pour des Carburants et des Véhicules Propres (PCFV)



La mission du Partenariat pour des Carburants et des Véhicules Propres (PCFV) consiste à:

- Aider les pays en développement à développer des plans d'action pour parachever l'élimination totale de l'essence au plomb et amorcer la réduction des teneurs en soufre des carburants diesel et essence, conjointement avec l'adoption de réglementations pour des véhicules moins polluants;
- Soutenir le développement et l'adoption de normes de carburants propres et l'adoption de mesures pour des véhicules plus propres grâce à la mise sur pied d'une plateforme permettant l'échange d'expériences et de bonnes pratiques dans les pays développés et en développement, de même que grâce à une assistance technique;
- Développer des matériaux, des programmes éducatifs, et des campagnes de sensibilisation pour le public; adapter les outils économiques et de planification pour des études sur les carburants et véhicules propres au niveau local ; et soutenir le développement de programmes de mise en application et de conformité, ayant l'adultération du carburant comme cible première; et
- Stimuler les partenariats-clés entre gouvernement, industrie, ONG, et les autres parties intéressées au sein d'un même pays ou entre pays, dans le but de faciliter la mise en application des engagements pour des carburants et des véhicules plus propres.

Pour plus d'information sur le PCFV visitez le site Internet: www.unep.org/pcfvs ou contactez son centre d'échange d'information:

PCFV Clearing House
United Nations Environment Programme
P.O. Box 30552 – Nairobi, Kenya
Téléphone: +254-20-7624184
Fax: + 254-20-7624324
Courriel: pcfvs@unep.org
www.unep.org/PCFV



TABLE DES MATIERES

1.	Introduction	5
1.1	A propos de cette Publication	5
1.2	Le Partenariat pour des Carburants et des Véhicules Propres (PCFV)	5
1.3	Le Groupe de Travail sur le Soufre du PCFV	6
2.	L'impact du soufre dan les carburants sur la qualité de l'air	6
2.1	La problématique de la qualité de l'air en zone urbaine dans les pays en développement	6
2.2	La réduction des émissions des véhicules	8
2.3	La réduction des émissions liées au soufre	8
2.4	Les émissions des véhicules - santé, bien-être, et considérations environnementales	9
3.	Aperçu mondial	13
3.1	Les niveaux de soufre à l'échelle mondiale	13
4.	Les carburants à faible teneur en soufre: une solution pour réduire les émissions des véhicules	15
4.1	Comment le soufre dans les carburants affecte les émissions des véhicules : l'approche systémique	15
4.2	Les impacts du soufre sur les moteurs diesel et les systèmes de contrôle des émissions	16
4.2.1	Les nouveaux véhicules diesel	17
4.2.2	La réduction des émissions des véhicules diesel existants	21
4.3	Véhicules essence et soufre	23
4.4	L'appui du PCFV pour la réduction du soufre dans les carburants	24
5.	La réduction des teneurs en soufre dans les carburants	26
5.1	D'où Vient le Soufre ?	26
5.2	Comment Fonctionnent les Raffineries?	27
5.3	Les options pour réduire le soufre dans les carburants	27
5.3.1	Les pays sans raffineries	27
5.3.2	Les pays disposant de raffineries	27
5.4	Réduction des niveaux de soufre dans les carburants - les considérations annexes	29
6.	Considérations supplémentaires	31
6.1	Métropoles contre zones rurales	31
6.2	Couloirs de circulation pour véhicules et carburants à faible teneur en soufre	31
6.3	Problématiques de véhicules et de moteur	32
6.3.1	La maintenance des véhicules	32
6.3.2	Durée de vie du moteur	33
6.3.3	Le soufre dans les huiles de moteur	33
6.4	Mise en vigueur et conformité	34

Tableaux

Tableau 1: Teneurs limites en soufre des carburants essence et diesel pour une sélection de pays en développement	14
Tableau 2: Options pour la réduction des émissions des véhicules	25
Tableau 3: Caractéristiques d'une sélection de pétroles bruts	26
Tableau 4 : Les composants potentiellement affectés par les carburants diesel à faible teneur en soufre	32

Schéma

Schéma 1A - L'effectif mondial des véhicules à moteur (1930-2000)	7
Schéma 2 : Niveaux de soufre dans les carburants diesel en parties par million en décembre 2006	13
Schéma 3 : Diminution de la durée de vie du moteur due à l'augmentation des niveaux de soufre dans les carburants	34

Annexes

Annexe 1 – Vue d'ensemble des polluants majeurs émis par les véhicules	35
Annexe 2 – Niveaux de soufre par pays dans les régions de pays en développement (en décembre 2006)	36



1. Introduction

1.1 A propos de cette Publication

Cette publication fournit des informations pour aider les décideurs des pays en développement à comprendre les effets de la présence de soufre dans les carburants ainsi que les options disponibles pour en abaisser les niveaux en vue de réduire les émissions des véhicules. Elle présente une vue d'ensemble générale et non technique des questions, des avantages, et des options pour le développement de politiques et d'actions de réduction du niveau de soufre dans les carburants.

1.2 Le Partenariat pour des Carburants et des Véhicules Propres (PCFV)

Le Partenariat pour des Carburants et des Véhicules Propres (PCFV) a été lancé lors du Sommet Mondial sur le Développement Durable (SMDD) à Johannesburg en septembre 2002 par des partenaires engagés, certains issus de gouvernements, d'autres du secteur privé, d'autres enfin d'organisations non gouvernementales, ou encore d'organismes internationaux. Ce partenariat global apporte assistance aux pays en développement et en transition afin de les aider à réduire la pollution atmosphérique urbaine à travers la promotion des carburants et des véhicules propres. L'accent est mis sur l'élimination du plomb dans l'essence, l'abaissement des teneurs en soufre des carburants diesel et essence, conjointement avec l'adoption de technologies et de véhicules propres. Alors que plusieurs pays en développement ont fait d'importants progrès dans l'élimination du plomb dans l'essence, l'attention du Partenariat est dirigée maintenant vers la réduction des niveaux de soufre dans les carburants.

Lors de la quatrième réunion globale du PCFV qui a eu lieu les 14 et 15 décembre 2005 au siège du PNUE à Nairobi, Kenya, les partenaires ont accepté de tendre vers réduction mondiale de la teneur en soufre dans les carburants à 50 ppm ou moins, tout en favorisant les véhicules propres et les technologies correspondantes, au moyen de feuilles de route et d'agendas développés au niveau régional et national.

Pour plus d'information sur le PCFV contactez:

PCFV Clearing House
United Nations Environment Programme
P.O. Box 30552
00100
Nairobi, Kenya
Téléphone: +254-20-7624184
Fax: + 254-20-7624324
Courriel: pcf@unep.org
<http://www.unep.org/PCFV>



1.3 Le Groupe de Travail sur le Soufre du PCFV

Lors de la première réunion globale du Partenariat qui s'est tenue à New York en novembre 2002, les partenaires se sont mis d'accord sur la nécessité de conseiller les pays en développement sur les avantages de la réduction des niveaux de soufre dans les carburants, et les questions qui y sont liées. À cette fin, un groupe de travail a été formé pour développer un document fournissant des informations à ce sujet. Des partenaires du PCFV issus de gouvernements, de l'industrie, des ONG, et d'organismes internationaux ont participé à ce groupe de travail. Ce rapport, qui est le produit de leur travail, décrit les avantages généraux et les coûts associés à l'abaissement des niveaux de soufre dans les carburants, les impacts sur les véhicules, et souligne les différentes options disponibles en la matière pour les pays en développement. Il fournit également des références pour des informations plus détaillées sur ce sujet.

2. L'impact du soufre dans les carburants sur la qualité de l'air

Ce chapitre traite de la contribution du secteur des transports à la qualité de l'air en zone urbaine. Il traite également des avantages obtenus grâce à la réduction des niveaux de soufre dans les carburants et à l'introduction de véhicules moins polluants dans les pays en développement et les pays en transition.¹

2.1 La problématique de la qualité de l'air en zone urbaine dans les pays en développement

Le plus grand problème lié à la qualité de l'air dans les pays en développement est la pollution atmosphérique dans les zones urbaines. L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) estime que près de 800.000 personnes meurent prématurément chaque année des suites de la pollution atmosphérique urbaine.² La plupart de ces décès prématurés se produisent dans les pays en développement. Au-delà des impacts cardiovasculaires et pulmonaires (détaillés dans la section 2.4 ci-dessous), la pollution atmosphérique peut également avoir des impacts sérieux sur les fœtus et la santé des enfants.³

Les émissions des véhicules sont l'un des nombreux facteurs contribuant à une mauvaise qualité de l'air en zone urbaine.⁴ Les émissions des véhicules contiennent du monoxyde de carbone (CO), des hydrocarbures imbrûlés, ou des composés organiques volatils (HC ou COV), des oxydes d'azote (NOx) et des particules en suspension (PM) (voir paragraphe 2.4 ci-dessous et annexe 1 pour une vue d'ensemble de ces polluants et de leurs effets). Ces émissions dépendent essentiellement des carburants utilisés et de la conception des véhicules. On estime

¹ Pour la suite du rapport, l'expression « pays en développement » sera utilisée, et devra être entendue comme incluant les pays en transition.

² Organisation Mondiale de la Santé (2002), « Réduire les risques et promouvoir une vie saine » http://www.who.int/whr/2002/en/whr02_fr.pdf

³ Organisation mondiale de la santé (2005) Les effets de la pollution atmosphérique sur la santé des enfants; et Organisation mondiale de la santé (2005), Valeurs guides pour la qualité de l'air. Particules, ozone, dioxyde d'azote et dioxyde de soufre. Version actualisée à l'échelle mondiale. <http://www.euro.who.int/Document/E90038.pdf> (en anglais).

⁴ Les autres facteurs comprennent les activités industrielles, les émanations des feux de forêt, la fumée des feux domestiques, et l'incinération des déchets.

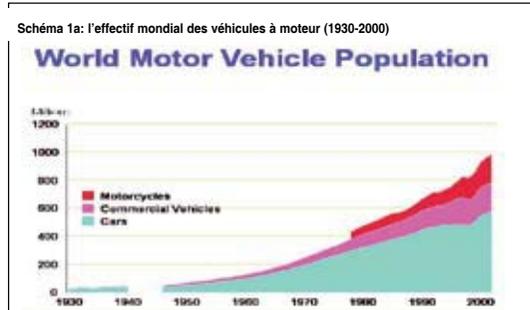


que les transports globaux vont se développer rapidement d'ici 2050, ce qui aura pour effet de doubler la demande mondiale en carburant entre aujourd'hui et 2050.⁵

Au niveau mondial, on estime que les véhicules à moteur contribuent à hauteur de 25 à 75 % à la pollution atmosphérique urbaine - ce pourcentage étant fonction du polluant et du lieu.⁶ Dans de nombreux pays en développement, les émissions des véhicules conventionnels vont certainement continuer à augmenter dans les prochaines décennies. Considérant la mauvaise qualité actuelle des carburants et des véhicules que l'on trouve souvent dans les pays en développement, les problèmes de pollution atmosphérique urbaine qui sont d'ores et déjà pressants vont très certainement s'aggraver encore si aucune mesure n'est prise.

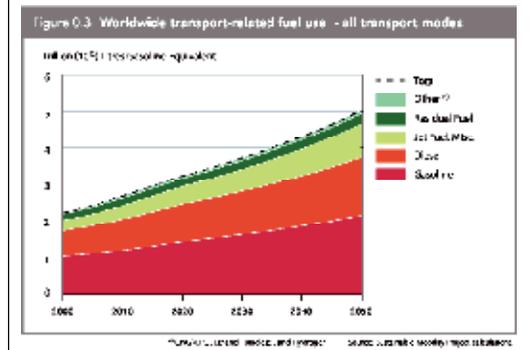
Dans les pays développés, les émissions ont diminué durant ces dernières décennies. La cause principale en est l'introduction de carburants plus propres ainsi que la production de technologies de moteur améliorées et la généralisation des dispositifs de post-traitement. L'introduction de l'essence sans plomb pour les véhicules essence a préparé le terrain pour les systèmes de post-traitement, notamment les pots catalytiques. L'arrivée de véhicules essence encore plus performants équipés de systèmes additionnels de contrôle des émissions contribuera davantage à la baisse des émissions. En ce qui concerne les véhicules diesel, des progrès significatifs sont à noter dans la réduction des niveaux de soufre dans le gazole, de concert avec l'émergence de moteurs diesel plus propres et de technologies de post-traitement. D'autres améliorations sont apparues, incluant des dispositifs avancés de post-traitement tels que les pièges à particules et les systèmes de SCR et de contrôle des NOx, réduisant de manière significative les émissions des véhicules diesel. L'introduction de gazole à faible teneur en soufre a rendu l'introduction des technologies de post-traitement possible.

Les études montrent que les pays en développement qui ont introduit des véhicules et des carburants plus propres pourront rattraper les pays développés et inverser la tendance à l'augmentation de la pollution.⁷ Selon ce scénario, certaines émissions pourraient être réduites



Source: MP Walsh

1b: croissance prévue de l'utilisation des carburants liés à l'activité de transport au niveau mondial (2000-2050)



5 Conseil Mondial des Affaires pour le Développement Durable (WBCSD) (Août 2004), *Mobilité 2030: les enjeux de la mobilité durable* (www.wbcasd.org)
 6 Par exemple, une étude menée à Calcutta, Inde, montre qu'entre 21 et 26 pour cent des particules respirables provient de sources mobiles, tandis qu'une étude au Népal estime qu'il s'agit de 50 pour cent, et une étude à Mexico estime que 61% des émissions de particules fines (PM10) provient des véhicules à moteur.
 7 Voir par exemple l'étude publiée par WBCSD mentionnée dans la note 5



rapidement (le plomb par exemple) et d'autres pourraient commencer à diminuer dans une décennie ou deux, ceci même en tenant compte de la croissance du nombre de véhicules et de leur utilisation.

2.2 La réduction des émissions des véhicules

La réduction des émissions provenant des véhicules à moteur est un composant important fait partie intégrante d'une stratégie globale pour la réduction de la pollution atmosphérique, particulièrement dans les villes des pays en développement. Une approche essentielle à la réduction des émissions est d'éliminer le plomb dans les carburants et exiger - au moyen de normes d'émission plus rigoureuses - l'utilisation des moteurs à basses émissions et des technologies pouvant être développées grâce à la suppression du plomb (par exemple, les pots catalytiques). Après dix ans d'effort global, plus de 90% de, plus de 90% de l'essence mondiale est à présent sans plomb.⁸

Une autre approche importante en matière de réduction des émissions des véhicules - et l'objet de cette publication - consiste à abaisser les niveaux de soufre dans les carburants pour véhicules. Ceci aura comme conséquence une réduction immédiate des émissions des véhicules en circulation et constitue une étape nécessaire pour permettre l'utilisation de catalyseurs améliorés, de filtres, et autres technologies à même de supprimer une grande partie de la pollution des véhicules diesel et essence d'aujourd'hui.

Tout en examinant ces différentes options, les responsables politiques doivent prendre en considération plusieurs facteurs, parmi lesquels l'importance de la contribution des émissions rejetées par les véhicules à la pollution atmosphérique urbaine ainsi que la comparaison entre les coûts et les avantages des carburants et des véhicules plus propres par rapport à d'autres stratégies existantes.⁹

2.3 La réduction des émissions liées au soufre

Pendant les trente dernières années, les programmes de contrôle de la pollution atmosphérique dans les pays développés ont prouvé que des carburants et des véhicules moins polluants sont une voie efficace pour parvenir à un air plus propre. Dans les pays en développement, les programmes de soutien aux carburants et véhicules propres ont produit des résultats positifs tels que d'une part des émissions du parc automobile existant plus faibles grâce à une meilleure qualité des carburants, et d'autre part la possibilité d'introduire des véhicules et des technologies plus propres, qui ont l'avantage de réduire la pollution liée aux transports.

Une meilleure qualité de carburant contribue à diminuer les émissions. Un niveau bas de soufre dans le carburant engendre une diminution des émissions de particules polluantes (PM - voir la prochaine section pour une description des particules et de leurs impacts).

8 Le Partenariat pour des Carburants et des Véhicules Propres (PCFV) mène une campagne pour l'élimination du plomb dans l'essence à l'échelle mondiale d'ici la fin 2008. Pour plus d'informations sur l'extraction du plomb et des mises à jour sur les progrès de l'élimination du plomb dans le monde entier, visitez le site Internet du Partenariat pour des Carburants et des Véhicules Propres (www.unep.org/PCFV)

9 K. Gwilliams, M. Kojima, et T. Johnson (2004) Réduire la Pollution Atmosphérique provenant des Transports Urbains, World Bank Press, Washington



D'importantes réductions des émissions peuvent être réalisées en réduisant la teneur en soufre du gazole par rapport aux niveaux communément très élevés dans beaucoup de pays en développement (de nombreux pays en développement ont des carburants diesel dont les teneurs en soufre sont supérieures à 5000 ppm - voir annexe 2). Ramener le soufre à des niveaux très bas (50 ppm et moins) réduit non seulement davantage les émissions de PM mais permet également l'introduction de systèmes de contrôle des émissions qui engendrent des réductions d'émissions encore plus importantes.¹⁰

Les fabricants automobiles améliorent continuellement la conception des moteurs afin d'accroître l'efficacité des carburants et réduire les émissions. À titre d'exemple, ils produisent à présent des moteurs diesel avec système d'injection haute pression qui sont plus efficaces et moins polluants. Ces nouvelles technologies ne fonctionnent cependant qu'imparfaitement avec des carburants à teneur élevée en soufre.

Des niveaux de soufre ne dépassant pas 500 ppm ouvrent la voie à un assortiment de technologies de contrôle des émissions (passées en revue dans le chapitre 4). Pour les véhicules diesel, les carburants à teneur en soufre égale ou inférieure à 500 ppm permettent l'introduction de nouveaux véhicules équipés de catalyseur d'oxydation diesel. Ce niveau de soufre dans les carburants rend aussi possible l'installation en deuxième monte de systèmes de contrôle des émissions sur certains véhicules diesel plus anciens - une stratégie qui est de plus en plus employée dans plusieurs des villes les plus importantes et les plus polluées du monde. Des réductions plus conséquentes peuvent même être réalisées en atteignant des niveaux de soufre très bas (inférieurs à 50 ppm) puis en introduisant des filtres à particules pour les moteurs diesel.

carburants à teneur en soufre égale ou inférieure à 500 ppm permettent l'introduction de nouveaux véhicules équipés de catalyseur d'oxydation diesel. Ce niveau de soufre dans les carburants rend aussi possible l'installation en deuxième monte de systèmes de contrôle des émissions sur certains véhicules diesel plus anciens - une stratégie qui est de plus en plus employée dans plusieurs des villes les plus importantes et les plus polluées du monde. peuvent permettre l'utilisation de moteurs à combustion interne.

Sachant que les carburants et les véhicules fonctionnent ensemble en synergie, les plus grands avantages peuvent être réalisés en combinant les carburants à faible teneur en soufre avec les technologies de véhicule et de contrôle des émissions appropriées.¹¹ Cette approche s'est avérée plus efficace que la prise en compte du traitement des carburants, des moteurs, et du contrôle des émissions pris séparément.

2.4 Les émissions des véhicules - santé, bien-être, et considérations environnementales

Les émissions des véhicules constituent une menace sérieuse pour la santé humaine et le bien-être, particulièrement dans les zones urbaines; elles sont à prendre en considération car l'exposition à un mélange de polluants atmosphériques se produit au niveau du sol, où les gens marchent, travaillent, et jouent. Il serait bénéfique en terme socio-économique d'éviter les

¹⁰ Les émissions de particules ultrafines – PM2.5 – sont réduites en moyenne de 33,4% lorsque le gazole passe de 500 ppm à 50 ppm de soufre. Voir www.bp.com/products/fuels/bp_ecoultra/ulsd_faq.pdf (en anglais)

¹¹ L'huile de moteur fait partie du système carburant-véhicule. Alors que des niveaux de soufre dans les carburants sont en diminution, la contribution relative du soufre à travers la combustion de l'huile de moteur devient plus significative, ce qui devrait être pris en compte dans les impacts des émissions.



impacts de la pollution atmosphérique sur la santé - cette pollution provoquant maladies et morts prématurées.^{12 13} Du point de vue de la santé publique, l'inquiétude principale concerne la contribution à la pollution atmosphérique de six polluants primaires:¹⁴

- **Les particules en suspension (PM)** désignent les particules solides ou liquides présentes dans l'air. Certaines particules sont suffisamment grandes et sombres pour être perçues comme de la suie ou de la fumée, tandis que les particules fines sont minuscules et ne sont généralement pas visibles à l'œil nu. Les émissions de PM provenant des véhicules sont composées principalement de ces particules minuscules: les particules « grossières » (PM 10), fines (PM 2.5), et ultra-fines (PM de l'ordre de 0.1 µm ou moins).¹⁵ Les PM sont soit émises directement soit formées dans l'atmosphère par des précurseurs tels que les oxydes de soufre (SOx) et les oxydes d'azote (NOx).
- **Les émissions d'hydrocarbures (HC)** résultent de la combustion incomplète du carburant et de l'évaporation de carburant. Les hydrocarbures se combinent avec des oxydes d'azote, sous l'action de la chaleur et des rayons du soleil pour former l'ozone au niveau du sol.¹⁶
- **Les oxydes d'azote (NOx)** se forment lors du processus de combustion, c'est-à-dire lorsque le carburant brûle à des températures élevées, comme dans les moteurs de véhicules motorisés.
- **Les oxydes de soufre (SOx)** sont des émissions gazeuses produites par l'oxydation du soufre des carburants pendant le processus de combustion, et dépendent entièrement du niveau du soufre dans les carburants.
- **L'ozone (O3)** se forme lorsque les oxydes d'azote et les hydrocarbures réagissent à la chaleur et à la lumière solaire. Il s'agit du composant principal du smog urbain.
- **Le monoxyde de carbone (CO)** est un gaz toxique produit par combustion incomplète (ou partielle).

Afin de traiter les effets de la pollution atmosphérique sur la santé, de nombreux pays ainsi que l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) ont développé des lignes directrices pour définir des normes de qualité de l'air ambiant en fonction des polluants principaux.¹⁷ Ces

12 Comparé à d'autres options d'intervention sur la santé – voir Kseniya Lvovsky (2001) Santé et Environnement, Annexe D, Banque Mondiale

13 Aux Etats-Unis, les actions les plus récentes pour réduire les émissions des sources mobiles grâce à des carburants plus propres et des technologies avancées de contrôle des émissions ont montré que les avantages sont largement supérieurs aux coûts :

1999 – pour les voitures et les véhicules légers, le rapport coût/avantage est de 5:1

2000 – pour les poids lourds diesels, le rapport coût/avantage est de 17:1

2004 – pour les engins diesels non routiers (de construction ou agricoles), le rapport coût/avantage est de 40:1

14 Voir <http://www.epa.gov/air/urbanair/6poll.html> (en anglais)

15 Les PM2.5 sont des particules d'un diamètre inférieur ou égal à 2,5 µm, ou moins que 1/100ème de la taille du point qui termine cette phrase. Pour plus d'information sur les particules polluantes, voir: <http://www.epa.gov/air/particlepollution/basic.html> (en anglais)

16 Les particules ambiantes, en particulier celles provenant des véhicules diesel, sont associées à deux formes de particules: les particules diesel émises par les véhicules et les particules formées indirectement dans l'atmosphère par les émissions de NOx et de SOx (et à moindre échelle par les émissions de HC). De plus, les NOx et les HC participent tous deux aux réactions chimiques qui produisent l'ozone.

17 Ci-dessous, certaines des sources pour comprendre le cadre des normes de qualité de l'air ambiant et des



lignes directrices sont utilisées lors de la conception de programmes de contrôle de la pollution atmosphérique quelles qu'en soient les sources.

Parmi ces divers polluants, quatre d'entre eux ont un impact important sur la santé: les PM, l'ozone, le monoxyde de carbone, et les oxydes de soufre. L'inhalation des PM ambiantes - qui peuvent pénétrer au plus profond des poumons - peut mener à une mort prématurée et contribue à l'aggravation des maladies respiratoires et cardiovasculaires (comme indiqué par l'augmentation des admissions dans les hôpitaux et des visites aux urgences, l'absentéisme dans les écoles, le nombre de jours travaillés perdus, et de jours d'inactivité), l'aggravation de l'asthme et des symptômes respiratoires aigus. Des études complémentaires ont fait le lien entre l'exposition aux PM ambiantes et les maladies du coeur ainsi que les changements de fréquence et/ou du rythme cardiaque. Les PM dégagées par les gaz d'échappement des moteurs diesel sont d'autant plus inquiétantes qu'elles sont associées à un risque plus élevé de cancer du poumon.¹⁸ Enfin, des scientifiques sont de plus en plus persuadés de l'influence des PM sur le climat que ce soit au niveau local ou global. Alors que l'impact exact des PM fait encore l'objet de discussions, il est communément admis que les particules de sulfate ont un effet de refroidissement et que les particules de carbone contribuent au réchauffement de l'atmosphère.¹⁹

Comme indiqué plus haut, la pollution par l'ozone au niveau du sol (une composante clé du smog) résulte de la réaction des HC et des NOx dans l'atmosphère à la présence de chaleur et de lumière solaire. Ces deux polluants sont souvent désignés comme étant des précurseurs de l'ozone. L'ozone peut irriter le système respiratoire, réduire les fonctions pulmonaires et rendre la respiration profonde plus difficile, ainsi qu'enflammer et endommager la paroi des poumons, ce qui peut entraîner des changements permanents des tissus pulmonaires. Les études récentes ont montré, statistiques à l'appui, des liens significatifs entre les variations à court terme de l'ozone et la mortalité.²⁰ Les personnes les plus sensibles aux effets de l'ozone sont les enfants et les adultes travaillant à l'extérieur, les personnes âgées, et les personnes souffrant de maladies respiratoires telles que l'asthme.

Le monoxyde de carbone est un gaz incolore et inodore produit par la combustion incomplète des carburants à base de carbone. Le monoxyde de carbone se fixe dans le sang en passant par les poumons et réduit l'apport d'oxygène dans les organes et les tissus du corps humain. La menace du CO sur la santé est encore plus sérieuse pour ceux qui souffrent de maladies cardiovasculaires, en particulier ceux atteints d'angine de poitrine ou de maladie vasculaire périphérique. Les individus en bonne santé sont également affectés, mais seulement lorsque les niveaux de CO sont plus élevés. L'exposition à des niveaux élevés de CO est associée à l'affaiblissement de la perception visuelle, de la capacité de travail, de la dextérité, de la

normes concrètes:

- Normes nationales américaines relatives à la qualité de l'air ambiant: www.epa.gov/ttn/naaqs (en anglais)
 - Lignes directrices de l'OMS pour les particules, l'ozone, le dioxyde d'azote, et le dioxyde de soufre. Mise à jour globale, 2005 : www.who.int/phe/air/aqg2006execsum.pdf
 - Normes britanniques de qualité de l'air et seuils: www.airquality.co.uk/archive/standards.php (en anglais)
- 18 USEPA (2004) Analyse finale de la réglementation: le contrôle des émissions des moteurs diesels des véhicules non routiers, Pages 2-55. <http://www.epa.gov/nonroad-diesel/2004fr/420r04007c.pdf> (en anglais)
- 19 Voir par exemple T. Bond et H. Sun (2005) La réduction des émissions de noir de carbone peut-elle neutraliser le réchauffement planétaire? *Environmental Science and Technology*, 2005, Vol. 39, No. 16 ; et M. Jacobson (2002) Le contrôle des particules de carburants fossiles, noir de carbone et matières organiques, probablement la méthode la plus efficace pour ralentir le réchauffement planétaire, 2002, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 107, No. D19
- 20 *Journal de l'Association Médicale Américaine* (17 Novembre 2004), Ozone et Mortalité à court terme dans 95 Communautés urbaines des Etats-Unis, 1987-2000



capacité à étudier, et de l'exécution de tâches complexes. A des concentrations suffisantes, l'empoisonnement au CO peut causer la mort.

Les oxydes de soufre (SOx), surtout lorsqu'ils sont présents sous forme de particules de sulfate, ont des effets nocifs sur la santé et l'environnement, tels que des impacts sur l'activité respiratoire et l'asthme. En outre, les émissions de SOx ont pour effet d'acidifier l'environnement, endommageant les bâtiments et les végétaux en zone urbaine (par exemple, les arbres et les arbustes). Il est à noter, cependant, que la contribution des émissions de SOx par les véhicules aux problèmes environnementaux au-delà de l'échelle locale (tels que les pluies acides) est minimale comparée à d'autres sources, notamment l'industrie.²¹

Les polluants atmosphériques rejetés par les véhicules sont également associés à un certain nombre d'effets négatifs sur le bien-être des individus. Ces effets incluent la réduction de la visibilité météorologique, des dégâts matériels et écologiques provoqués par des dépôts acides, la pollution des eaux de surface par des substances nutritives (y compris eutrophisation et nitrification), et des dommages aux plantes et aux récoltes dus à l'ozone.

²¹ Par exemple, aux États-Unis, les sources mobiles sur les autoroutes et hors réseau routier ont contribué seulement à 5% des émissions de SOx de tout le pays en 2003, alors que les compagnies d'électricité y ont contribué à 69%. Voir: Agence américaine pour la protection de l'environnement (2003) Rapport 2003 sur les tendances nationales de la qualité de l'air et des émissions, Édition Spéciale Études. Chapitre 2, page 36. <http://www.epa.gov/air/airtrends/aqtrnd03/pdfs/cover.pdf> (en anglais)



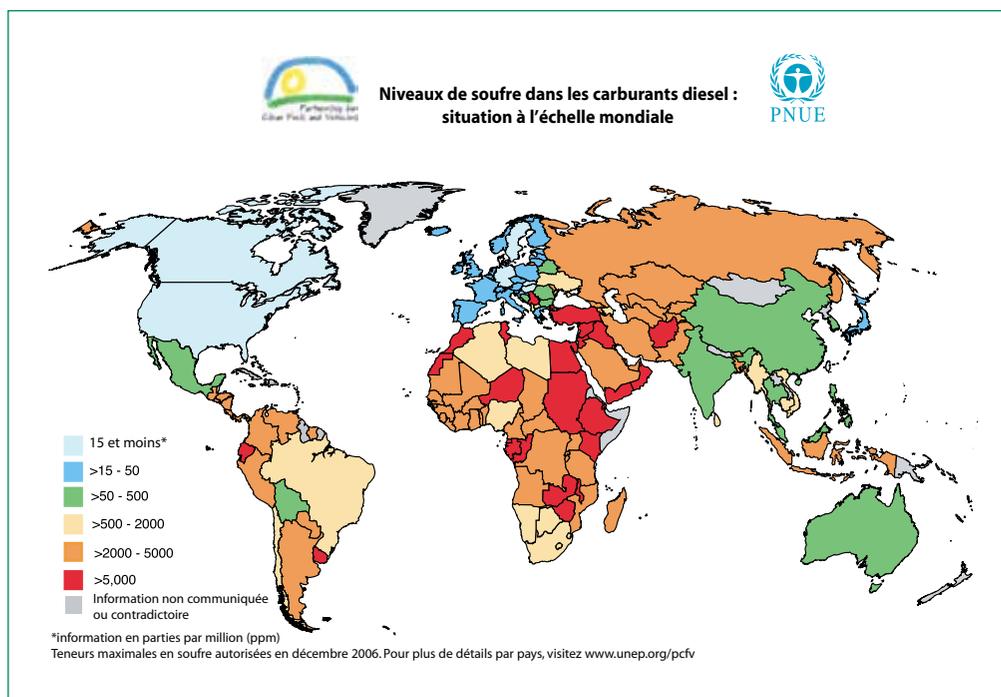
3. Aperçu mondial

Ce chapitre fournit une vue d'ensemble des niveaux globaux de soufre dans les carburants et des progrès accomplis pour les réduire.

3.1 Les niveaux de soufre à l'échelle mondiale

Les teneurs en soufre dans les carburants diffèrent considérablement d'un pays à l'autre et d'une région à l'autre. Selon le pétrole brut utilisé et la configuration des raffineries, les niveaux de soufre dans l'essence vont de moins 10 ppm jusqu'à 1.000 ppm ou plus. Pour les carburants diesel, les niveaux s'étendent de moins 10 ppm à plus de 10.000 ppm. L'Europe, les Etats-Unis et le Japon ont mis en place des mesures visant à abaisser davantage les niveaux de soufre (en-dessous de 10-15 ppm), mesures qui sont souvent accompagnées de normes d'émissions requérant des systèmes avancés de contrôle des émissions lesquels ne peuvent pas être employés avec des carburants à plus haute teneur en soufre.²² Dans certaines régions, des pays en développement ont mis au point, ou sont en train de développer des normes harmonisées qui leur permettront d'adopter une approche régionale pour abaisser les niveaux de soufre et améliorer la qualité des carburants. Le schéma 2 donne une vue d'ensemble des niveaux de soufre dans les carburants diesel à l'échelle mondiale.

Schéma 2 : Niveaux de soufre dans les carburants diesel en parties par million en décembre 2006 (voir annexe 1 et www.unep.org/PCFV)



²² De concert avec ces développements, de nouvelles huiles de moteur ont été formulées avec des niveaux considérablement réduits de cendre de sulfate, de phosphore et de soufre ("basses SAPS") pour protéger les systèmes de contrôle des émissions contre la contamination au soufre des huiles de moteur tout en traitant des questions des performances améliorées par les carburants à faible teneur en soufre.

Dans le monde entier, de nombreux pays ont abaissé les limites de la teneur en soufre autorisée dans les carburants et ont adopté des normes d'émission des pots d'échappement afin de réduire la pollution des véhicules. Cependant, la réalité est plus mitigée. Par exemple, dans la majorité des pays africains les carburants diesel sont à plus de 5000 ppm de soufre. En revanche, de nombreux pays asiatiques, y compris la Chine et l'Inde, s'ajustent sur les normes européennes et sont actuellement à 500 ppm ou ont annoncé leur intention d'atteindre cet objectif dans les années à venir.

Le PCFV a mis à jour les informations concernant les teneurs et les limites en soufre pour approximativement 130 pays en développement et en transition (voir annexe 2 pour une vue d'ensemble pays par pays) antérieurement à décembre 2006.²³ A l'heure actuelle, environ 20% des pays pour lesquels le PCFV a des informations disponibles ont limité, dans leur réglementation, les niveaux de soufre dans les carburants à 500 ppm ou moins. La plupart de ces pays se situent en Europe Centrale et Orientale et dans la région Asie-Pacifique. Environ 10% des pays ont des niveaux de soufre inférieurs à 2.000 ppm mais supérieurs à 500 ppm. Une partie d'entre eux projettent d'abaisser les limites de soufre. La majorité de ces pays, approximativement 70%, ont des niveaux de soufre à plus de 2.000 ppm dans le gazole. En fait, la plupart de ces pays ont des niveaux de soufre dans les carburants diesel atteignant 5.000 ppm voire beaucoup plus, et environ 10% d'entre eux ont des niveaux autorisés de 10.000 ppm ou plus.

Ceci signifie que 80% des pays en développement étudiés ne disposent pas de carburant d'une qualité suffisante pour permettre d'utiliser et d'apprécier les avantages des dispositifs de contrôle des émissions des véhicules, technologies répandues dans les pays développés.

Le tableau 1 ci-dessous fournit des exemples de limites concernant les niveaux de soufre dans les carburants dans des pays en développement sélectionnés.

Tableau 1: Teneurs limites en soufre des carburants essence et diesel pour une sélection de pays en développement (source: PCFV)

Country		Diesel (D) Essence (E)	Normes Actuelles	Futures Normes
Egypte		D & E	5000 ppm & 500 ppm	
Syrie		D & E	6500 ppm & 1500 ppm	
Yémen		D & E	10000 ppm & 1500 ppm	
Mexique	En métropole	D & E	300 ppm & 300 ppm en (moy.), 500 ppm (max.)	D- 15 ppm à la frontière entre Etat-Unis et Mexique (2007), les agglomérations principales (2009) et le reste du pays (2010). E- 30 ppm (en moy.), max autorisé 80 ppm (à partir de 2006)
	Hors métropole	D & E	500 ppm & 1000 ppm	15 ppm (mi-2009)
Brésil	En métropole	D & E	500 ppm & 1000 ppm	D- 50 ppm (2009) E- 50 ppm (2009)
	Hors métropole	D & E	2000 ppm & 1000 ppm	D- 50 ppm (2009) E- 50 ppm (2009)
Venezuela		D & E	5000 ppm & 600 ppm	
Afrique du Sud		D & E	500 ppm & 500 ppm	50 ppm (2010)
Zambie		D & E	7500 ppm & 1000 ppm	
Côte d'Ivoire		D & E	5000 ppm & 500 ppm	

²³ Le PCFV met régulièrement à jour ces données, qui peuvent être consultées sur www.unep.org/PCFV/data (en anglais)



4. Les carburants à faible teneur en soufre: une solution pour réduire les émissions des véhicules

Ce chapitre fournit un aperçu de la façon dont le soufre dans les carburants affecte les émissions des véhicules, ainsi que de la façon dont la présence du soufre influence le choix de l'introduction des systèmes de contrôle des émissions. Il présente également quelques options pour le futur.

4.1 Comment le soufre dans les carburants affecte les émissions des véhicules : l'approche systémique

La qualité des carburants affecte profondément les émissions de véhicule car véhicule et carburant (ainsi que le pétrole) forment un système intégré. Le système véhicule-carburant détermine la qualité et la quantité des émissions, et jusqu'à quel point les systèmes de contrôle des émissions pourront réduire lesdites émissions. Il détermine également la manière dont le véhicule fonctionne généralement, ce qui influe sur la satisfaction du client. Comprendre cette "approche systémique" est essentielle à la compréhension des raisons pour lesquelles les carburants contenant du soufre affectent les émissions.

L'abaissement des niveaux de soufre dans les carburants est essentiel à la réduction des particules les plus fines et peut réduire les émissions des véhicules de deux manières :

En premier lieu, l'abaissement des niveaux de soufre dans les carburants réduit les émissions directes à la fois de dioxyde de soufre et de PM de sulfate pour tous les véhicules, qu'ils soient nouveaux ou anciens.²⁴ Les émissions de dioxyde de soufre (SO₂) provenant des véhicules diesel et essence, et les émissions de particules des véhicules diesel ont tendance à augmenter en proportion de la quantité de soufre contenue dans les carburants. Alors que les particules de sulfate ne comptent que pour une petite fraction du volume ou de la masse des particules, elles appartiennent à la catégorie des particules fines et ultra-fines et comptent pour une large part dans le nombre de particules.²⁵

Deuxièmement, le soufre perturbe ou réduit l'efficacité des systèmes de contrôle des émissions pour les véhicules diesel et essence, ce qui a pour effet d'accroître les émissions de monoxyde de carbone (CO), d'hydrocarbure (HC), d'oxyde d'azote (NO_x) et de particules (PM). Il perturbe ou réduit également l'efficacité des nouveaux types de dispositifs de contrôle des émissions tels que les pots catalytiques améliorés et les pièges à particules diesel, qui peuvent réduire davantage les émissions de NO_x, de HC, et de PM. Pour les véhicules essence, les études montrent que l'abaissement du soufre améliore le fonctionnement des catalyseurs trois voies et réduit les émissions de HC, de CO et de NO_x.²⁶

24 Une fois les niveaux de soufre dans les carburants réduits, les niveaux de soufre dans les huiles de moteur doivent être pris en compte, il est ainsi nécessaire de s'assurer qu'aucune huile ne fuit dans certaines pièces du moteur, ce qui compromettrait les performances des dispositifs de contrôle des émissions sensibles au soufre.

25 EPA (2005) Brochure sur les particules diesel. <http://www.epa.gov/NE/eco/airtox/diesel.html> (en anglais) et Health Effects Institute (1995) Les gaz d'échappement diesels: Analyse critique des émissions, de l'exposition et des effets chroniques sur la santé. <http://www.healtheffects.org/Pubs/diesum.htm> (en anglais)

26 Voir:

* A. M. Hochhauser, C.H. Schleyer and L.I. Yeh, ExxonMobil Research and Engineering Company, and D.J. Rickeard, ExxonMobil Pétrole et produits chimiques, l'impact du soufre sur les émissions des véhicules diesel et essence, article pour la Conférence SAE 2006-01-3370

* Charte Mondiale des Carburants 2006 (4ème Edition), pp 16-19, <http://www.autoalliance.org/archives/>



Les normes d'émission des véhicules et les limites des niveaux de soufre dans les carburants qui leur sont associées ont nettement évolué au cours des quinze dernières années. Une liste détaillée de ces normes à la fois pour les véhicules diesel et essence est disponible sur le site Internet de Diesel Net (en anglais).²⁷ La Charte Mondiale des Carburants présente quant à elle des données sur les impacts des émissions de soufre sur divers systèmes de contrôle des émissions.²⁸

4.2 Les impacts du soufre sur les moteurs diesel et les systèmes de contrôle des émissions

Les véhicules à moteur diesel sont des candidats de choix pour les activités industrielles. Ils fournissent des avantages importants en termes d'économie de carburant et de longévité pour les poids lourds, les bus et les engins non routiers, utilisés par exemple dans les travaux publics et l'agriculture. Les récentes innovations technologiques ont considérablement amélioré les performances des moteurs diesel. Ces améliorations, ainsi que le fait que les moteurs diesel sont plus économiques que les moteurs essence, rendent leur utilisation de plus en plus populaire dans les véhicules individuels.

Les émanations des pots d'échappement des véhicules diesel sont un mélange complexe de gaz, d'aérosols liquides, et de particules. Les émissions les plus importantes des véhicules diesel sont les particules en suspension (PM) et les NOx, tandis que les émissions de HC et de CO sont faibles. Les PM comportent trois fractions de base:

- les solides (particules de carbone élémentaire);
- les produits organiques solubles (hydrocarbures lourds qui s'attachent aux particules de carbone); et
- les sulfates, qui sont produits à partir de l'oxydation du soufre après combustion.

Les proportions relatives de carbone, de composés organiques, et de sulfate dépendent des technologies de véhicule et de la teneur en soufre des carburants. Les émissions de PM par les véhicules diesel sont proportionnellement plus élevées que celles émises par des véhicules essence fonctionnant correctement.

Les véhicules sans aucun système de contrôle tireront avantage du carburant à faible teneur en soufre en réduisant directement les émissions de SO₂ et de particules. Les véhicules équipés de systèmes de post-traitement des émissions des moteurs diesel traitent les émanations du moteur pour éliminer les polluants. En tant qu'élément du système d'échappement, les dispositifs de contrôle convertissent ou capturent les polluants avant qu'ils ne soient rejetés par le pot d'échappement. Toutes ces technologies sont sensibles, à un certain degré, au soufre contenu dans les carburants.

[wwfcbrochure.pdf](#) (en anglais)

* USEPA (1999), Analyse de l'impact de la réglementation: Contrôle de la pollution de l'air par les véhicules à moteur : Tier 2, Normes d'émission des véhicules à moteur et obligations de contrôle de l'essence sulfurée, Appendice B-1. <http://www.epa.gov/otaq/regs/ldhwy/tier-2/frm/ria/r99023.pdf>

* MECA (1998), L'impact de l'essence sulfurée sur les systèmes de catalyse des émissions. <http://www.meca.org/galleries/default-file/sulfur.pdf>

27 Résumé des normes d'émission et de la réglementation sur les carburants dans le monde entier; <http://www.dieselnet.com/standards/> (en anglais)

28 Voir <http://www.autoalliance.org/archives/wwfcbrochure.pdf> (en anglais)



4.2.1 Les nouveaux véhicules diesel

L'Europe, les Etats-Unis, le Canada, et le Japon sont actuellement en train de mettre en oeuvre, ou sur le point de mettre en oeuvre, des normes très sévères d'émission des véhicules. Dans tous les cas, ces pays ont également agi dans le sens de la réduction des niveaux de soufre dans les carburants afin d'assurer que les technologies requises de contrôle des émissions fonctionnent convenablement et avec la plus grande efficacité. Les normes d'émission en question exigeront que le soufre soit réduit à des niveaux très bas (par exemple 15 ppm ou moins).

Les évolutions des moteurs

Au cours de ces quinze dernières années, les constructeurs ont introduit diverses modifications dans les moteurs afin de réduire les émissions, améliorer leurs performances et augmenter leur efficacité. Ces innovations incluent l'injection directe, l'injection haute pression, la gestion électronique, les injections multiples, la recirculation des gaz d'échappement (RGE), et le refroidissement. Aux Etats-Unis, ces modifications ont conduit à des réductions significatives des émissions globales, y compris de PM et de NOx, comparé aux moteurs diesel non équipés de système de contrôle. Bien que la plupart de ces technologies ne requièrent pas par elles-mêmes de niveaux spécifiques de soufre dans les carburants, la plupart d'entre elles, si ce n'est toutes, seront plus durables avec des carburants à faible teneur en soufre qui réduisent la corrosion des systèmes d'injection de carburant, la corrosion des segments de piston, l'acidification de l'huile, et l'usure générale du moteur.

La recirculation des gaz d'échappement (RGE) est un dispositif modifiant la conception du moteur qui consiste à renvoyer les gaz d'échappement dans l'entrée d'air du moteur, diminuant ainsi la température de combustion et donc la formation de NOx. Cette technique est largement utilisée sur de nombreux moteurs modernes, mais ne peut pas être adaptée en deuxième monte. La vanne RGE peut se corroder en raison de niveaux élevés de soufre; par conséquent les niveaux de soufre dans les carburants devraient être limités à maximum 500 ppm.

Des systèmes d'injection haute pression sont employés pour améliorer l'efficacité de la combustion du mélange gazole/air dans les cylindres, et ainsi augmenter l'efficacité du carburant et réduire les émissions. Un tel système, qui est maintenant introduit sur les marchés, en particulier européens, est appelé moteur diesel "common rail". Comme ce système fonctionne à très haute pression (jusqu'à 1800 bars) il implique des exigences élevées en matière de qualité du gazole, qui ne doit pas contenir de contaminant (comme de l'eau et des particules). Alors que la planète se dirige vers des carburants proches du « zéro-soufre », une telle technologie nouvelle est de plus en plus testée - et approuvée - par les fabricants internationaux qui les destinent aux marchés de carburant diesel de haute qualité et à faible teneur en soufre.

Afin de respecter les normes d'émission sévères, les nouveaux véhicules peuvent être équipés de toute une panoplie de systèmes de contrôle des émissions.²⁹

²⁹ Il y existe un certain nombre de stratégies de contrôle des émissions concernant les véhicules les plus propres. Pour un examen approfondi des technologies de pointe (valables pour l'année 2001) voir (en anglais): <http://www.epa.gov/otaq/regs/hd2007/frm/frdslpre.pdf> et <http://www.epa.gov/otaq/regs/hd2007/frm/ria-iii.pdf>



Le contrôle des émissions de particules

Le **catalyseur d'oxydation diesel (COD)**: Après la recirculation des gaz d'échappement (RGE), les catalyseurs d'oxydation diesel (COD) sont la technologie la plus courante de contrôle des émissions que l'on peut trouver dans les véhicules diesel actuels. Les COD transforment le monoxyde de carbone (CO) et les hydrocarbures (HC) en dioxyde de carbone (CO₂) et en eau. Ils aident également à la combustion des parties organiques solubles des particules de carbone y compris la suie et la fumée. Un COD peut occasionner une réduction de 20 à 50% du total des PM, et une réduction de plus de 90% des CO et des HC.³⁰ Les COD représentent une technologie largement acceptée et ont été montés sur plus de 50 millions de véhicules individuels à moteur diesel et sur plus de 1,5 million de camions et de bus dans le monde entier.³¹ Les COD peuvent être installés dans de nouveaux véhicules ou peuvent être montés sur les véhicules déjà en circulation. Des teneurs élevées en soufre peuvent dégrader les COD et les rendre inopérants. Lorsque les véhicules sont équipés de COD, les niveaux de soufre dans les carburants diesel doivent être limités à moins de 500 ppm pour éviter les émanations de fumées liées au sulfate.

Le **filtre à particules diesel (FPD)**: les FPD sont placés dans le système d'échappement pour retenir une fraction significative des particules fines tout en laissant passer les gaz d'échappement. Comme les particules collectées s'accumulent avec le temps, le FPD a été conçu pour nettoyer automatiquement ou "régénérer" le piège à particules. Ceci est réalisé par oxydation ou combustion des substances particulaires rassemblées, en augmentant la température des gaz d'échappement.³² Ce procédé s'appelle la régénération passive. Une autre méthode, appelée régénération active consiste à remplacer périodiquement le filtre. Certains FPD incorporent un catalyseur au filtre, ce qui a pour effet d'abaisser la température d'inflammation nécessaire pour oxyder les particules piégées (FPD catalysé).

Plus d'un million de nouveaux véhicules de transport de passagers ont été équipés de FPD en Europe depuis mi-2000. Dès 2007, tous les nouveaux véhicules de transport de passagers et les poids lourds diesel vendus aux Etats-Unis et au Canada seront équipés d'un FPD haute performance.³³ A partir du 1er septembre 2009 toutes les nouvelles voitures et camionnettes diesel dans l'Union Européenne devront être équipées de FPD.³⁴ Des FPD sont également en cours d'installation en deuxième monte sur des moteurs plus anciens

Plus de 200 000 véhicules lourds dans le monde entier ont été équipés en deuxième monte de FPD.³⁵ Les FPD sont efficaces et ont démontré de façon fiable des réductions de plus

30 MECA, Technologies de contrôle des émissions pour les poids lourds et les bus: <http://www.meca.org/page.ww?name=Trucks+%26+Buses§ion=Emission+Control+Technology>, et MECA (2006) Adapter les contrôles des émissions sur les véhicules diesels: [http://www.meca.org/galleries/default-file/MECA%20Diesel%20Retrofit%20White%20Paper%200406%20\(revised\).pdf](http://www.meca.org/galleries/default-file/MECA%20Diesel%20Retrofit%20White%20Paper%200406%20(revised).pdf)

31 MECA (2006) déclaration écrite des fabricants appartenant à l'association de contrôle des émissions sur le projet de plan de la Commission des Ressources en Air de Californie pour la réduction des émissions s'appliquant aux ports et aux mouvements internationaux de marchandises en Californie

32 MECA, Contrôle des émissions des véhicules diesel. <http://www.meca.org/cs/root/resources/publications> (en anglais)

33 <http://www.aecc.be/content/pdf/AECC%20Position%20on%20emissions%20control%20technologies%20for%20Euro%205%20&%206%20240506.pdf> <http://www.aecc.be/fr/Publications/Publications.html>

34 Voir: http://www.ec.europa.eu/enterprise/automotive/index_en.htm

35 MECA (2006) déclaration écrite des fabricants appartenant à l'association de contrôle des émissions sur le projet de plan de la Commission des Ressources en Air de Californie pour la réduction des émissions s'appliquant aux ports et aux mouvements internationaux de marchandises en Californie



de 95% des émissions de particules, en plus de fournir un contrôle effectif des émissions de CO et de HC, réduisant ces émissions respectivement de 90 à 99% et de 58 à 82%.

Cependant, le soufre réduit considérablement leur efficacité. Lorsqu'un COD oxyde le soufre, les PM de sulfate qui en résultent s'accumulent dans le filtre. Ce processus réduit l'efficacité du filtre, entraînant une augmentation des émissions et un accroissement des besoins en régénération, et diminuant ainsi les économies de carburant. Des niveaux élevés de soufre peuvent rendre le FPD inefficace ou même arrêter le moteur en raison d'une contre-pression trop importante. Les FPD ne devraient pas être employés avec des carburants à teneur en soufre supérieure à 50 ppm. De même, des huiles de moteurs à faible teneur en soufre devraient être utilisées. Des études montrent que les FPD sont d'une plus grande efficacité et requièrent des régénérations moins fréquentes lorsqu'ils sont combinés avec des carburants à 15 ppm ou moins de soufre. Les Etats-Unis, l'Union Européenne et le Japon ont décidé de limiter les niveaux de soufre dans le gazole à 15 ppm voire moins afin d'assurer le fonctionnement optimal des FPD.

Les **filtre "Flow-Through" (FTF)**: les filtres "Flow-Through" utilisent des systèmes de grillage ou de "tortuous flow" qui permettent l'oxydation de la plupart des particules, et sont plus perméables que des FPD haute performance. Ils pourraient être adaptés sur les poids lourds diesel plus anciens, en particulier ceux munis de commandes mécaniques. La technologie FTF pourrait également être installée en deuxième monte sur certains véhicules. La Commission des Ressources en Air de Californie (CARB) a analysé les FTF en utilisant le gazole moyen disponible sur le marché en Californie (avec une teneur moyenne en soufre dans les carburants de 150 ppm) et s'est aperçue qu'ils permettaient de réduire de 50%, voire plus, les particules en suspension. Les FTF testés qui opèrent avec du carburant à 500 ppm de soufre doivent être combinées à un catalyseur dit "fuel borne" pour atteindre un niveau similaire de réduction d'émissions.

Il s'agit de technologies relativement nouvelles qui requièrent un catalyseur "fuel borne" ou du carburant à faible teneur en soufre. L'efficacité des filtres "Flow-Through" en matière de réduction des particules ultra-fines est toujours à l'étude.

Le contrôle des émissions de NOx

Divers systèmes de contrôle des NOx conçus pour éliminer les émissions de NOx et permettre le respect des normes d'émission les plus sévères par les moteurs diesel sont en développement. Bien que les NOx puissent également être réduits par des modifications du moteur telles qu'énumérées ci-dessus (en particulier le dispositif EGR), ces transformations aboutiront généralement à compromis entre la maîtrise des PM et celle des NOx. Les technologies de contrôle des NOx incluent les systèmes adsorbants de NOx et la réduction catalytique sélective.³⁶

Les **adsorbants de NOx**: Dans un adsorbant de NOx, les émissions de NOx sont adsorbées et stockées sous forme de nitrate solide. Lorsque l'adsorbant est totalement saturé, une augmentation du rapport carburant-air déclenche le dégagement du NOx, qui est alors réduit à du NO₂ au contact des métaux précieux contenus dans le catalyseur. Les systèmes adsorbants de NOx ont montré 95% d'efficacité dans la conversion des NOx avec une utilisation de 1,5% de carburant supplémentaire.³⁷ Malheureusement, les pièges à NOx stockent également le soufre

³⁶ De nombreuses technologies de contrôle des NOx requièrent de l'huile de moteur à faible teneur en soufre

³⁷ Faulkner (2002)



de manière très efficace, suivant un processus de réaction presque identique à celui de l'azote. En outre, le SOx stocké est beaucoup plus étroitement intégré dans le dispositif et des températures plus élevées sont nécessaires pour l'éliminer. Après un certain temps, le soufre contenu dans le carburant, même à des niveaux très faibles, s'accumule dans le piège, causant un affaiblissement de son efficacité. Par conséquent, les niveaux de soufre dans les carburants utilisés doivent être proches de zéro (moins de 15 ppm). Bien que cette technologie soit prometteuse, elle est toujours en phase de démonstration et n'est pas encore disponible dans le commerce.

La réduction catalytique sélective: Les systèmes de réduction catalytique sélective (SCR) requièrent l'ajout d'un agent réducteur pour aider à convertir le NOx en azote et en oxygène. L'additif le plus largement répandu est un liquide à base d'urée, qui est stocké à bord du véhicule et doit être périodiquement réapprovisionné. Le SCR affiche une réduction de 65-80% en NOx. Mais plus important encore, il évite la perte potentielle d'économie de carburant liée à certaines des autres technologies, avec une différence qui peut s'élever à 7%.³⁸ Il est important de noter que sans cet agent réducteur, les émissions peuvent augmenter jusqu'à atteindre les niveaux des moteurs sans système de contrôle ; donc un accès à l'urée doit être assuré dans les zones où le SCR est utilisé.

Les systèmes de SCR sont employés en Europe en tant que technologie de réduction des NOx dans le but de se conformer aux normes européennes pour les poids lourds diesel. Ces systèmes s'appuient sur un catalyseur d'oxydation pour le contrôle des émissions de NOx. L'utilisation d'un catalyseur d'oxydation pour le contrôle des émissions implique néanmoins que les systèmes de SCR produiront des quantités importantes de particules de sulfate en cas d'usage de carburants à haute teneur en soufre. Par conséquent, les systèmes de SCR requièrent des niveaux de soufre dans les carburants de 50 ppm ou moins (en fonction des normes d'émission) pour fonctionner correctement.³⁹

4.2.2 La réduction des émissions des véhicules diesel existants

Les véhicules lourds diesels ont une longue durée de vie. Aux Etats-Unis, l'espérance de vie des poids lourds est de vingt-neuf ans et de seize ans pour les autocars.⁴⁰ Dans d'autres régions du monde, ces véhicules peuvent rester dans le parc de véhicules encore plus longtemps. Les émissions ont tendance à augmenter au fur et à mesure que les véhicules vieillissent. Ceci implique que les mesures prises en vue de réduire les émissions à travers l'introduction de nouvelles normes ne se concrétiseront pas avant un certain nombre d'années puisque le parc automobile ne se renouvelle que tous les 20 ans voire plus. Par conséquent, dans leurs efforts pour améliorer la qualité de l'air, de plus en plus de pays adoptent des programmes de réduction des émissions destinés aux véhicules anciens, ainsi que des normes plus strictes.

³⁸ Johnson, T (2002) Contrôle des Emissions Diesel: les 12 derniers mois en revue. Rapport présenté à la 8ème conférence sur la réduction des émissions diesel, San Diego, Californie, du 25 au 29 août 2002

http://www.eere.energy.gov/vehiclesandfuels/resources/proceedings/2002_deer_presentations.shtml

³⁹ EPA (2000) Analyse de l'impact de la réglementation: Normes de moteur et de véhicules poids lourds et conditions de contrôle du soufre dans les carburants diesel sur les autoroutes, Washington, Agence Américaine pour la Protection de l'Environnement; et Khair, M. (2002) Potentiel de basses émissions des RGE-SCR-FPD et de formulations des carburants améliorés- Rapport d'avancement. Rapport présenté à la 8ème conférence sur la réduction des émissions diesel, San Diego, Californie, du 25 au 29 août 2002

⁴⁰ Département des transports des Etats-Unis, Bureau des statistiques, 2005. Statistiques des transports nationaux pour 2005. Washington, D.C. http://www.bts.gov/publications/national_transportation_statistics/ (en anglais)



Évaluer le potentiel de la modernisation des véhicules

Facteurs principaux à considérer pour entreprendre un programme de modernisation:

Choix du parc de véhicules: Il est important d'effectuer une analyse approfondie du parc automobile existant afin d'évaluer quelles stratégies de réduction des émissions seront les plus appropriées.

Disponibilité du carburant: Il est important d'assurer un approvisionnement régulier en carburant approprié, respectant la réglementation en matière de niveaux de soufre.

Validation des technologies: lors de l'évaluation des différentes options relatives aux réductions des émissions, il est important d'employer des technologies reconnues et validées afin de s'assurer que les configurations de moteur sont assorties aux technologies de contrôle et que les réductions escomptées sont obtenues.

Dans le cadre d'un programme récent, des autobus de la ville de Mexico ont été équipés en deuxième monte de COD et de FDP, et ont roulé avec du gazole à très faible teneur en soufre (moins de 15 ppm) pendant onze mois. Les tests intensifs d'émissions effectués avant et après la modification montrent une réduction de 20% des PM grâce aux COD installés sur les autobus anciens, et une réduction de plus de 90% de PM due à l'installation de filtres à particules diesel sur les autobus plus récents. D'autres villes dans le monde, telles que Santiago au Chili et Hong Kong en Chine, ont mis en place des programmes réussis de modernisation. L'Agence Américaine pour la Protection de l'Environnement (USEPA) et la Commission des Ressources en Air de Californie (CARB) disposent toutes deux de programmes de vérification qui fournissent des informations essentielles sur les systèmes de contrôle des émissions diesel et leurs avantages escomptés. De plus amples informations relatives à ces programmes sont disponibles (en anglais) sur les sites internet suivants:

<http://www.epa.gov/otaq/retrofit/verif-list.htm> (en anglais)

<http://www.arb.ca.gov/diesel/verdev/verdev.htm> (en anglais)

Les mises à niveau et la modernisation des véhicules diesel sont considérées comme faisant partie des mesures les plus rentables pour parvenir à des réductions d'émissions à court terme. Cinq méthodes différentes, visant principalement le parc de véhicules existants, sont décrites ci-dessous.

REPARER/RECONSTRUIRE – Effectuer l'entretien courant et faire des réparations peut permettre de ramener les moteurs en conformité par rapport aux spécifications d'origine prévues par le constructeur et réduire les émissions à hauteur de celles prévues à la conception.

SELECTIONNER – L'emploi d'un carburant diesel plus propre (c-à-d., à faible teneur en soufre) peut directement contribuer à réduire les émissions de petites particules, et permettre l'introduction de systèmes avancés de contrôle des émissions.

MODERNISER – Les technologies les plus courantes employées pour moderniser les poids lourds diesel sont les catalyseurs d'oxydation diesel et les filtres à particules diesel. Les filtres "Flow-Through" sont plutôt récents, et leur utilisation n'est pas encore généralisée. Les dispositifs de contrôle des émissions diesel peuvent être installés sur une grande variété de véhicules, y compris les camions et les autobus de ligne, les engins non routiers de travaux publics et agricoles, etc.

Les catalyseurs d'oxydation diesel représentent l'option de modernisation la plus simple, la plus flexible et la moins coûteuse qui puisse être employée avec du carburant à 500 ppm ou moins de soufre. Un COD peut conduire à une réduction de 20-50% de la masse totale des PM, et



à une diminution de plus de 90% des CO et des HC.⁴¹ Les filtres à particules diesel représentent également une option facile et efficace pour la modernisation, mais ils exigent des teneurs maximales en soufre de 50 ppm, de préférence 15 ppm, dans les carburants, et ne peuvent pas être installés sur des véhicules diesel plus anciens. De nouvelles technologies qui imposent d'autres obligations, telles que des additifs pour carburant ou des niveaux de soufre dans les carburants différents (par exemple avec filtre "Flow-Through") sont en cours de développement.

REMOTORISER – Dans certains cas, un châssis de véhicule ou d'un engin peut avoir une vie substantielle. Les performances liées aux émissions peuvent être améliorées en retirant la totalité du moteur existant et en le remplaçant par un moteur neuf, ou plus récent, qui émet moins de polluants.

REMPLETER – Les moteurs diesel et les engins fabriqués avant 1990 ne sont techniquement pas adaptés pour des mises à niveau et leur coût peut s'avérer prohibitif. Dans ce cas-là, le remplacement du véhicule ou de l'engin en entier pourrait bien être l'approche la plus rentable.

4.3 Véhicules essence et soufre

Les principaux polluants émis par les véhicules essence sont le monoxyde de carbone (CO), les hydrocarbures (HC), et les oxydes d'azote (NOx). Par comparaison avec les véhicules diesel, les véhicules essence émettent sensiblement moins de particules. Les niveaux de soufre dans l'essence ont tendance à ne pas être aussi élevés que dans le gazole.

Comme souligné ci-dessus, la diminution de la teneur en soufre dans les carburants réduira immédiatement les émissions de particules, permettra aux véhicules équipés de catalyseur de fonctionner plus efficacement et d'être moins polluants, et permettra l'utilisation de nouvelles technologies qui réduisent les émissions de façon plus conséquente.

Les catalyseurs trois voies (TWC) – Le dispositif de réduction des émissions des véhicules essence le plus courant et le plus largement répandu est le pot catalytique. Les pots catalytiques, qui sont formés d'une structure alvéolaire en céramique et revêtus de métaux précieux, généralement en palladium, platine, et rhodium, convertissent les polluants en gaz inoffensifs avant qu'ils ne soient dégagés par le pot d'échappement. Les catalyseurs dits à deux voies (qui réduisent le CO et les HC) ont été introduits pour la première fois aux Etats-Unis, au Canada, et au Japon au milieu des années 70; les avancées technologiques ont mené à l'introduction de catalyseurs dits à trois voies (qui réduisent le CO, les HC et les NOx) dans la plupart des pays développés au début des années 80 et dans les années 90. Les catalyseurs trois voies dominent à présent la production des nouveaux véhicules à l'échelle mondiale ; en 2000, environ 85% des nouveaux véhicules essence ont été équipés d'un pot catalytique.⁴²

41 MECA, Technologies de contrôle des émissions pour les poids lourds et les bus: http://www.meca.org/page_ww?name=Trucks+%26+Buses§ion=Emission+Control+Technology, et MECA (2006) Adapter les contrôles des émissions sur les véhicules diesel, Avril 2006: [http://www.meca.org/galleries/default-file/MECA%20Diesel%20Retrofit%20White%20Paper%200406%20\(revised\).pdf](http://www.meca.org/galleries/default-file/MECA%20Diesel%20Retrofit%20White%20Paper%200406%20(revised).pdf)

42 MECA, Air non pollué, les faits – Contrôle des émissions de véhicules à moteur: Passé, Présent, et Futur. <http://www.meca.org/galleries/default-file/advancedfact.pdf> (en anglais)



Afin de répondre aux exigences des normes plus sévères de contrôle des émissions récemment adoptées aux Etats-Unis, en Europe, et au Japon, les fabricants ont considérablement amélioré la technologie des catalyseurs trois voies. Les dispositifs les plus avancés utilisent des cellules encore plus minuscules dans la structure alvéolaire pour augmenter la superficie de réaction (une densité plus élevée de cellules), différentes formules de revêtement pour améliorer la dispersion des groupes de métaux précieux (PGM) (c-à-d. plus de surface de conversion de métaux précieux pour la même quantité et masse de PGM), une gestion améliorée de l'oxygène, et une stabilité thermique améliorée, pour ne nommer que quelques unes des innovations. Ces catalyseurs améliorés peuvent ramener les émissions à des niveaux presque insignifiants, en fonction de la qualité du carburant. Le soufre réduit considérablement l'efficacité de ces dispositifs en bloquant les sites actifs du catalyseur. Cet effet n'est pas complètement réversible: bien que l'efficacité de la conversion s'améliore avec l'utilisation de carburant à faible teneur en soufre, elle ne revient pas toujours à son efficacité originale après désulfuration.⁴³

L'impact du soufre sur ces catalyseurs améliorés gagne en intensité à mesure que les véhicules, et leurs équipements de contrôle des émissions, sont optimisés pour répondre à des normes d'émission plus strictes.

4.4 L'appui du PCFV pour la réduction du soufre dans les carburants

Le PCFV a donné la priorité à l'élimination progressive de l'essence au plomb et à la réduction du soufre dans les carburants, ainsi que l'introduction de véhicules plus propres.

Alors que les pays du monde entier ont opté pour des niveaux de soufre dans les carburants différés en fonction des diverses étapes de développement, les caractéristiques des carburants dans les pays développés ont tendance à converger vers une teneur en soufre à 50 ppm à la fois pour le gazole et l'essence. Constatant cet état de fait, les partenaires du PCFV se sont mis d'accord, lors de la 4^{ème} réunion globale du partenariat qui s'est tenue les 14 et 15 décembre 2005 au siège de l'UNEP à Nairobi, Kenya, sur l'adoption de l'objectif suivant pour le PCFV: "...réduire la teneur en soufre dans les carburants à 50 ppm ou moins à l'échelle mondiale, en parallèle des véhicules propres et des technologies de véhicules propres, avec des feuilles de route et des agendas développés régionalement et nationalement".

A travers cet objectif, le Partenariat affirme que les pays en développement méritent une qualité de l'air égale à celle des pays développés. En même temps, il a été reconnu que l'amélioration de la qualité atmosphérique urbaine est liée à d'autres objectifs environnementaux et de développement, tels que la diminution de la pauvreté et l'accès à l'eau potable, qui ne requièrent que de faibles ressources humaines et financières. Il est donc important que l'introduction des carburants à faible teneur en soufre se fasse selon la situation locale, en fonction, entre autres, de la gravité des problèmes de qualité de l'air en zone urbaine, du nombre de véhicules fonctionnant avec des carburants à faible teneur en soufre, et des perspectives de réduction des émissions des véhicules.

⁴³ USEPA (1999), Analyse de l'impact de la réglementation: Contrôle de la pollution de l'air par les véhicules à moteur : Tier 2, Normes d'émission des véhicules à moteur et obligations de contrôle de l'essence sulfurée, Appendice B-1. <http://www.epa.gov/otaq/regs/ldhwy/tier-2/frm/ria/r99023.pdf> ; et MECA (1998), L'impact de l'essence soufrée sur les systèmes de catalyse des émissions. <http://www.meca.org/galleries/default-file/sulfur.pdf>



Le partenariat reconnaît que les décisions relatives à la réduction du soufre dans les carburants sont généralement prises au niveau local, avec la participation de toutes les parties concernées telles que les raffineries, les fabricants automobiles et de moteur, les ONG et les gouvernements nationaux. Néanmoins, l'objectif général de la limitation des niveaux de soufre à 50 ppm a été adopté dans le but de fournir une indication sur la cible à atteindre pour contribuer de façon déterminante à la réduction de la pollution atmosphérique. Cet objectif est destiné à orienter le développement des plans d'action nationaux et des efforts régionaux d'harmonisation, le développement de "feuilles de route" pour l'amélioration de la qualité des carburants et des véhicules, et, au final à aboutir à une meilleure qualité de l'air.

Le principe fondamental du Partenariat, tel qu'inscrit dans la déclaration de ses missions, est de promouvoir et favoriser l'introduction de carburants et de véhicules propres, plutôt que d'imposer des normes. Par conséquent, le Partenariat se tient prêt à soutenir les pays en développement et en transition dans leurs efforts pour réduire les niveaux de soufre dans les carburants.



Tableau 2: Options pour la réduction des émissions des véhicules

	Pour le gazole	Pour l'essence
Soufre > 500 ppm	<p>Si le niveau de soufre contenu dans votre gazole est supérieur à 500 ppm, aucune technologie de contrôle des émissions diesel ne peut être employée. Vos options incluent :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Commencer à réduire les niveaux de soufre dans les carburants pour des bénéfices immédiats sur les émissions • Adopter des normes d'émission des véhicules, imposant des modifications des moteurs pour tous les nouveaux véhicules, adaptées à la réduction des niveaux de soufre dans les carburants • Commencer un programme de renouvellement du parc automobile et de remplacement des véhicules les plus anciens. 	<p>Si la teneur en soufre de votre essence est supérieure à 500 ppm mais inférieure à 1000 ppm, vos options incluent :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Exiger l'installation de pots catalytiques dans tous les nouveaux véhicules et commencer simultanément à réduire les niveaux de soufre • Fixer des limites d'âge pour les importations de véhicules d'occasion et exiger qu'ils soient équipés de pots catalytiques.
Soufre > 500 ppm	<p>Si la teneur en soufre de votre gazole est à 500 ppm ou moins, quelques technologies avancées de contrôle des émissions peuvent être introduites. Vos options incluent :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Adopter des normes d'émission pour tous les nouveaux véhicules exigeant des modifications supplémentaires du moteur telles que la RGE, adaptées à la réduction des niveaux de soufre dans les carburants • Equiper en deuxième monte les véhicules lourds et anciens avec des catalyseurs d'oxydation diesel pour réduire les HC, le CO, et les PM et pour explorer l'applicabilité des FTF pour des réductions plus conséquentes de PM 	<p>Si la teneur en soufre de votre essence est à 500 ppm ou moins, l'introduction de technologies avancées de contrôle des émissions peut avoir lieu. Vos options incluent :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Adopter des normes d'émission de véhicule pour tous les nouveaux véhicules • Limiter l'importation des véhicules d'occasion à ceux qui sont équipés de pots catalytiques.
Soufre < 50 ppm	<p>Si la teneur en soufre de votre gazole est à 50 ppm ou moins, plus d'options sont alors disponibles. Ces options incluent :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Adopter des normes plus strictes d'émission des PM et des NOx pour les nouveaux véhicules diesel afin d'assurer l'introduction des technologies de contrôle les plus avancées • Equiper en deuxième monte les véhicules lourds et anciens avec des filtres à particules, en prenant en compte les conditions du filtre, la technologie de moteur, et l'âge du véhicule. 	<p>Si la teneur en soufre de votre essence est à 50 ppm ou moins, l'introduction de technologies encore plus avancées de contrôle des émissions peut avoir lieu. Vos options incluent :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Adopter des normes plus sévères d'émission pour tous les nouveaux véhicules afin d'assurer l'utilisation de technologies de pointe pour une plus grande maîtrise des émissions • Définir des restrictions limitant les importations de véhicules d'occasion à ceux qui sont équipés de pots catalytiques et qui respectent les critères de performances décrits.



5. La réduction des teneurs en soufre dans les carburants

Ce chapitre montre comment les décisions de réduire les niveaux de soufre dans les carburants peuvent avoir un impact sur les installations d’approvisionnement du carburant. Il énumère également des questions additionnelles qui devraient être prises en compte lors du processus de réduction du soufre.

5.1 D’où Vient le Soufre ?

Les carburants diesel et essence sont tous deux produits à partir du pétrole brut, qui varie en densité, fluidité et composition d’un gisement à l’autre. Le soufre est présent dans tous les pétroles bruts, mais à des degrés variables. Les bruts “doux” (‘sweet’) tels que le Brent (North Sea) ou le brut du Nigeria (Bonny Light) sont à faible teneur en soufre, alors que les bruts du Moyen-Orient sont relativement riches en soufre. Les bruts les plus lourds, principalement du Mexique et du Venezuela, sont à très haute teneur en soufre et sont qualifiés de “sulfurés” (‘sour’). La consistance et la couleur des pétroles bruts peuvent aller de l’épais goudron au liquide et du transparent au noir. Un pétrole brut “moyen” contient environ 84% de carbone, 14% d’hydrogène, 1 à 3% de soufre, et moins de 1% d’azote, d’oxygène, de métaux, et de sels. Le tableau 3 liste les caractéristiques moyennes d’une sélection de bruts.

Tableau 3: Caractéristiques d’une sélection de pétroles bruts⁴⁴

	Brut léger doux		Brut moyen sulfuré		Brut hautement sulfuré	
	Haute densité (Bonny Light)	Faible densité (Bonny Medium)	Léger (Murban)	Lourd (North Slope)	Léger (Arabic)	Lourd (Bachequero)
Gravité API	37.6°	26.9°	39.4°	26.8	33.4	16.8
Teneur moyenne en soufre (ppm)	1,300 ppm	2,300 ppm	7,400 ppm	10,000 ppm	18,000 ppm	24,000 ppm
Soufre total (en % poids)	0 - 0.5	0 - 0.5	0.51 - 1.0	0.51 - 1.0	1.0+	1.0+

Le soufre peut être présent dans le pétrole brut sous forme d’hydrogène sulfuré (H₂S) gazeux ou encore chimiquement incorporé dans des composés plus lourds. Lorsque le pétrole brut est transformé en essence et en gazole dans les raffineries, ces composés sulfurés s’intègrent dans les divers carburants. En général, plus la densité du pétrole brut est élevée, plus il est difficile d’extraire le soufre qu’il contient.

5.2 Comment Fonctionnent les Raffineries?

La fonction d’une raffinerie est de transformer le pétrole brut en une gamme de produits présentant les propriétés adéquates (dont la teneur en soufre) et dans les proportions

⁴⁴ Source: Raffineries Petroleum des Etats-Unis, Conseil National Petroleum (Juin 2000)



nécessaires pour satisfaire les normes locales et la demande du marché. Ceci requiert que les raffineries soient constituées d'un éventail de différentes unités de traitement. Le processus de raffinage est le suivant:

1. Le pétrole brut est divisé en différentes coupes par distillation atmosphérique.
2. La coupe la plus légère obtenue est du gaz de pétrole liquéfié (GPL).
3. La coupe légère suivante est le naphta, qui sert de base dans la composition de l'essence. Le soufre est extrait du naphta; un procédé de reformage est appliqué au naphta lourd pour augmenter l'indice d'octane, et le naphta plus léger est envoyé dans une unité d'isomérisation ou directement dans l'essence.
4. Les résidus issus de la distillation atmosphérique (les "résidus longs" qui contiennent plus de soufre que le naphta) sont convertis en produits plus légers (gazole). Dans les raffineries à conversion semi-complexes la conversion est effectuée par une unité de craquage thermique. Dans les raffineries « complexes » ceci est effectué par une unité de distillation sous vide - qui produit un distillat lourd qui doit alors être traité par craqueur catalytique ou hydrocraqueur.⁴⁵ Dans les raffineries à conversion complexes, le distillat lourd produit par l'unité de distillation sous vide est craqué par un certain nombre de différents procédés.⁴⁶

Les raffineries peuvent également appliquer une variété d'autres procédés de traitement tels que l'hydrodésulfuration, comme décrit plus en détail ci-dessous. Des informations supplémentaires sur les opérations de raffinerie et une description des diverses unités de traitement peuvent être trouvées dans une publication récente de l'IPIECA.⁴⁷

5.3 Les options pour réduire le soufre dans les carburants

5.3.1 Les pays sans raffineries

Les pays ne disposant pas de raffineries - ou ceux qui n'ont besoin que de faibles volumes de carburant à basse teneur en soufre - peuvent abaisser leurs niveaux de soufre en se procurant du carburant sur les marchés mondiaux. Les pays disposant de raffineries, mais qui procèdent à la remise à niveau de leurs unités de raffinage pour les adapter aux nouvelles spécifications beaucoup plus sévères de carburants, ont également opté pour l'importation de carburant à basse teneur en soufre. Par exemple, l'Inde et les Philippines ont temporairement importé des carburants à basse teneur en soufre pendant que leurs raffineries étaient modifiées pour répondre aux normes plus strictes.

5.3.2 Les pays disposant de raffineries

Le passage au brut à basse teneur en soufre

Les pays qui raffinent leurs carburants peuvent réduire de manière significative, si leurs raffineries le permettent, les teneurs en soufre des carburants qu'ils produisent en sélectionnant des pétroles bruts à faible teneur en soufre. Par exemple, passer de l'Arab Light (qui contient plus de 1% de soufre) au Bonny Light du Nigeria (moins de 0.5% de soufre) peut ramener la teneur en

⁴⁵ Les composants diesel transformés par craqueur catalytique contiennent plus de soufre que ceux transformés par hydrocraqueur.

⁴⁶ Une raffinerie complexe peut avoir près de 40 différentes unités de traitement interconnectées conçues pour optimiser la fabrication de produits à un état donné.

⁴⁷ IPIECA (2006) Soufre dans les carburants: les stratégies et options pour des carburants et des véhicules plus propres. <http://www.ipieca.org>



soufre du composé diesel distillé de 1.05% (10 500 ppm) à 0.13% (1 300 ppm). Donc, par le seul choix du brut, il est possible de produire du gazole avec 1 000-2 000 ppm de soufre, mais guère moins. Identifier les sources de bruts à faible teneur en soufre est une stratégie que la Chine a adoptée.

Avant de changer de bruts, les raffineurs doivent évaluer certains facteurs, tels que le degré de densité du nouveau brut, pour les adapter aux caractéristiques de conception de la raffinerie.

La désulfuration des composants mélangés

Pour produire des carburants contenant 1 000 ppm ou moins de soufre, il est important de réfléchir aux options de l'élimination du soufre provenant des coupes à haute teneur en soufre obtenues après distillation, et ce avant le mélange final. L'extraction du soufre peut être effectuée conjointement ou à la place de l'utilisation de pétrole brut à faible teneur en soufre. Les raffineries complexes trouvent souvent plus économique d'investir dans des installations d'extraction du soufre (telle que les unités de désulfuration) et de les utiliser pour traiter le pétrole brut à haute teneur en soufre.⁴⁸ Les raffineries moins complexes pourraient devoir choisir parmi diverses combinaisons d'investissement en matière de nouvelles unités de désulfuration et de sélection de pétrole brut.

L'hydrotraitement est la technologie la plus communément utilisée pour la désulfuration. Pour réduire les niveaux de soufre dans l'essence, il est habituellement seulement nécessaire d'hydrotraiter le flux ayant subi un craquage catalytique.

En ce qui concerne le gazole, l'extraction du soufre est plus difficile, il nécessite l'utilisation d'unités haute pression plus complexes, lesquelles requièrent parfois deux étapes de traitement. Hydrotraiter les carburants diesel améliore généralement leurs propriétés et augmente légèrement leur indice de cétane. Cependant, il existe d'autres éléments relatifs à la qualité du produit à prendre en considération, comme indiqué dans la section 5.4 ci-dessous.

L'autre alternative pour la désulfuration du gazole est d'installer un hydrocraqueur. Il s'agit de l'option la plus chère (4-5 fois plus que le coût d'un hydrotraiteur à haute pression) puisque c'est une installation complexe qui requiert une grande quantité d'hydrogène pour fonctionner. Un hydrocraqueur nouvellement installé produit du gazole et du kérosène de haute qualité et à faible teneur en soufre. Normalement, un hydrocraqueur est justifié commercialement uniquement si la raffinerie vise à augmenter le rendement en kérosène et en gazole et pas seulement à réduire les teneurs en soufre. Un hydrocraqueur d'une taille appropriée peut ramener les niveaux de soufre dans le gazole à environ 50ppm; une réduction plus importante exigeant l'utilisation d'un hydrocraqueur et d'un hydrotraiteur.

À mesure que la demande des carburants à faible teneur en soufre augmente, les technologies de traitement du soufre continueront de se perfectionner. Des technologies nouvelles et alternatives pouvant réduire les frais d'exploitation, les coûts financiers ou même

⁴⁸ Des détails sur les procédés de désulfuration peuvent être trouvés dans le document de l'IPIECA de 2006, Soufre dans les carburants: les stratégies et options pour des carburants et des véhicules plus propres. <http://www.ipieca.org>



les deux à la fois, commencent à être employées dans quelques raffineries, et devraient être approfondies.⁴⁹

5.4 Réduction des niveaux de soufre dans les carburants - les considérations annexes

Un certain nombre de considérations additionnelles liées à la réduction des niveaux de soufre lors du raffinage doivent être prises en compte, y compris ce qui suit:

- Certains procédés de remise à niveau des raffineries peuvent rendre l'utilisation de quantités plus importantes d'hydrogène (composant crucial du raffinage) nécessaire. L'évaluation des sources et du coût de cet hydrogène supplémentaire doit faire partie du processus décisionnel.
- Certains procédés de raffinage ont aussi des répercussions sur l'énergie, à la fois en termes d'utilisation d'énergie supplémentaire et d'augmentation des émissions de CO₂.⁵⁰ Ceci doit également être pris en considération lorsque les options pour abaisser les niveaux de soufre dans les carburants sont explorées..
- Les procédés techniques de réduction des niveaux de soufre dans les carburants doivent tenir compte des spécifications nationales des carburants, telles que les aromatiques, l'indice de cétane et la viscosité pour le gazole et l'indice d'octane pour l'essence.
- Désulfurer les carburants diesel peut légèrement augmenter l'indice de cétane, ce qui peut améliorer les performances du moteur et réduire les émanations de fumée. Dans le même temps, la désulfuration du gazole tend également à diminuer sa viscosité, qui est pourtant essentielle pour de meilleures performances et une usure minimum des pièces métalliques mobiles notamment dans une pompe d'injection rotative ou dans le moteur. Des additifs et des conditionneurs peu coûteux sont disponibles pour corriger cela.
- Certains processus de réduction du soufre peuvent également réduire l'octane dans l'essence qui, dans certains cas, devra être ramené à son niveau initial en fonction des normes nationale sur les carburants et les véhicules.
- Désulfurer les carburants diesel a aussi tendance à réduire les teneurs en aromatiques; ce changement peut affecter les joints en élastomère dans le circuit de carburant et causer des fuites.⁵¹ Les véhicules correctement entretenus avec des produits perfectionnés ont moins de risque d'être affectés. D'un autre côté, de faibles teneurs en aromatiques peuvent aider à réduire les émissions.⁵²
- Bien que les carburants à basse teneur en soufre ne requièrent pas de conditions spéciales de stockage, un grand soin doit être y apporté afin d'éviter les contaminations croisées entre les produits à faible et à haute teneur en soufre (comme les carburants d'avion et le gazole pour les transports routiers). La contamination croisée peut être empêchée par des

49 Voir par exemple Agence Américaine pour la Protection de l'Environnement (2003) Le contrôle des émissions de polluants atmosphériques provenant des carburants et moteurs diesel de véhicules non routiers, 68 Registre Fédéral 28427 et seq. disponible sur: <http://www.epa.gov/fedreg/EPA-AIR/2003/May/Day-23/a9737c.html> (en anglais)

50 Le CO₂ – dioxyde de carbone – est un gaz à effet de serre qui contribue au changement climatique.

51 Voir par exemple: C.M. Cusano et al. (1994) Changements de gonflement d'élastomères avec la composition du carburant diesel. SAE 942017; et S.D. Robertson et al. (1994) Les effets de la composition du gasoil automobile sur le comportement des élastomères. SAE 942018

52 Voir par exemple Document de discussion du personnel USEPA (2001) Stratégies et questions corrélant les propriétés du carburant diesel et les émissions, EPA420-P-01-001



procédures strictes de contrôle de qualité, comme le rinçage des camions-citernes et la mise en place d'installations de stockage adéquates pour les différents produits.

- La contamination des produits qui sont transportés par des oléoducs doit être réduite au minimum. Des zones de mélange se forment à l'interface entre les différents lots, qui peuvent être évitées en organisant correctement l'ordre des lots à hautes et faibles teneurs en soufre (autrement dit un ordonnancement précis) ou en séparant l'interface. L'interface peut alors être mélangée dans du carburant hautement sulfuré ou être retraitée dans une raffinerie
- Des précautions doivent être prises pendant les transvasements de l'essence et du gazole lors du remplissage des camions et des trains citernes, car les carburants à faible teneur en soufre ont une faible conductivité électrique et sont plus enclins à la production d'électricité statique ce qui peut provoquer des étincelles et causer une explosion. Ce problème peut être résolu en prenant les précautions appropriées.



6. Considérations supplémentaires

Ce chapitre fournit des observations supplémentaires pour la réduction des niveaux de soufre dans les carburants. Il s'agit d'avantages complémentaires (augmentation de la durée de vie du moteur, coûts d'entretien réduits) ou encore de questions annexes à prendre en considération lors du développement d'une stratégie (distinction entre les seuils dans les métropoles et en dehors des métropoles, et les questions d'adultération)..

6.1 Métropoles contre zones rurales

Parce que les zones urbaines sont les plus affectées par la pollution atmosphérique, plusieurs pays ont décidé d'introduire les carburants à faible teneur en soufre d'abord dans les villes, avant de les étendre au reste du pays. Ainsi, au Mexique, la nouvelle norme pour le soufre dans les carburants, qui va introduire des carburants à très faible teneur en soufre (15 ppm pour le gazole) dès 2007, se concentrera en premier lieu sur la frontière entre les Etats-Unis et le Mexique, suivie par les zones métropolitaines (en 2009) et le reste du pays d'ici 2010. Au Brésil, la norme nationale est à 2.000 ppm, alors que dans les métropoles, la norme est à 500 ppm (voir tableau 1, chapitre 3). Outre des normes plus strictes et des émissions plus basses, ces "niveaux de métropoles" tiennent compte également de la mise en œuvre des projets de modernisation (par exemple des parcs de bus urbains) - possibles si les niveaux de soufre sont assez bas. Cependant, introduire des carburants à faible teneur en soufre dans une partie seulement d'un pays crée des problèmes comme l'indisponibilité en dehors des zones métropolitaines de carburants moins polluants pour les automobiles qui en ont besoin et le risque d'erreur et de contamination des carburants. Par conséquent, dans de nombreux cas, cette approche est employée pour les parcs de véhicules urbains dont l'approvisionnement est centralisé tels que les bus et les taxis. Toutefois, puisqu'une utilisation accrue de ces véhicules va conduire à une augmentation de la demande en carburant à faible teneur en soufre, le coût d'approvisionnement du carburant est susceptible de diminuer. Ceci encouragera une production plus conséquente de carburant à faible teneur en soufre et en facilitera la diffusion sur le marché.

6.2 Couloirs de circulation pour véhicules et carburants à faible teneur en soufre

De nombreux pays commencent à mettre en place des couloirs favorisant la circulation de véhicules moins polluants traversant les différentes régions et pays. Aux Etats-Unis par exemple, divers projets de couloirs diesel ont été développés le long de la côte occidentale (le West Coast Diesel Collaborative), dans le Midwest (l'initiative Midwest Clean Diesel et le projet Blue Skyways), et le long de la côte est (le Mid-Atlantic Diesel Collaborative et le Northeast Diesel Collaborative) antérieurement à l'adoption d'une réglementation nationale limitant le soufre à moins de 15 ppm.

Le West Coast Diesel Collaborative est un partenariat entre des membres des gouvernements au niveau fédéral, national et local, le secteur privé, et des groupes environnementaux qui se sont investis dans la réduction des émissions de carburant diesel le long de la côte occidentale. Ce partenariat s'attache à créer, soutenir, et mettre en œuvre des projets de réduction des émissions diesel. Il travaille également à assurer que les carburants



propres sont disponibles pour les véhicules empruntant les autoroutes américaines à travers toute la côte occidentale.⁵³

Autre exemple, la Russie a proposé de créer un corridor pour les carburants à très faible teneur en soufre entre elle et l'Europe afin de favoriser les déplacements de personnes et les mouvements de marchandise utilisant les nouvelles technologies de véhicule et qui ne peuvent pas circuler avec des carburants à teneurs en soufre trop élevées.⁵⁴

6.3 Problématiques de véhicules et de moteur

6.3.1 La maintenance des véhicules

De basses teneurs en soufre dans les carburants aident à réduire la corrosion et l'acidification des huiles de moteur, ce qui a pour effet d'allonger les intervalles entre les contrôles techniques et donc de réduire les coûts d'entretien.

Tableau 4 : Les composants potentiellement affectés par les carburants diesel à faible teneur en soufre⁵⁵

Composants affectés	Effets des basses teneurs en soufre	Impact potentiel
Segments de piston	Corrosion et usure réduites	Durée de vie du moteur rallongée. Réparations moins fréquentes.
Chemises de cylindre	Corrosion et usure réduites	Durée de vie du moteur rallongée. Réparations moins fréquentes
Huile	Dépôts réduits, besoins en additifs alcalins amenuisés	Usure des segments de piston/ chemises de cylindre réduite, changements d'huile moins fréquents
Système d'échappement	Corrosion et usure réduites	Remplacements de pièces moins fréquents

La valeur réelle des bénéfices obtenus dépend des circonstances locales et de l'utilisation à long terme des carburants à faible teneur en soufre. Les économies moyennes s'élèvent, selon une estimation de l'USEPA à approximativement 1.4 cents/gallons pour les véhicules légers diesel, 1 cent/gallon pour les véhicules mi-lourds diesel et 0.7 cent/gallon pour les poids lourds diesel.⁵⁶ Ces bénéfices entraînent des économies estimées entre 153 et 610 dollars sur la durée de vie d'un véhicule.

⁵³ Pour plus d'information sur ces initiatives, voir les sites Internet suivants (en anglais):

<http://www.westcoastdiesel.org/>

<http://www.epa.gov/midwestcleandiesel/index.html>

http://epa.gov/region6/6xa/blue_skies_collaborative.htm

<http://www.dieselmideatlantic.org/diesel/index.htm>

<http://www.northeastdiesel.org/>

⁵⁴ Diesel Fuel News (9 juin 2003) Le Ministère des transports russe lance le plan ULSD de 2005 – diesel à très basse teneur en soufre pour les transporteurs internationaux de marchandises. Disponible sur: http://www.findarticles.com/p/articles/mi_m0CYH/is_10_7/ai_103382165 (en anglais)

⁵⁵ <http://www.adb.org/Vehicle-Emissions/General/diesel.asp#2>

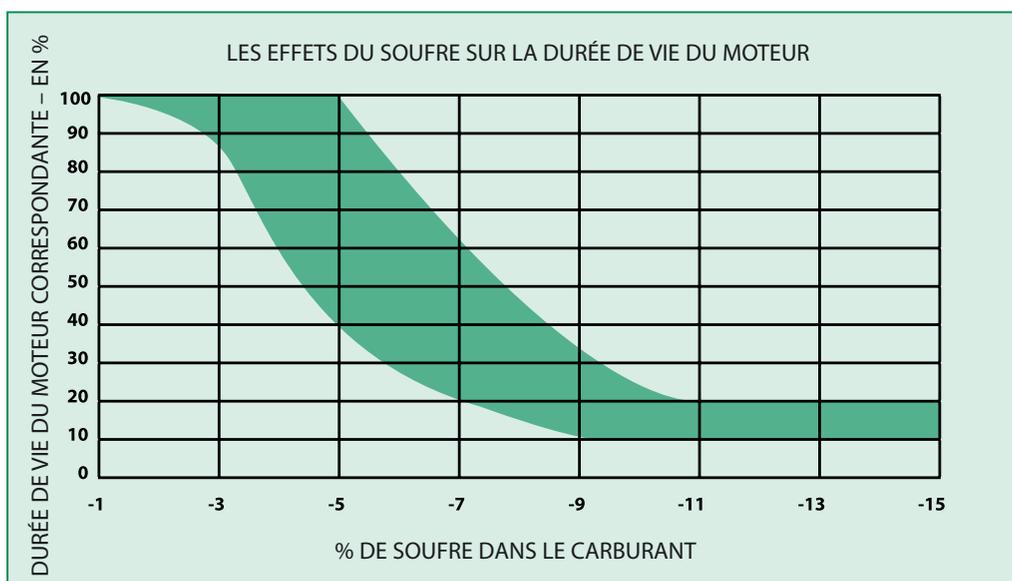
⁵⁶ USEPA (2000) Analyse de l'impact de la réglementation: Normes de moteur et de véhicules poids lourds et



6.3.2 Durée de vie du moteur

La présence du soufre dans les carburants réduit de manière significative la longévité des moteurs. C'est particulièrement le cas avec des niveaux élevés de soufre (supérieur à 2 000 ppm). Le graphique ci-dessous montre une augmentation de la durée de vie d'un moteur résultant de la réduction des niveaux de soufre dans les carburants. On estime que le passage de 1.5 % (15 000 ppm) de soufre dans les carburants à 0.1 % (1 000 ppm) augmente la vie du moteur de 80 à 90 %.

Schéma 3 : Diminution de la durée de vie du moteur due à l'augmentation des niveaux de soufre dans les carburant⁵⁷



6.3.3 Le soufre dans les huiles de moteur

Outre le carburant, le soufre se trouve également dans la plupart des lubrifiants employés pour protéger les moteurs de l'usure. Une fois que l'huile de moteur s'introduit dans la chambre de combustion, ce soufre peut pénétrer dans le système d'échappement, participant de ce fait à l'altération du fonctionnement des systèmes de contrôle des émissions. Alors que les niveaux de soufre dans les carburants chutent, l'impact relatif du soufre dans les huiles de moteur augmente.⁵⁸ En raison de la complexité d'assurer une qualité appropriée de lubrifiants pour les moteurs en service, de nombreux pays développés, notamment les Etats-Unis, le Japon et

conditions de contrôle du soufre dans les carburants diesel sur les autoroutes, <http://www.epa.gov/otaq/highway-diesel/regs/exec-sum.pdf> (en anglais)

57 <http://www.fleetwatch.co.za/supplements/SADiesel/DieselFactsFictionS.htm> (en anglais), à l'origine, Bulletin de la société Détroit Diesel

58 L'huile de moteur peut aussi inclure du phosphore et de la cendre, qui peuvent également empoisonner les systèmes de contrôle des émissions. Certains de ces composés, cependant, peuvent être nécessaires pour protéger les moteurs contre l'usure excessive, aussi la formulation des lubrifiants devrait-elle être laissée à l'industrie



en Europe, s'appuient sur la qualité des huiles de moteur déterminée par l'industrie elle-même. Dans les pays où les huiles de moteur sont de qualité inférieure, ces questions devraient être discutées avec l'industrie locale (les fabricants automobiles, de moteurs, de pétrole et d'additif) lors de l'adoption de politiques pour la réduction du soufre dans les carburants.

6.4 Mise en vigueur et conformité

La mise en vigueur joue un rôle essentiel en encourageant gouvernements, compagnies et autres à respecter leurs obligations environnementales. De plus, elle décourage ceux qui voudraient tirer profit de la violation de la loi, et crée des conditions plus favorables pour ceux qui s'y conforment.

La mise en conformité est critique pour assurer que la composition des carburants répond bel et bien aux normes, et permet aux systèmes de contrôle des émissions des véhicules de fonctionner tels qu'ils ont été conçus. Les normes pour l'essence et le gazole sont mises en place pour être respectées par les raffineurs et les importateurs et par les autres acteurs de la distribution du carburant.

6.5 L'adultération

L'adultération du carburant est un problème dans le monde entier qui peut avoir un effet nuisible sur les émissions des véhicules à moteur. Une forme commune d'adultération est le mélange du gazole avec du kérosène meilleur marché mais à une teneur en soufre plus élevée.

L'application des normes de carburant dans les raffineries et à la pompe est un moyen essentiel pour s'assurer que l'adultération du carburant est réduite au minimum. Les liens ci-dessous fournissent des informations supplémentaires sur l'adultération (avec une étude de cas d'adultération de carburant en l'Inde et au Népal, où c'est un problème constant):

<http://www.cpcb.nic.in/fueladultration/ch60703.htm>

http://www.cleanairnet.org/caiasia/1412/articles-58998_Fuel_Adulteration_Ale.pdf (en anglais)



Annexe 1 – Vue d'ensemble des polluants majeurs émis par les véhicules

Polluant	Impacts sur la santé	Considérations additionnelles
Particules en suspension (PM)	<ul style="list-style-type: none"> - asthme aggravé - fonctions pulmonaires diminuées - attaques cardiaques - mort prématurée - les particules diesel sont potentiellement cancérigènes pour l'homme 	<p>Les particules fines (PM 2.5) sont directement émises par les sources de combustion et sont formées secondairement par les précurseurs gazeux tels que le dioxyde de soufre, les oxydes d'azote, ou les composés organiques. Les PM 2.5 sont les plus importantes car elles peuvent pénétrer au plus profond des poumons. Les particules fines peuvent demeurer dans l'atmosphère pendant des jours voire des semaines et voyager sur des centaines voire des milliers de kilomètres.</p>
Hydrocarbures (HC)	<ul style="list-style-type: none"> - comprend de nombreux composants toxiques - cause le cancer et d'autres effets nuisibles pour la santé 	<p>Les hydrocarbures réagissent également avec les oxydes d'azote en présence de lumière solaire pour former l'ozone. Dans des zones urbaines traditionnelles, une part très significative provient des sources mobiles.</p>
Oxydes d'azote (NOx)	<ul style="list-style-type: none"> - réagit avec les hydrocarbures pour former l'ozone qui peut entraîner de sérieux problèmes respiratoires - réagit pour former les particules de nitrate, les aérosols acides, ainsi que le NO₂ qui peut également causer des problèmes respiratoires 	<p>Le NOx se rapporte à divers composés et dérivés de la famille des oxydes d'azote, y compris le bioxyde d'azote, l'acide nitrique, le protoxyde d'azote, les nitrates, et l'oxyde nitrique. Le NOx est l'un des ingrédients principaux impliqués dans la formation de l'ozone au niveau du sol. Le NOx réagit dans l'atmosphère pour former les particules de nitrate, les aérosols acides. Le NOx et les polluants formés à partir du NOx peuvent être transportés sur de longues distances..</p>
Oxydes de soufre (SOx)	<ul style="list-style-type: none"> - contribue aux maladies respiratoires, en particulier chez les enfants et les personnes âgées - aggrave les affections cardiaques et pulmonaires existantes 	<p>Contribue à la formation de particules dans l'air qui causent une diminution de la visibilité ; peut être transporté sur de longues distances et être déposé loin du point d'origine.</p>
Ozone (O ₃)	<ul style="list-style-type: none"> - déclenche divers problèmes de santé même à des niveaux très faibles ; peut causer des dommages pulmonaires permanents après exposition prolongée ; contribue à la mort prématurée 	<p>l'ozone au niveau du sol n'est pas directement émis par les gaz d'échappement des véhicules mais est un produit de la réaction impliquant des hydrocarbures et des oxydes d'azote en présence de lumière solaire.</p>
Monoxyde de carbone (CO)	<ul style="list-style-type: none"> - est toxique à des niveaux élevés dans l'air, même pour les personnes en bonne santé ; des niveaux bas peuvent affecter les personnes atteintes de maladie cardiaque ; peut affecter le système nerveux central ; risque de mortalité prématurée ; abaisse le poids de naissance 	<p>Les véhicules à moteur sont un contributeur majeur des niveaux de CO dans les villes ; près de 95% dans des villes américaines</p>

Sources:

USEPA - www.epa.gov/air/urbanair/6poll.html (en anglais)

Association médicale américaine (292: 19; 17 novembre 2004).



Annexe 2 – Niveaux de soufre par pays dans les régions de pays en développement (en décembre 2006)

Amérique Latine et Caraïbes – Niveaux de soufre dans les carburants diesel

PAYS	Niveau de soufre (ppm)	COMMENTAIRES	SOURCE
Anguilla			
Antigua et Barbuda			
Argentine	1500/2500	1500 ppm dans les métropoles et 2500 ppm hors métropoles; objectif de 50 ppm en 2009	ARPEL 2005; IFQC 2004
Aruba			
Bahamas			
Barbade			
Belize			
Bermudes			
Bolivie	500		ARPEL 2005
Brésil	500/2000	500 ppm dans les métropoles et 2000 au niveau national; des discussions sur l'objectif de 50 ppm en 2009 sont en cours au niveau national	Ford Brazil
Chili	50/350	50 ppm pour les métropoles et 350 au niveau national; Programme pour 2010 visant 10 ppm en métropole, 50 ppm au niveau national.	CONAMA Chili
Colombie	1200/4500	1200 ppm à Bogotá, 4500 ppm partout ailleurs; la législation est en développement et tend vers 500 ppm de soufre dans le gazole dès 2008 ou 2010.	Université Nationale de Colombie
Costa Rica	4500	Des programmes sont en oeuvre pour réduire le soufre à 4000 ppm en 2005/2006, 3500 ppm en 2006 et 500 ppm en 2008	ARPEL 2005; Rapport d'atelier de la Fondation Kukulkan, Guatemala 2004
Cuba			
Dominicaine (République)			
Dominique			
Equateur	500/7000	Premium/Regular	ARPEL 2005



Grenade			
Guatemala	5000		Rapport de la Fondation Kukulkan; ARPEL 2005 approuve
Guyana			
Guyane			
Haïti			
Honduras	5000		Rapport de la Fondation Kukulkan; ARPEL 2005 approuve
Iles Cayman			
Iles Turques-et-Caïques			
Iles Vierges			
Jamaïque			
Mexique	300/500	métropoles/zones hors métropole; la norme NOM-086 exige une réduction à 15 ppm début 2007 au nord de la frontière américaine, disponible dans les villes début 2009, et dans le reste du pays à partir de mi-2009	SEMARNAT, PEMEX
Montserrat			
Nicaragua	5000		ARPEL 2005
Panama	5000		Rapport de la Fondation Kukulkan; ARPEL 2005 approuve
Paraguay	5000		IFQC 2004; ARPEL 2005 approuve
Pérou	3000/5000	Pour les gazoles respectivement de niveaux 1 et 2. Le décret gouvernemental de juillet cible les 50 ppm en 2010.	USEPA Rapport quotidien sur l'environnement; ARPEL 2005 indique 5000/7000
Puerto Rico			
Saint-Christophe-et-Nieves			
Saint-Vincent-et-les-Grenadines			
Saint- Lucie			
Salvador	5000		Rapport de la Fondation Kukulkan; ARPEL 2005 approuve
Suriname	5000		ARPEL 2005



Trinité et Tobago	1500		ARPEL 2005
Uruguay	8.000	Objectif de 2006 à 2500 ppm (ARPEL 2005)	IFQC 2004; ARPEL 2005 approuve
Venezuela	5.000		IFQC 2004; ARPEL 2005 approuve
Total: 42 pays			

Références:

ARPEL 26 juillet 2005, correspondance personnelle

IFQC 2004 <http://www.worldfuelsconferences.com/images/ee04/Pye.pdf>

La Fondation Kukulkan a organisé dans la ville de Guatemala un atelier sur les véhicules et carburants propres en Amérique Centrale, Avril 2004

Michael Walsh, Consultant international, Vue d'ensemble des carburants propres dans le monde, 26 juin 2005

SEMARNAT, PEMEX Annonce sur les gazoles à faible teneur en soufre, décembre 2005 http://portal.semarnat.gob.mx/comunicacionsocial/boletines_2005_275.shtml



Asie de l'Ouest, Moyen Orient & Afrique du Nord – Niveaux de soufre dans les carburants diesel

PAYS	Niveau de soufre (ppm)	COMMENTAIRES
Algérie	900	Brut très "doux". Pas de programme pour traiter davantage le brut.
Arabie Saoudite	5000	Normes actuelles à 10000 ppm. Projette de passer à 500 ppm d'ici 2007 et 50 ppm dans le futur.
Bahreïn	5000 (500)	Réduction prévue d'ici 2007, du gazole à faible teneur en soufre est disponible
Egypte	5000	Pas de programme de réduction des niveaux de soufre, Norme à 10000 ppm
Emirats Arabes Unis	5000	Projette de passer à 2500 ppm fin 2005 et 50 ppm avant 2010.
Iran	5000	Norme à 10000 ppm
Irak	10000	Normes actuelles à 25,000 ppm. Pas de programme.
Israël	50	
Jordanie	9000	Normes actuelles à 12000 ppm. Pas de programme
Koweït	3500	Normes actuelles à 5000 ppm. Pas de programme
Liban		Aucune information.
Libye	1000	Normes à environ 1500 ppm
Maroc	10000 (350)	Introduction du gazole à 350 ppm de soufre de façon limitée
Oman	5500	Normes actuelles à 10000 ppm. Pas de programme
Palestine	10000	Obtient du carburant à 10000 ppm par la Jordanie
Qatar	5000	
Syrie	6500	Normes actuelles à 7000 ppm.
Tunisie	10000	Normes actuelles à 10000 ppm. Changement prévu en 2011
Yémen	10000	Pas de normes actuelles. Brut relativement "doux" mais exporté. Améliorations prévues d'ici 2010
Total: 19 pays		

Références:

MW = Mike Walsh, Vue d'ensemble des carburants propres dans le monde, Mémo envoyé par courriel le 26 juin 2005.

IFQC = Centre International pour la Qualité du Carburant, Juillet 2005

Représentants nationaux = information obtenues des représentants de divers pays à l'occasion de l'atelier du PNUE/PCFV à Beyrouth en 2004.

Réunion du Partenariat Marrakech, Mars 2005.

Agence de Presse du Golf



Afrique Subsaharienne – Niveaux de soufre dans les carburants diesel

PAYS	Niveau de soufre (ppm)	COMMENTAIRES	SOURCE
Afrique du Sud	500	50 ppm en 2010. Le gazole à 50 ppm est déjà disponible	Normes nationales / Point de contact (Stuart Rayner)
Angola	3000		Fred Sexsmith.
Bénin	5000	Importe de la Côte d'Ivoire et du Nigeria	Réunion du PCFV au Bénin
Botswana	500	Approvisionné par l'Afrique du Sud	
Burkina Faso	5000		Point de contact (Zéphirin Ouedraogo)
Burundi	5000	Importe de la Tanzanie et du Kenya	
Cameroun	5000		Normes nationales/Point de contact (Molo Yenwo)
Cap-Vert			Aucune information
Centrafrique (République)	3000-5000	Importe du Cameroun	
Comores			Aucune information
Congo (Brazzaville)	10000	Teneurs actuelles à 1000 ppm	Fred Sexsmith/ Point de contact (Séraphin Ele)
Congo (République Démocratique)	3500		
Congo			
Côte d'Ivoire	5000		Normes nationales.
Djibouti	5000		Aucune information
Erythrée	7000		Fred Sexsmith
Ethiopie	10000		Fred Sexsmith
Gabon	8000	A l'intention d'atteindre 5000 ppm en 2010	Réunion de la Banque Mondiale (Bruxelles)
Gambie	5000	Importe de la Côte d'Ivoire	Réunion du PCFV
Ghana	5000		Normes nationales
Guinée	5000	Approvisionné par le Sénégal	
Guinée Equatoriale	5000-8000	Approvisionné par le Cameroun et le Gabon	
Guinée-Bissau	5000	Approvisionné par le Sénégal	



Kenya	10000– domestique 5,000– importé	Une compagnie pétrolière importe déjà du gazole à 2000ppm	Normes nationales
Lesotho	500	Approvisionné par l'Afrique du Sud	
Liberia	5000	Approvisionné par le Sénégal.	
Madagascar	5000		Fred Sexsmith
Malawi	5000		Estándares del país.
Mali	5000	Importe du Sénégal	
Maurice	2500		Fred Sexsmith
Mauritanie	5000		Fred Sexsmith
Mozambique	5000		Normes nationales.
Namibie	500	Importe d'Afrique du Sud	
Niger	10000		Fred Sexsmith
Nigeria	3.000	Teneurs actuelles à 1330 ppm	Point de contact (Aminu Jalal)
Ouganda	5000	Importe de la Tanzanie et du Kenya.	
Réunion			Aucune infomation.
Rwanda	5000	Importe de la Tanzanie et du Kenya	
Sao Tome-et- Principe	3000		Fred Sexsmith
Sénégal	5000		Normes nationales / Point de contact (Ibrahima Sow).
Seychelles			Aucune infomation.
Sierra Leone	5000	Importe du Sénégal	
Somalie			Aucune infomation.
Soudan	11000		From oil company contact (Muthuma - Kenya).
Swaziland	500	Importe d'Afrique du Sud	
Tanzanie	5000		Normes nationales
Tchad	5000	Importe du Cameroun et du Nigeria	
Togo	5000	Importe de la Côte d'Ivoire et du Nigeria	
Zambie	7500		Normes nationales
Zimbabwe	5000	Importe par le Mozambique	
Total: 49 pays			

Références:

Fred Sexsmith: Consultant à la Banque Mondiale, Mai 2005

Divers normes et contacts nationaux

Réunions du PNUÉ/PCFV sponsorisées au Bénin, et en Gambie, 2004 & 2005

Initiative de la Banque Mondiale sur la qualité de l'air dans les villes d'Afrique Subsaharienne ; Réunions à Bruxelles, Belgique (2004) et Dakar, Sénégal (2005)



Europe Centrale et Orientale & Asie Centrale – Niveaux de soufre dans les carburants diesel

PAYS	Niveau de soufre (ppm)	COMMENTAIRES	SOURCE
Albanie	2000/350	2000 ppm pour la production nationale 350 ppm pour le gazole importé.	Etude du REC*
Ancienne République Yougoslave de Macédoine	2000	La norme nationale est à 2000 ppm pour le gazole. Le gazole à ce seuil est principalement importé	Expert national, Etude du REC, avec échantillon à max 1900
Arménie	5000	Utilise la norme GOST 305/82 (norme nationale russe - Russkie Gosudarstvennye Standarty), 2000 ppm	
Azerbaïdjan	2000	Utilise la norme GOST 305/82 ; Deux raffineries; réduction de la teneur en soufre du gazole à 2000 ppm d'ici 2005 et à 500 ppm avant 2015.	Alexander's Gas and Oil
Biélorussie	350	Nouvelle norme identique au standard européen de 1993 EN 228:1993 entré en vigueur en septembre 2003 mais le carburant n'est pas encore entièrement conforme.	Ministère des Affaires Economiques
Bosnie Herzégovine	350	97-100% importé des pays voisins. Norme nationale à 350 ppm	Etude du REC
Bulgarie	350/50	La norme nationale sera à 50 ppm au 1er janvier 2007. 70% du gazole commercialisé est à 50 ppm. La norme nationale actuelle est à 350 ppm.	Etude du REC année de rapport 2004
Croatie	50	Projet de transposer la directive européenne 2003/17/CE d'ici 2009 (10 ppm). Les raffineries croates ne sont pas actuellement capables de produire des carburants respectant les normes de qualité de l'UE, mais vont se moderniser afin d'en produire d'ici 2009	Etude du REC
Chypre	50		
Estonie	50		Etude du REC avec échantillon montrant une moyenne à 175 ppm
Géorgie	5000	Utilise la norme GOST 305/82	
Hongrie	10		Etude du REC
Kazakhstan	5000	Utilise la norme GOST 305/82	Alexander's Gas and Oil
Kirghizistan	5000	Utilise la norme GOST 305/82.	
Lettonie	50		Etude du REC
Lituanie	50		Etude du REC avec échantillon montrant une moyenne à 126.82 en été et 135.57 en hiver
Monténégro	50	Au 1er janvier 2006, tous les carburants importés doivent être de qualité européenne.	REC Survey

Malte	50		
Moldavie	2000	Utilise la norme GOST 305/82.	
Ouzbékistan	5000	Utilise la norme GOST 305/82.	UNECE
Pologne	50	Application de la Directive européenne 98/70/CE, norme nationale à 50 ppm.	L'étude du REC indique des normes nationales à 350, et des teneurs réelles à 50 ppm
République Tchèque	50	La production de gazole à très faible teneur en soufre (50 ppm) est prévue pour 2005	Etude du REC
Roumanie	350/50	Petrom and Rompetrol produisent déjà du gazole à 10 ppm. Législation nationale harmonisée avec la directive 98/70/EC (50 ppm).	Etude du REC, avec échantillon à max 246 ppm
Russie	2000/5000	Lukoil a lancé la production de carburant diesel Euro 4 (50 ppm) pour le trafic transfrontière entre l'Europe et la Russie. La majorité des carburants diesel sont à 2 000 ppm et moins, bien que ceux à 5 000 ppm soient toujours commercialisés.	
Serbie	10000	Les raffineries nationales produisent du gazole à 10 000 ppm, et une catégorie de gazole dite 'EKO' à 350 ppm, avec de très faibles quantités de gazole à 50 ppm produit dans la raffinerie Pancevo. Le gazole à plus faible teneur en soufre est importé en quantité limitée.	Etude du REC, avec échantillon montrant une moyenne à 6940
Slovaquie	10		Etude du REC avec échantillon montrant une moyenne à 264.5 en été et 262.9 en hiver
Slovénie	50		Etude du REC avec échantillon montrant une moyenne à 263
Tadjikistan	5000	Utilise la norme GOST 305/82	
Turquie	7000 / 50	La législation nationale limite la teneur en soufre dans le gazole à 350 ppm avec une période de transition pour les gazoles à teneur maximale en soufre de 7000 ppm (75% de parts du marché en 2005) jusqu'en 2007. Pour 2007-2009, la réglementation autorise la commercialisation de carburant diesel à 10 ppm de soufre avec une période de transition à 50 ppm	L'étude du REC indique des teneurs réelles à 7000 ppm Avec comme objectif 350 ppm en 2007
Turkménistan	5000	Utilise la norme GOST 305/82	Gouvernement du Turkménistan
Ukraine	2000	Utilise la norme GOST 305/82	UNECE
Total: 31 pays			

* L'année de rapport est 2003 sauf mention contraire.

Références:

Site Internet Alexander's Gas and Oil <http://www.gasandoil.com> (en anglais)



Diesel Fuel News, article sur la Russie, 12 mai 2003 http://www.findarticles.com/p/articles/mi_m0CYH/is_9_7/ai_102090268

Gouvernement du Turkménistan, <http://www.turkmenistan.ru>

Lukoil Press Release, 17 juin 2005 http://www.lukoil.com/press_6_5div__id_21_1id_22357_.html (en anglais)

Mike Walsh, Vue d'ensemble des carburants propres dans le monde, Mémo envoyé par courriel le 26 juin 2005.

UNECE, www.unece.org



Asie-Pacifique – Niveaux de soufre dans les carburants diesel

PAYS	Niveau de soufre (ppm)	COMMENTAIRES	SOURCE
Afghanistan	> 10000	Pas de norme ou de programme en cours	MW
Bangladesh	5000	La norme Euro 1 (2000 ppm) est en discussion.	ASCOPE, MW
Bhoutan	2500	Pas de programme connu	UNEP ROAP
Birmanie			
Brunei	1000		ASCOPE
Cambodge	1500	Pas de feuille de route ou de norme officielle d'émission	ASCOPE, MW
Chine	500	Projet de passer à la norme Euro 3 et peut-être à la norme Euro 4 avant 2010	MW, représentant national
China, RAS Macao	50	Projet de passer à la norme Euro 5 (10-15 ppm) avant 2007	MW, ASCOPE
Chine, Taiwan	100	Projet de passer à la norme Euro 4 (50 ppm) avant 2010	ASCOPE, MW
États fédérés de Micronésie			
Fiji			
Iles Cook			
Iles Marshall			
Iles Salomon			
República Popular Democrática de Corea			
Inde	500	Projet de passer à la norme Euro 3 (350 ppm) avant 2010	ASCOPE, ADB
Indonésie	2000	Actuellement Euro 1 (2000 ppm), projet de passer à la norme Euro 3 après 2010.	
Japon	50	Projet de passer à la norme Euro 5 (10-15 ppm) avant 2007	MW
Kiribati			
Laos			
Malaisie	500	Projet de passer à la norme Euro 4 (50 ppm) avant 2009-2010	ADB, ASCOPE
Maldives			



Mongolie			
Nauru			
Népal			
Niué			
Pakistan	5000	Planes para utilizar 1.000 ppm en 2005.	
Palaos			
Papouasie Nouvelle Guinée			
Philippines	500	Discussions en cours pour passer à la norme Euro 4 (50 ppm) avant 2010	
République de Corée	100	Projet de passer à la norme Euro 4 (10-15 ppm) avant 2007	ASCOPE, MW
Samoa			
Singapour	500	Projet de passer à la norme Euro 4 (50 ppm) avant 2006	ASCOPE, WF, MW
Sri Lanka	2000	Normes en place, pas de décision en faveur de la diminution des teneurs en soufre.	MW
Thaïlande	150	Projet de passer à la norme Euro 4 (50 ppm) avant 2010	ASCOPE
Timor Oriental			
Tokelau			
Tonga			
Tuvalu			
Vanuatu			
Vietnam	500	Projet de passer à 150 ppm avant 2010	ASCOPE
Total: 41 pays			

Références:

MW = Mike Walsh Vue d'ensemble des carburants propres dans le monde, Mémo envoyé par courriel le 26 juin 2005.

BAD = Banque Asiatique de Développement, 2003

PNUE ROA : Etat de l'environnement au niveau national, publication du Bureau Régional pour l'Asie et le Pacifique du PNUE, 2001

ASCOPE = Conseil du Pétrole de l'ANASE, Conférence mondiale de Hart sur les carburants, novembre 2004

