



**Conseil Économique
et Social**

Distr.
GÉNÉRALE

EB.AIR/WG.5/1999/13
28 juin 1999

FRANÇAIS
Original : ANGLAIS

COMMISSION ÉCONOMIQUE POUR L'EUROPE

ORGANE EXÉCUTIF DE LA CONVENTION SUR LA POLLUTION
ATMOSPHÉRIQUE TRANSFRONTIÈRE À LONGUE DISTANCE

Groupe de travail des stratégies
(Trente et unième session
26 août - 3 septembre 1999)

Point 2 de l'ordre du jour provisoire

**DOCUMENT TECHNIQUE SUR LES TECHNIQUES DE LUTTE CONTRE LES ÉMISSIONS
PROVENANT DE CERTAINES SOURCES MOBILES ***

Introduction

1. Le présent document a pour objet d'aider les Parties à la Convention à déterminer les options qui s'offrent et les mesures techniques et non techniques - y compris les instruments économiques - applicables en matière de lutte contre les émissions de NO_x et de COV pour pouvoir réduire sensiblement le niveau des émissions de polluants provenant d'un certain nombre de sources mobiles, comme le prévoit le Protocole.

*Document établi par le groupe de rédaction à la trentième session du Groupe de travail des stratégies.

Les documents établis sous les auspices ou à la demande de l'Organe exécutif de la Convention sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance aux fins d'une distribution GÉNÉRALE doivent être considérés comme provisoires tant qu'ils n'ont pas été APPROUVÉS par l'Organe exécutif.

2. Il a été établi à partir des informations sur les options, techniques et mesures non techniques de réduction des émissions de NO_x et de COV, leur efficacité et leur coût figurant dans la documentation officielle de la CEE et de son comité des transports intérieurs, de l'Organe exécutif de la Convention et de ses organes subsidiaires, de l'Organisation de l'aviation civile internationale (OACI), de l'Organisation maritime internationale (OMI), de la Commission des Communautés européennes et de l'Agence pour la protection de l'environnement des États-Unis ¹ ainsi que des informations supplémentaires fournies par les experts désignés par les gouvernements.

3. Le présent document traite de la lutte contre les COV, tels qu'ils sont définis au paragraphe 11 de l'article premier du Protocole et contre les émissions de NO_x considérés comme la somme de NO (monoxyde d'azote) et de NO₂ (dioxyde d'azote) exprimée en équivalents de NO₂. Il énumère un certain nombre de techniques et mesures de réduction des émissions de COV et de NO_x dont le potentiel, le coût et l'efficacité sont très variables.

4. Sauf indication contraire, il s'agit de techniques et de mesures considérées comme éprouvées qui, dans certains cas, tiennent compte des derniers progrès scientifiques réalisés dans la lutte contre la pollution atmosphérique imputable aux émissions de gaz provenant de sources mobiles et qui, d'ici à l'entrée en vigueur du protocole, deviendront pleinement opérationnelles et économiquement acceptables dans la plupart des Parties à la Convention comme le prévoient les textes législatifs et réglementaires, par exemple les règlements de la CEE, les directives de l'Union européenne, la loi relative à la lutte contre la pollution atmosphérique des États-Unis, telle que modifiée en 1990, et la loi canadienne de 1997 sur la sécurité des véhicules automobiles, ainsi que les règlements correspondants.

5. Les techniques et mesures antipollution choisies par chacune des Parties peuvent varier en fonction d'un certain nombre de facteurs - dispositions législatives et réglementaires, infrastructures de raffinage existantes, taille du parc de véhicules, etc. - mais, d'une façon générale, il faudrait que ces techniques et mesures soient appliquées de façon harmonisée dans l'ensemble de la région de la CEE, si l'on veut que les objectifs de réduction des émissions puissent être atteints.

6. Il ne faut pas perdre de vue que les sources mobiles d'émissions de NO_x et de COV sont sources également d'autres polluants, par exemple de SO_x et de particules. Pour choisir entre les différentes options qui s'offrent, il faudrait prendre en considération l'ensemble des émissions de polluants et tenir dûment compte des interactions démontrées - comme dans le cas des émissions de NO_x et de COV des carburants - afin de parvenir à combiner de façon optimale les techniques et mesures de lutte disponibles.

7. Le présent document reflète l'état actuel des connaissances théoriques et pratiques concernant les mesures de lutte contre les émissions de NO_x et de COV. Étant donné qu'en la matière les progrès sont constants,

¹Dans le présent document, les programmes des États-Unis ne sont mentionnés qu'à titre purement indicatif. Pour plus de précisions sur les prescriptions nationales, voir les lois et règlements pertinents.

avec notamment la mise au point de nouveaux véhicules faisant appel à des technologies antipollution et utilisant des carburants de nouvelle composition ou de remplacement, il faudra le mettre à jour et le modifier régulièrement.

IMPORTANCE DES ÉMISSIONS DE NO_x ET DE COV PROVENANT DE CERTAINES SOURCES MOBILES

8. Les transports routiers constituent l'une des principales sources d'émissions anthropiques de NO_x dans la région de la CEE, leur part dans le volume total de ces émissions pouvant atteindre 60 % dans certains pays et même plus dans les zones urbaines. Actuellement ce sont les véhicules à moteur diesel qui contribuent le plus aux émissions de NO_x dues à la circulation routière. Toutefois, vu le développement considérable du transport de marchandises par route, au moyen de véhicules utilitaires lourds, notamment en Europe, en 2000, les émissions de NO_x imputables à la circulation des véhicules utilitaires lourds sur de longues distances et à la circulation des autobus sur de courtes distances auront dépassé les émissions dues à la circulation des voitures particulières, en recul constant, à moins que de nouvelles mesures soient prises.

9. Les transports routiers (non compris la distribution d'essence) constituent aussi l'une des principales sources d'émissions anthropiques de COV dans la plupart des pays de la CEE et contribuent dans une proportion de 30 à 45 % au volume total des émissions de COV dues à l'activité humaine dans l'ensemble de la région de la CEE. A l'intérieur de ce secteur, les véhicules fonctionnant à l'essence sont de loin la plus importante source d'émissions de COV puisque 80 % du total des émissions de COV dues à la circulation (dont 30 à 50 % représentent des émissions par évaporation) leur sont imputables.

10. Les émissions de COV par évaporation sont fonction des conditions climatiques, des propriétés des carburants et du mode d'utilisation du véhicule. Les émissions lors du ravitaillement en carburant sont dues essentiellement à l'utilisation d'essence et dépendent dans une large mesure des propriétés de celle-ci (teneur en composés aromatiques, en oxygène et en benzène). Avec les carburants diesel, les émissions de COV par évaporation et les émissions lors du ravitaillement en carburant sont très faibles. Elles sont comparables aux émissions d'échappement des véhicules à moteur diesel.

11. Les émissions de NO_x et de COV provenant des véhicules et engins non routiers sont importantes; elles représentent 10 à 20 % des émissions totales de ces substances dans certains pays de la région de la CEE. Pour les NO_x, les moteurs diesel constituent la principale catégorie de sources; dans le cas des COV, ce sont les moteurs à essence à deux temps. La proportion des émissions provenant des véhicules non routiers augmentera à mesure que l'on réduira les émissions provenant des véhicules routiers.

12. D'après les estimations, les émissions de NO_x et de COV imputables aux transports maritimes et à la circulation aérienne augmentent régulièrement. Bien qu'elles soient dispersées sur de vastes espaces et dans de grands volumes d'air, ces émissions contribuent notablement à la formation d'ozone photochimique.

13. La plupart des pays de la CEE ont adopté des règlements qui limitent les émissions de polluants provenant des sources mobiles susmentionnées, en priorité celles des véhicules routiers et non routiers. La réglementation des émissions provenant des aéronefs et des navires est le fait surtout actuellement des organisations internationales compétentes, par exemple l'OACI pour les aéronefs et l'OMI pour les navires.

PRINCIPALES SOURCES MOBILES D'ÉMISSIONS DE NO_x ET DE COV

14. Les principales sources mobiles d'émissions anthropiques de NO_x et de COV sont les suivantes :

a) Véhicules routiers :

- Voitures particulières;
- Véhicules utilitaires légers;
- Véhicules utilitaires lourds;
- Motocycles et cyclomoteurs;

b) Véhicules et engins non routiers :

- Tracteurs et engins agricoles et forestiers;
- Machines industrielles et engins de chantier;
- Autres engins équipés d'un moteur - tondeuses à gazon, tronçonneuses, etc.;

c) Aéronefs;

d) Bâtiments de navigation :

- Navires et autres bâtiments de mer;
- Bateaux de navigation intérieure;
- Hors-bords;

e) Locomotives.

15. En attendant que d'autres données soient disponibles, on se concentre dans le présent document sur les véhicules routiers, les véhicules et engins non routiers, les aéronefs et les navires en présentant un certain nombre de techniques et de mesures fondées sur des travaux scientifiques sérieux, qui sont de nature à permettre d'atteindre les objectifs fixés en matière de qualité de l'air avec un rapport coût-efficacité optimal.

VÉHICULES ROUTIERS

A. Aspects généraux des options qui s'offrent et des techniques applicables pour lutter contre les émissions de NO_x et de COV provenant des véhicules routiers

16. Les véhicules routiers considérés ici sont les voitures particulières, les véhicules utilitaires légers, les véhicules utilitaires lourds, les motocycles et les cyclomoteurs. Ces véhicules peuvent être équipés d'un moteur à allumage commandé ou d'un moteur à allumage par compression fonctionnant

principalement à l'essence sans plomb, au carburant diesel, au gaz de pétrole liquéfié (GPL), au gaz naturel comprimé (GNC) ou aux biocarburants, selon le cas.

17. Dans le présent document qui porte à la fois sur les véhicules neufs et sur les véhicules en circulation, l'accent est mis sur quatre grandes options en matière de dépollution. La première a trait à la technologie de construction automobile, la deuxième aux propriétés des carburants, la troisième aux programmes visant à assurer la durabilité des équipements et l'entretien des véhicules, et la quatrième aux mesures non techniques comme la bonne utilisation, du point de vue économique et écologique, du réseau routier.

18. On trouvera également, dans la suite du texte, des indications sur la manière dont la modification des propriétés de l'essence (avec l'emploi d'essence reformulée par exemple) influe sur les émissions par évaporation et lors du ravitaillement en carburant, ainsi qu'une liste des options envisageables pour remplacer les carburants classiques par de nouveaux carburants - gaz de pétrole liquéfié (GPL), gaz naturel comprimé (GNC), éthanol, etc. - et réduire ainsi les émissions de COV. Parmi toutes les mesures qui peuvent être prises pour réduire ces émissions, la réduction de la volatilité des carburants est la plus efficace.

19. Les technologies de construction automobile qui associent convertisseurs catalytiques et moteurs à essence à allumage commandé nécessitent l'emploi d'essence sans plomb, laquelle est largement disponible dans la plupart des pays de la CEE. En outre, la commercialisation de l'essence au plomb sera interdite au sein de l'Union européenne à compter du 1er janvier 2000 et, dans la région de la CEE, ce type d'essence sera progressivement retiré du marché d'ici à 2010.

20. L'application de technologies d'épuration en aval, par exemple les convertisseurs catalytiques, dans le cas des moteurs à allumage commandé, et les catalyseurs à oxydation, réduisant principalement les émissions de CO et de COV, la réduction catalytique sélective pour réduire les émissions de NO_x et les filtres à particules, dans le cas des moteurs diesel, nécessite uniquement l'emploi d'un carburant à faible teneur en soufre (0,05 % au maximum) pour éviter une détérioration prématurée. Ce type de carburant est disponible sur les marchés américain et canadien et dans certains pays européens. Dans l'Union européenne, il a été convenu qu'à partir de 2005 la teneur en soufre de l'essence comme du carburant diesel ne dépasserait pas 0,005 %.

21. Des carburants dits de nouvelle composition - il s'agit essentiellement d'essence - ont été mis sur le marché. Les mélanges sont tels qu'en moyenne, par rapport aux carburants classiques, ils réduisent sensiblement les émissions de NO_x, de COV et de substances toxiques, dont certaines, comme le benzène, sont notoirement cancérigènes. Ces carburants, également appelés carburants propres, ont des propriétés qui font qu'ils induisent une diminution des émissions provenant des véhicules existants (avec un carburant diesel amélioré, par exemple, les véhicules en circulation peuvent émettre jusqu'à 10 % de moins de NO_x) ou bien, associés à un type de moteur particulier, ils entraînent une réduction des émissions.

22. Les carburants classiques de nouvelle composition, par exemple, peuvent être utilisés dans des conditions climatiques rigoureuses et/ou dans les régions/zones qui connaissent des problèmes de pollution. Dans ce type de régions/zones, l'utilisation de véhicules fonctionnant avec un carburant propre peut être encouragée car elle permet, notamment, de réduire sensiblement les émissions de COV.

23. Les émissions de particules d'huile de graissage provenant des moteurs à deux temps comme ceux des motocycles, cyclomoteurs, moteurs de hors-bords, outils portatifs, etc., sont considérables et l'on sait qu'elles ont des effets toxiques et cancérigènes. L'emploi, dans de bonnes conditions de rentabilité et d'efficacité, d'huiles biodégradables pour ce type d'applications peut réduire sensiblement ces émissions, même dans le cas des moteurs existants. Par rapport aux huiles classiques utilisées dans les moteurs à deux temps, l'emploi d'huiles biodégradables entraîne un surcoût inférieur à 5 cents des États-Unis par litre de carburant consommé et ce surcoût diminuera à mesure que la demande augmentera. Il faudrait envisager d'imposer l'emploi d'huiles biodégradables dans les moteurs à deux temps et/ou de mettre en place des incitations fiscales substantielles en faveur de ces huiles pour résoudre les problèmes de pollution liés à l'émission de particules.

24. Il importe de veiller à ce que les émissions provenant des véhicules en circulation demeurent faibles et à ce que ces véhicules soient bien entretenus. On peut, pour ce faire, prendre différentes mesures : assurer la durabilité des équipements pendant toute la vie utile du véhicule, effectuer des contrôles dans des conditions de fonctionnement réel, vérifier la conformité de la production, rappeler les véhicules défectueux, garantir les équipements antiémissions et instituer des programmes d'inspection et d'entretien.

25. Les mesures non techniques influent sur l'organisation de la circulation sur route et en zone urbaine; elles peuvent protéger les zones sensibles et contribuent à renforcer les options et mesures techniques. On peut citer, notamment, la mise en place de systèmes de transport efficaces et écologiquement acceptables, l'imposition de restrictions à la circulation et l'application d'instruments économiques, essentiellement de mesures d'incitation fiscales. Selon les estimations, le potentiel de réduction maximale des mesures non techniques est, globalement, considérable, en particulier dans les zones urbaines. Ce type de mesures contribue aussi à atténuer les autres effets nocifs de l'accroissement de la circulation, tels que le bruit et les encombrements, et à améliorer la sécurité routière.

26. Le coût des techniques antiémissions, lorsqu'il est indiqué, représente le coût des différentes mesures ou équipements considérés; les frais à engager pour combiner ces mesures et équipements avec les moteurs de véhicules automobiles ne sont pas comptabilisés. Les chiffres mentionnés correspondent aux coûts de production prévus et non aux prix de vente au consommateur et ne tiennent compte ni du coût des mesures administratives et réglementaires ni des coûts sociaux. Étant donné que la même technique antiémissions peut s'attaquer simultanément à différents polluants, les coûts indiqués peuvent être imputés aussi à la réduction des émissions de substances autres que les NO_x et les COV.

27. Les rapports entre les différentes options ou techniques antiémissions et, en particulier, entre les techniques de conception des moteurs, les propriétés des carburants et les émissions d'échappement, sont complexes et peuvent obliger à faire des choix entre différents types de pollution. C'est le cas, notamment, pour l'essence : avec les mélanges enrichis, si les émissions de NO_x diminuent, celles de COV augmentent, et inversement.

28. Pour surmonter ce type de problème, on fabrique des véhicules équipés d'ordinateurs leur permettant de s'adapter aux propriétés très diverses des carburants vendus sur le marché. Une brusque modification de la qualité du combustible ne doit pas avoir d'incidence sur la conduite ni sur les émissions. Les véhicules qui ne sont pas dotés de ce type d'équipement risquent d'être plus sensibles aux propriétés des carburants, d'où des répercussions sur les émissions. Les véhicules diesel, par exemple, ont tendance à avoir besoin d'un carburant plus strictement contrôlé pour fonctionner convenablement.

29. Toute une série d'options et de techniques antiémissions sont disponibles et peuvent être combinées pour réduire simultanément les émissions de différents polluants. Il faudrait, toutefois, tenir compte de leurs effets contraires démontrés et chercher à les associer de la manière la plus économique et la plus efficace possible.

B. Techniques applicables pour réduire les émissions de NO_x des véhicules routiers

Conception des moteurs des voitures particulières et des véhicules utilitaires légers fonctionnant à l'essence ou au diesel

30. Les principales techniques applicables pour réduire les émissions de NO_x sont énumérées au tableau 1 (moteurs à essence) et au tableau 2 (moteurs diesel).

Tableau 1. Techniques applicables pour réduire les émissions provenant des voitures particulières et des véhicules utilitaires légers à moteur à essence

Options	Niveau relatif des émissions <u>a/</u>	Coût (euros) <u>b/</u>
A. Modifications du moteur (régulation électronique, recyclage des gaz d'échappement, injection directe/multipoint, injection d'air secondaire)	500	n.d..
B. Convertisseur catalytique à trois voies et en boucle fermée plus réduction des émissions par évaporation	100	0
C. Convertisseur catalytique perfectionné (trimétallique, monté près du moteur ou plus en aval, charge catalytique plus forte, catalyseur chauffé) plus injection d'air secondaire	50-75	100-175
D. Mesures visant à obtenir un faible taux d'émission, système de gestion électronique intégré, (technique perfectionnée de recyclage des gaz d'échappement, contrôle amélioré), utilisation d'un carburant propre dont les propriétés contribuent à assurer un faible taux d'émission par évaporation et à l'échappement pendant la durée de vie du véhicule	20-50	100-250

a/ Par rapport à l'option A, en pourcentage.

b/ Surcoût de production par rapport à l'option B.

Tableau 2. Techniques applicables pour réduire les émissions d'échappement des voitures particulières et des véhicules utilitaires légers à moteur diesel

Options	Niveau relatif des émissions <u>a/</u>	Coût (euros) <u>b/</u>
A. Moteur à allumage par compression à injection indirecte ou chambre de turbulence et catalyseur à oxydation	100	0
B. Modifications du moteur (moteur à injection directe ou indirecte, suralimentation avec refroidissement intermédiaire, recyclage des gaz d'échappement, régulation électronique, gestion de l'injection de carburant, etc.)	70	100-250
C. Modification du moteur (option B) plus système perfectionné de recyclage des gaz d'échappement à régulation électrique ou électronique	50	100-300
D. Traitement en aval : réduction catalytique sélective au moyen d'un agent catalyseur (ou catalyseur anti-NO _x)	20-40	75-100

a/ Par rapport à l'option A, en pourcentage.

b/ Surcoût de production par rapport à l'option B.

31. L'option technique de référence pour les moteurs à essence est l'option B, c'est-à-dire le catalyseur à trois voies en boucle fermée qui a été conçu pour satisfaire aux exigences de la loi relative à la lutte contre la pollution atmosphérique des États-Unis, telle que modifiée en 1990, et de la Directive européenne 70/220/EEC, telle que modifiée en 1994, et qui est conforme également au Règlement No 83 (série 02) de la CEE.
32. En ce qui concerne les modifications du moteur, l'injection centrale et l'injection multipoint, qui assurent une répartition optimale du mélange air-carburant entre les cylindres, constituent les systèmes d'alimentation classiques pour réduire les émissions, tandis que le recyclage des gaz d'échappement limite la formation de NO_x, d'où une diminution des émissions "à la sortie du moteur", c'est-à-dire avant toute action catalytique.
33. Les principaux paramètres de fonctionnement du convertisseur catalytique sont la mise en température et le temps d'amorçage. La mise en température peut s'effectuer plus ou moins rapidement selon le type de métal précieux utilisé et sa concentration, le rapport des concentrations des métaux précieux et l'emplacement du convertisseur catalytique sur un monolithe en avant ou en arrière. Pour les plus perfectionnés des convertisseurs catalytiques trimétalliques sur support en céramique, le rapport des concentrations des métaux utilisés, à savoir le plomb, le palladium et le rhodium, est normalement le suivant : 1:25:1. L'installation d'un convertisseur catalytique d'amorçage en plus du convertisseur catalytique principal et l'injection d'air secondaire peuvent contribuer de façon non négligeable à réduire le délai d'amorçage du convertisseur catalytique. L'un des problèmes qui se posent lorsque l'on étudie les moyens d'accélérer l'amorçage est celui de la durabilité.
34. Pour les moteurs diesel, l'injection indirecte avec chambre de turbulence représente la technologie la plus courante.
35. Un autre type de moteur - le moteur à injection directe dans la chambre de combustion - est souvent associé à l'utilisation d'un turbocompresseur à refroidisseur intermédiaire et de dispositifs antiémissions supplémentaires - recyclage des gaz d'échappement, pompe d'injection, catalyseur à oxydation, etc.
36. Dans les moteurs diesel, les températures des gaz d'échappement sont moins élevées que dans les moteurs à essence, ce qui retarde l'amorçage du convertisseur catalytique et réduit son efficacité, en particulier en cas de démarrage à froid en cycle urbain.
37. Pour pouvoir respecter les futurs règlements imposant de nouvelles réductions des émissions de NO_x au-delà de 2000 et de 2005, on aura besoin de technologies antiémissions plus poussées, avec, notamment, pour les véhicules à moteur à essence, des systèmes d'injection perfectionnés, un convertisseur catalytique monté près du moteur ou plus en aval, avec revêtements différents et une plus forte charge catalytique, et, pour les véhicules à moteur diesel, des filtres à particules, des convertisseurs catalytiques anti-NO_x, une réduction catalytique sélective et une régulation électronique du moteur.

Conception des moteurs des véhicules utilitaires lourds fonctionnant au diesel

38. Les options techniques qui s'offrent pour réduire les émissions sont récapitulées au tableau 3. Le turbocompresseur à refroidisseur intermédiaire, qui assure un rendement élevé et une faible consommation de carburant, est une technique couramment utilisée pour tous les moteurs diesel à puissance nominale élevée. L'option A représente donc la configuration de base. En outre, la plupart des véhicules utilitaires lourds sont équipés de moteurs diesel à injection directe.

Tableau 3. Techniques antiémissions applicables aux véhicules utilitaires lourds et efficacité et coût de ces techniques

Options	Niveau relatif des émissions <u>a/</u>	Coût (euros) <u>b/</u>
A. Moteur à allumage par compression à injection directe équipé d'un turbocompresseur à refroidisseur intermédiaire	100	0
B. Moteur à allumage par compression équipé d'un turbocompresseur à refroidisseur intermédiaire, injection du carburant à forte pression, pompe à carburant à régulation électronique, optimisation de la chambre de combustion et du conduit d'admission et recyclage des gaz d'échappement	40-80	250-1 500
C. Moteur à allumage commandé équipé d'un convertisseur catalytique à trois voies, fonctionnant avec du GPL ou des carburants oxygénés, ou moteur à allumage par compression fonctionnant au GNC, équipé d'un catalyseur à trois voies	20-40	20 000-25 000
D. Traitement en aval pour les moteurs diesel : réduction catalytique sélective au moyen d'un agent catalyseur (ou catalyseur anti-NO _x)	40	75-100

a/ Par rapport à l'option A, en pourcentage.

b/ Surcoût de production par rapport à l'option B.

39. Il est possible de doter les parcs de véhicules lourds, comme les autobus urbains, d'équipements leur permettant d'utiliser un carburant de remplacement tel que le gaz d'origine fossile (gaz naturel comprimé) ou les biocarburants. Le coût de cette modification est élevé mais il peut être compensé par une réduction substantielle des émissions de polluants, qui peut atteindre 90 % pour les NO_x, les hydrocarbures, le CO et les particules selon le carburant.

40. Le coût des techniques antiémissions applicables aux véhicules utilitaires lourds est supérieur à celui des techniques correspondantes pour les voitures particulières et les véhicules utilitaires légers, mais si l'on tient compte du volume de polluants émis et du kilométrage ces coûts sont comparables.

41. Pour développer plus avant les techniques antiémissions applicables aux véhicules utilitaires lourds, on a tendance à se tourner vers les systèmes d'injection à haute pression et à faire appel à l'électronique ainsi qu'à la réduction catalytique sélective poussée.

Motocycles et cyclomoteurs

42. Bien que les émissions de NO_x des motocycles et des cyclomoteurs soient en fait très faibles (par exemple dans le cas des moteurs à deux temps), elles ne sont toutefois pas à négliger. Alors que les émissions de COV de ces véhicules sont en passe d'être limitées par de nombreuses Parties à la Convention, leurs émissions de NO_x risquent d'augmenter (par exemple avec les moteurs à quatre temps). Les solutions techniques applicables sont généralement les mêmes que pour les voitures particulières à essence.

C. Techniques applicables pour réduire les émissions d'échappement de COV des véhicules routiers

Conception des moteurs des voitures particulières et des véhicules utilitaires légers fonctionnant à l'essence

43. Les principales techniques applicables pour réduire les émissions de COV sont énumérées au tableau 4.

Tableau 4. Techniques applicables pour réduire les émissions d'échappement des voitures particulières et des véhicules utilitaires légers à moteur à essence

Options techniques	Niveau relatif des émissions <u>a/</u>	Montant estimatif du surcoût de production en série (euros) <u>b/</u>
A. Modifications du moteur (régulation électronique, recyclage des gaz d'échappement, injection centrale/multipoint, injection d'air secondaire)	800	n.d.
B. Convertisseur catalytique à trois voies et en boucle fermée + réduction des émissions par évaporation	100	0
C. Convertisseur catalytique perfectionné (trimétallique, monté près du moteur ou plus en aval, charge catalytique plus forte) + injection d'air secondaire	50-70	100-175
D. Mesures visant à obtenir un faible taux d'émission, système de gestion électronique intégré, (technique perfectionnée de recyclage des gaz d'échappement, contrôle amélioré), utilisation d'un carburant propre dont les propriétés contribuent à assurer un faible taux d'émission par évaporation et à l'échappement pendant la durée de vie du véhicule	20-50	100-250

a/ Par rapport à l'option A, en pourcentage.

b/ Surcoût de production par rapport à l'option B.

44. L'option technique de référence pour les moteurs à essence est l'option B, c'est-à-dire le catalyseur à trois voies en boucle fermée qui a été conçu pour satisfaire aux exigences de la loi relative à la lutte contre la pollution atmosphérique des États-Unis, telle que modifiée en 1990, et de la Directive européenne 70/220/EEC, telle que modifiée en 1994, et qui est conforme également au Règlement No 83 (série 02) de la CEE. Cette technologie permet de réduire sensiblement non seulement les émissions de COV mais aussi celles de CO et de NO_x.

45. En ce qui concerne les modifications du moteur, l'injection centrale et l'injection multipoint, qui assurent une répartition optimale du mélange air-carburant entre les cylindres, constituent les systèmes d'alimentation classiques pour réduire les émissions, tandis que le couplage des sondes lambda (une seconde sonde est ajoutée après le convertisseur catalytique) permet de régler de façon très précise le mélange air-carburant et ainsi d'améliorer le rendement de conversion du convertisseur catalytique.

46. Comme suite à l'adoption de règlements prévoyant de nouvelles réductions des émissions de COV (par exemple au Canada et aux États-Unis), des convertisseurs catalytiques à trois voies et en boucle fermée perfectionnés ont été conçus et mis en service. Ils présentent les caractéristiques suivantes : composition différente du catalyseur, charge catalytique (métaux précieux) plus forte, montage près du moteur, chauffage du convertisseur, etc.

47. Les principaux paramètres de fonctionnement du convertisseur catalytique sont la mise en température et le temps d'amorçage. La mise en température peut s'effectuer plus ou moins rapidement selon le type de métal précieux utilisé et sa concentration, le rapport des concentrations des métaux précieux et l'emplacement du convertisseur catalytique sur un monolithe en avant ou en arrière. Pour les plus perfectionnés des convertisseurs catalytiques trimétalliques sur support en céramique, le rapport des concentrations des métaux utilisés, à savoir le platine, le palladium et le rhodium, est normalement de : 1:25:1. L'installation d'un convertisseur catalytique d'amorçage en plus du convertisseur catalytique principal et l'injection d'air secondaire peuvent contribuer de façon non négligeable à réduire le délai d'amorçage du convertisseur catalytique. L'un des problèmes qui se posent lorsque l'on étudie les moyens d'accélérer l'amorçage est celui de la durabilité.

48. La mise en température du moteur et du système antiémissions influe beaucoup sur le volume total des émissions de COV, en particulier dans les climats froids ou lorsque le véhicule n'est utilisé que sur de courtes distances. Il est indispensable que le système antiémissions fonctionne rapidement. Sinon, par une température de -7 °C, les émissions de COV peuvent être 10 fois plus importantes que par une température de + 20 °C.

49. Les voitures équipées d'un moteur à deux temps constituent une catégorie à part. Elles émettent beaucoup de COV. Cela dit, leur production a cessé dans plusieurs pays d'Europe et, par voie de conséquence, leur utilisation a sensiblement diminué.

Voitures particulières et véhicules utilitaires légers à moteur diesel

50. Les techniques antiémissions disponibles sont récapitulées au tableau 5.

Tableau 5. Techniques applicables pour réduire les émissions d'échappement des voitures particulières et des véhicules utilitaires légers à moteur diesel

Options techniques	Niveau relatif des émissions <u>a/</u>	Coût (euros) <u>b/</u>
A. Moteur à allumage par compression à injection directe ou chambre de turbulence et catalyseur à oxydation	100	0
B. Modifications du moteur (moteur à injection directe ou indirecte, suralimentation avec refroidissement intermédiaire, recyclage des gaz d'échappement, régulation électronique, gestion de l'injection de carburant, etc.)	70-80	100-250
C. Système perfectionné d'épuration en aval; convertisseur catalytique et/ou filtre à particules	50	150-300

a/ Par rapport à l'option A, en pourcentage.

b/ Surcoût de production par rapport à l'option B.

51. Pour les moteurs diesel, l'injection indirecte avec chambre de précombustion ou chambre de turbulence représente la technologie la plus courante. Associée à un système de régulation électronique permettant de régler avec plus de précision l'injection et le dosage du carburant, y compris la pression à laquelle le carburant est injecté, cette technologie est aussi la mieux à même de ramener les émissions aux faibles niveaux prévus par la législation de référence pour un coût optimal.

52. La pression à laquelle le carburant est injecté est l'un des principaux paramètres dont dépend le niveau des émissions des moteurs diesel. Plus la pression est élevée, plus le carburant est finement pulvérisé, ce qui se traduit par une combustion plus efficace et moins d'émissions.

53. Un autre type de moteur - le moteur à injection directe dans la chambre de combustion - est souvent associé à l'utilisation d'un turbocompresseur à refroidisseur intermédiaire et de dispositifs antiémissions supplémentaires - recyclage des gaz d'échappement, pompe d'injection, catalyseurs à oxydation, etc.

54. Dans les moteurs diesel, les températures des gaz d'échappement sont moins élevées que dans les moteurs à essence, ce qui retarde l'amorçage du convertisseur catalytique et réduit son efficacité, en particulier en cas de démarrage à froid en cycle urbain.

55. Pour pouvoir respecter les futurs règlements imposant de nouvelles réductions des émissions de COV au-delà de 2000 et de 2005, on aura besoin de technologies antiémissions plus poussées, avec, notamment, des moteurs dotés de systèmes entièrement électroniques, une meilleure maîtrise de la combustion, une pression accrue dans les cylindres et des filtres à particules.

56. Les différents changements qui, au niveau de la technologie de construction automobile, permettraient de réduire les émissions de 30 à 40 % en moyenne, pourraient, au total, majorer de 500 euros le coût d'un véhicule, soit un surcoût pouvant représenter, selon la cylindrée, jusqu'à 3-4 % de son prix de revient actuel. Cela dit, les estimations concernant les véhicules à moteur diesel sont moins sûres que celles établies pour les véhicules à moteur à essence.

Conception des moteurs des véhicules utilitaires lourds fonctionnant au diesel

57. Les techniques antiémissions disponibles pour les véhicules utilitaires lourds sont indiquées au tableau 6. L'injection à très haute pression et la turbocompression avec refroidissement intermédiaire sont des techniques couramment utilisées pour tous les moteurs diesel à puissance nominale élevée. L'option A représente donc la configuration de base. En outre, les véhicules utilitaires lourds sont tous équipés de moteurs diesel à injection directe.

Tableau 6. Options qui s'offrent pour réduire les émissions des véhicules utilitaires lourds

Options techniques	Niveau relatif des émissions <u>a/</u>	Coût (euros) <u>b/</u>
A. Moteur à allumage par compression à injection directe ou chambre de turbulence et catalyseur à oxydation	100	0
B. Modifications du moteur (moteur à injection directe ou indirecte, suralimentation avec refroidissement intermédiaire, recyclage des gaz d'échappement, régulation électronique, gestion de l'injection de carburant, etc.)	70-80	100-250
C. Système perfectionné d'épuration en aval; convertisseur catalytique et/ou filtre à particules	50	150-300

a/ Par rapport à l'option A, en pourcentage.

b/ Surcoût de production par rapport à l'option B.

58. Un convertisseur catalytique à oxydation ne sera durablement efficace que si la teneur en soufre du carburant est suffisamment faible, de l'ordre de 50 mg/kg. Toutefois, comme il est difficile de maintenir des conditions de fonctionnement optimales, à l'usage ce convertisseur perd en fait entre 30 et 50 % de son efficacité. Le convertisseur catalytique réduit la fraction organique soluble des COV, d'où une diminution de la masse des particules.

59. Il est possible de doter les parcs de véhicules lourds, comme les autobus urbains, d'équipements leur permettant d'utiliser un carburant de remplacement tel que le gaz d'origine fossile (gaz naturel comprimé) ou les biocarburants. Le coût de cette modification est élevé mais il peut être compensé par une réduction substantielle des émissions de polluants, qui peut atteindre 90 % pour les COV, les NO_x, le CO et les particules selon le carburant.

60. Le coût des techniques antiémissions applicables aux véhicules utilitaires lourds est supérieur à celui des techniques correspondantes pour les voitures particulières et les véhicules utilitaires légers mais si l'on tient compte du volume de polluants émis et du kilométrage, ces coûts sont comparables.

61. Indépendamment de l'utilisation du système de turbocompression à pression variable, on a tendance, comme pour les voitures particulières et les véhicules utilitaires légers, à faire appel à l'électronique pour développer plus avant les techniques antiémissions applicables aux véhicules utilitaires lourds.

Motocycles et cyclomoteurs

62. Les techniques de lutte contre les émissions de COV provenant des motocycles sont récapitulées au tableau 7. Il est possible, normalement, de se conformer aux dispositions du Règlement No 40 de la CEE actuellement en vigueur sans recourir à des technologies de réduction. Les normes autrichiennes et suisses imposent l'utilisation de convertisseurs catalytiques à oxydation, en particulier, pour les moteurs à deux temps.

Tableau 7. Techniques applicables pour réduire les émissions d'échappement des motocycles et efficacité de ces techniques

Options techniques	Niveau des émissions (en pourcentage)		Coût (euros) <u>a/</u>
	2 temps	4 temps	
A. Aucun dispositif de réduction des émissions	400	100	-
B. Meilleur dispositif non catalytique	200	60	-
C. Convertisseur catalytique à oxydation, injection d'air secondaire	30-50	20	50
D. Convertisseur catalytique à trois voies et en boucle fermée	n.d.	10 <u>b/</u>	350

a/ Montant estimatif du surcoût de production par véhicule, par rapport à l'option B.

b/ Disponible pour quelques types de motocycles particuliers, surtout en Autriche et en Suisse.

63. Une technologie d'épuration en aval est également disponible pour les motocycles et les cyclomoteurs. Dans le cas des cyclomoteurs à moteur à deux temps, équipés de petits convertisseurs catalytiques à oxydation, il est possible de réduire les émissions de COV de 90 %, moyennant un surcoût de production de 30-50 dollars des États-Unis. En Autriche et en Suisse les normes en vigueur imposent déjà l'application de cette technologie. Dans l'Union européenne, il en ira de même à compter de 1999.

64. Les émissions de COV provenant des motocycles dépendent beaucoup du mode de conduite. Vu qu'ils sont plus lourds et qu'ils ont une charge utile

supérieure, les motocycles à trois et quatre roues ont tendance à rejeter beaucoup de COV.

65. La consommation de carburant et les émissions des motocycles et cyclomoteurs à deux temps peuvent être sensiblement réduites, de 30 à 40 % et de 80 % respectivement, grâce aux techniques modernes d'injection qui sont déjà appliquées avec succès aux moteurs de hors-bord à deux temps.

C. Carburants plus propres ou de nouvelle composition

66. La qualité du carburant peut avoir un impact important sur les émissions, eu égard, en particulier, à l'utilisation de convertisseurs catalytiques. Les valeurs de certains paramètres des carburants plus propres ou de nouvelle composition diffèrent de celles des carburants classiques tout en restant dans la même gamme. Dans le cas de l'essence, les différences concernent la teneur en soufre, l'intervalle de distillation moyen (E-100) et la teneur en composés aromatiques. Pour le carburant diesel, les différences concernent la teneur en soufre, l'indice de cétane, la teneur en hydrocarbures polyaromatiques et le résidu (T95). Les valeurs de quelques paramètres caractéristiques des carburants de nouvelle composition sont présentées dans le tableau 8.

Tableau 8. Valeurs de quelques paramètres caractéristiques des carburants de nouvelle composition dans l'Union européenne */

Paramètre	Essence	Diesel
Pression de vapeur (RVP) <u>a/</u>	60 kpa	
Composés aromatiques (vol. %)	42/35 (40)	
Benzène (vol. %)	1,0 (2,3)	
Soufre	150/50 mg/kg (300 ppm)	350/50 mg/kg (450 ppm)
Plomb dans l'essence sans plomb <u>b/</u>	0,005 g/l	

*/ .../... : après le 1er janvier 2000/à compter de 2005.

a/ Pression de vapeur Reid utilisée entre le 1er mai et le 30 septembre.

b/ Dans la Communauté européenne, à compter du 1er janvier 2000, la commercialisation de l'essence au plomb sera interdite, la part de l'essence au plomb dans les ventes totales d'essence ne devant pas dépasser 0,5 %, et, dans la région de la CEE, ce type d'essence sera progressivement retiré du marché d'ici à 2010.

67. Du fait de sa moindre volatilité, l'essence de nouvelle composition vise avant tout à réduire les émissions de COV mais elle contribue aussi, dans une moindre mesure, à réduire les émissions de NO_x et de CO. Ce résultat est obtenu en réglementant la teneur minimale en oxygène (2 %) et la teneur maximale en benzène (1 %), en augmentant la teneur en composants oxygénés, à savoir essentiellement l'éthanol et l'éther méthyltertiobutylique (MTBE), en limitant la teneur en oléfines et en introduisant des prescriptions particulières pour la saison d'hiver (jusqu'à 2,7 % d'oxygène). Avec l'essence de nouvelle

composition, il est possible de réduire de 15 à 17 % à la fois les émissions de COV ozonogènes et les émissions toxiques - 1,3 butadiène - des véhicules à moteur, et d'obtenir aussi une diminution, plus limitée, des émissions de NO_x.

68. En général, en réduisant la teneur en soufre de l'essence, on diminue les émissions de COV, de CO et de NO_x, surtout si le véhicule est équipé d'un convertisseur catalytique chauffé. En réduisant la teneur en composés aromatiques, on limite les émissions de benzène, de COV et de CO, mais on augmente celles de NO_x, car le rendement de conversion des NO_x du convertisseur catalytique est moindre avec des carburants à faible teneur en composés aromatiques.

69. Il est possible d'améliorer le carburant diesel en en éliminant le soufre, en optimisant sa densité et en réduisant sa teneur en composés aromatiques tout en lui conservant un indice de cétane élevé. L'emploi d'un carburant diesel à faible teneur en composés aromatiques permet de diminuer les émissions de NO_x des véhicules diesel en circulation. Si certaines formules sont directement utilisables avec les véhicules existants, d'autres nécessitent des moteurs adaptés.

D. Contrôle du fonctionnement des véhicules en circulation

Inspection et entretien

70. En général, les émissions de polluants augmentent avec l'âge du véhicule. Si l'on veut que les systèmes antiémissions fonctionnent durablement et que les véhicules respectent les limites d'émission pendant toute leur vie utile, il est nécessaire de mettre en place des programmes de surveillance obligeant les constructeurs à rappeler les véhicules qui ne répondent pas aux normes prescrites. Pour que le propriétaire du véhicule n'ait pas à pâtir de problèmes liés à la production, les constructeurs devraient garantir les équipements antiémissions.

71. Un nombre relativement restreint de véhicules très mal entretenus est responsable de l'essentiel de la pollution imputable aux véhicules routiers. Il est donc important de mettre sur pied des programmes visant à assurer la durabilité des équipements et l'entretien des véhicules (programmes d'inspection et d'entretien). Ces programmes, qui consistent à vérifier que les véhicules sont équipés de systèmes antiémissions en bon état et qu'en roulant ils ne dépassent pas les limites d'émission, peuvent contribuer à réduire les émissions de polluants. S'ils sont bien conçus et bien appliqués, ils permettent de repérer plus facilement les véhicules qui polluent beaucoup en vue de les faire réparer.

72. Il ne devrait pas être possible, et ce, quelles que soient les conditions d'utilisation, de réduire l'efficacité ou de désactiver les systèmes antiémissions embarqués, sauf lorsque c'est indispensable pour une conduite sans problème (démarrage à froid par exemple). Il faut veiller à ce que les systèmes antiémissions fonctionnent correctement dans toutes les situations que l'on peut rencontrer dans la pratique. Par exemple, l'Union européenne applique pour le démarrage à froid une norme limitant expressément les émissions de CO et HC.

73. Les programmes d'inspection et d'entretien qui complètent les programmes de surveillance devraient imposer l'utilisation de moteurs et de systèmes antiémissions plus robustes. Ils devraient, par différents moyens - mesures contraignantes, instruments économiques et information - dissuader les propriétaires de véhicules de dérégler ou de neutraliser les équipements antiémissions.

74. Il faudrait, dans le cadre des programmes d'inspection, vérifier que les équipements antiémissions fonctionnent aussi bien qu'à l'origine et que le rythme auquel les émissions de polluants augmentent, c'est-à-dire leur degré de détérioration, est en rapport avec l'âge du véhicule et le régime d'inspection et d'entretien en vigueur. En général, plus le régime d'inspection et d'entretien est sévère, plus ces effets sont faibles.

75. Différents régimes d'inspection et d'entretien sont présentés dans le tableau 9. Ils correspondent aux pratiques observées actuellement en Europe, aux États-Unis et au Canada. Il faudrait envisager au minimum l'application des règlements relatifs aux contrôles techniques périodiques des véhicules à roues (véhicules utilitaires et véhicules de grande capacité pour le transport des voyageurs) en circulation internationale établis dans le cadre de l'Accord concernant l'adoption de conditions uniformes applicables aux contrôles techniques périodiques des véhicules à roues et la reconnaissance réciproque des contrôles adopté à Vienne le 13 novembre 1997.

Tableau 9. Options/régimes types en matière d'inspection et d'entretien des véhicules en circulation en Europe et en Amérique du Nord

A.	Programmes visant à vérifier la conformité des véhicules en circulation
1)	Conformité de la production
2)	Respect des normes à l'usage
B.	Contrôles techniques périodiques (émissions + sécurité)
1)	Conditions uniformes applicables aux contrôles techniques périodiques des véhicules à roues (ECE/RC/TE/CONF./4)
2)	Mesures des émissions effectuées à distance en bordure de route
3)	Contrôles techniques comprenant un cycle d'essai amélioré de courte durée en conditions transitoires ou mesures des émissions provenant des véhicules effectuées à distance en bordure de route
4)	Vérification du système d'autodiagnostic embarqué

76. Les programmes d'inspection et d'entretien peuvent être profitables, quel que soit le type de technologie antipollution retenu, car ils visent à faire en sorte que le niveau des émissions des véhicules en circulation soit aussi proche que possible de celui des véhicules neufs. Les frais de réparation supplémentaires découlant de l'application de ces programmes peuvent être compensés par une moindre consommation de carburant.

77. Le système d'autodiagnostic a pour objet de veiller au bon fonctionnement des équipements antiémissions pendant toute la durée de vie du véhicule en surveillant les composants et les systèmes correspondants de façon à signaler toute détérioration ou tout dysfonctionnement au conducteur, qui pourra ainsi faire faire les réparations nécessaires. D'après les calculs qui ont été effectués, en Europe son coût non actualisé peut atteindre 100 euros par véhicule.

Mesures non techniques

78. Parmi les mesures non techniques qui peuvent être prises à l'égard de la circulation sur route, figure l'adoption de différents règlements visant à promouvoir une diminution de la part relative des transports routiers (transport de passagers et transport de marchandises) au profit de modes de transport ménageant davantage l'environnement comme les transports par chemin de fer, les transports maritimes, les transports par voies d'eau intérieures et le transport combiné, grâce à des mesures tactiques, structurelles, financières et restrictives. On peut, par des dispositions réglementaires restrictives et des mesures d'incitation, obtenir que l'on utilise des véhicules et des carburants moins polluants, restreindre la circulation et/ou en diminuer le volume et instituer des péages routiers et des taxes de voirie, en particulier dans les zones écologiquement sensibles.

79. En ce qui concerne la circulation urbaine, les mesures non techniques visent à mieux combiner l'aménagement de l'espace et la planification des transports, en mettant progressivement sur le marché des véhicules et des carburants plus propres et en favorisant une forme de mobilité respectueuse de l'environnement, afin d'assurer une utilisation optimale de la voirie et de protéger l'environnement. On peut citer notamment les mesures consistant à restreindre la circulation et à infléchir les modes de déplacement individuels, par exemple, la réglementation du stationnement, la création de parcs de stationnement relais visant à encourager les navetteurs à utiliser les transports publics et les limitations de vitesse, la mise sur le marché de véhicules très peu polluants pour les livraisons, les parcs de voitures de société et les services d'autobus publics et de taxis, la limitation de l'accès aux quartiers sensibles et la création de zones piétonnes et de pistes cyclables.

80. Parmi les mesures non techniques, certaines sont de nature économique. C'est le cas des péages routiers en général, des subventions accordées aux transports publics, des taxes sur les ventes de véhicules, des taxes sur les carburants et des subventions pour la mise à la casse.

81. Les mesures non techniques, qui ne sont pas traitées dans le présent document, seront définies progressivement dans le cadre du Programme commun d'action adopté par la Conférence régionale sur les transports et l'environnement, qui s'est tenue à Vienne du 12 au 14 novembre 1997 ².

²Voir le document ECE/RCTE/CONF.3/FINAL.

**TECHNIQUES DE LUTTE CONTRE LES ÉMISSIONS D'OXYDES D'AZOTE ET DE
COMPOSÉS ORGANIQUES VOLATILS PROVENANT DE SOURCES MOBILES
AUTRES QUE LES VÉHICULES ROUTIERS**

I. VÉHICULES ET ENGINs NON ROUTIERS ET NAVIRES

A. Aspects généraux des techniques de lutte applicables aux véhicules et engins non routiers

82. La présente section vise tous les engins mobiles ou portables à l'exclusion des voitures particulières, des véhicules utilitaires légers, des véhicules utilitaires lourds, des motocycles et des cyclomoteurs. Les émissions provenant des navires et des aéronefs feront l'objet des sections ci-après. On entend par véhicules et engins non routiers les tracteurs agricoles et forestiers, les engins de chantier, les tondeuses à gazon, les tronçonneuses, etc.

83. Les émissions de NO_x provenant des véhicules et engins non routiers sont importantes et représentent 10 à 20 % des totaux nationaux dans la région de la CEE. Les moteurs diesel sont la catégorie de source la plus importante. Les émissions de COV par les véhicules et engins non routiers ne sont pas négligeables puisqu'elles représentent jusqu'à 10 % des émissions nationales totales dans la région de la CEE. Les moteurs à deux temps fonctionnant à l'essence constituant la source la plus importante.

84. La proportion des émissions provenant des véhicules et engins non routiers augmentera à mesure que les émissions provenant des véhicules routiers et des sources fixes diminueront.

85. Évaluer les taux d'émission de certains véhicules et engins non routiers peut prendre beaucoup de temps si l'on ne dispose pas des informations requises pour en faire l'inventaire. Pour les engins, on trouve sur le marché toute une variété de moteurs à combustion. Il existe (aux États-Unis et en Suisse notamment) des listes préliminaires des facteurs d'émission correspondant à ces moteurs.

86. Des progrès notables ont été réalisés dans la conception des moteurs diesel et dans la technologie des carburants et les techniques d'épuration en aval et il est désormais possible de réduire les émissions de NO_x provenant des véhicules et engins non routiers pour un coût raisonnable. La plupart des mesures de réduction des émissions dont l'efficacité a déjà été démontrée pour les moteurs de véhicules routiers sont applicables aux véhicules et engins non routiers. Ces mesures sont décrites plus haut aux paragraphes 16 à 81.

87. Si les émissions de NO_x sont réduites par les techniques appliquées aux moteurs, les émissions de particules risquent d'augmenter. On peut y remédier par l'installation de filtres à particules. Les dispositifs modernes peuvent réduire la masse particulaire de plus de 90 % et le nombre de particules de plus de 99 %.

88. Il importe de veiller à ce que les normes d'émission pour les moteurs neufs continuent d'être respectées à l'usage. On peut y parvenir par des programmes d'inspection et d'entretien, en assurant la conformité de la

production et la durabilité des équipements pendant toute la durée de vie des véhicules, en garantissant les équipements antiémissions et en rappelant les véhicules et les engins défectueux.

89. Les programmes de mise en application et les programmes d'entretien et d'inspection des véhicules et des engins non routiers seront plus difficiles à mettre en oeuvre que ceux qui concernent les véhicules routiers.

90. Les incitations fiscales et financières favoriseront la diffusion des techniques antipollution.

91. Quelles que soient les mesures prises pour réduire la consommation de carburant ou améliorer le rendement global - poids réduit, moindre résistance de l'air ou moindre résistance hydrodynamique, etc. -, il en résultera aussi une diminution des émissions.

92. Il est souvent plus facile d'installer des dispositifs de réduction des émissions sur les véhicules et engins non routiers car ceux-ci sont soumis à moins de restrictions en matière d'encombrement et de poids.

B. Techniques de réduction des émissions de NO_x provenant des véhicules et engins non routiers

93. Les options technologiques les plus récentes pour les moteurs diesel des véhicules et engins non routiers sont les suivantes : conception améliorée de la chambre de combustion, recyclage des gaz d'échappement, gestion électronique du moteur, systèmes d'injection améliorés, turbocompression avec refroidissement intermédiaire, réduction catalytique sélective, filtres à particules, injection d'air humidifié, injection d'eau, cycle turbocompound, carburant émulsionné, etc. L'application des meilleures techniques disponibles sans traitement des gaz d'échappement ne permet pas de ramener à moins de 3,5 g NO_x/kWh et 0,05 g particule/kWh les émissions des moteurs diesel. Des réductions plus poussées exigent des dispositifs de traitement en aval ou des carburants de remplacement.

94. De nombreux carburants de remplacement utilisables par les moteurs diesel ont été proposés et étudiés : méthanol, éthanol, huiles végétales, gaz naturel comprimé, gaz de pétrole liquéfié (GPL) et oxyde de méthyle. C'est avec ce dernier que l'on obtient les taux d'émission les plus bas pour les NO_x et les matières particulaires.

95. Les carburants diesel à reformulation poussée comme le carburant suédois de classe I réduisent les émissions de NO_x dans des proportions modestes, de l'ordre de 5 à 10 %.

96. Selon les estimations obtenues auprès d'organisations internationales, les dépenses d'investissement supplémentaires nécessaires à la mise au point de nouveaux moteurs dont les émissions ne dépassent pas les limites des phases I et II sont de 1 400 et 2 600 euros pour une tonne de polluants réduits (dont les deux tiers sont constitués de rejets de NO_x). Les prix de détail pourraient augmenter de 3 et 8 % pour les phases I et II respectivement. De façon générale, les coûts marginaux associés à la conception de moteurs propres sont inversement proportionnels à la taille du moteur.

97. Plusieurs technologies de traitement en aval, telles que les convertisseurs catalytiques et les filtres à particules, sont également utilisables pour la mise en conformité des engins en service.

C. Techniques de réduction des émissions de COV provenant des véhicules et engins non routiers

98. Les options technologiques les plus récentes pour les moteurs à allumage commandé de véhicules non routiers sont les suivantes : réduction des émissions par évaporation, modifications du moteur (systèmes de carburation et d'allumage, injection de carburant, injection d'air), catalyseurs à oxydation et catalyseurs à trois voies, en boucle ouverte et en boucle fermée, carburants plus propres, etc.

99. Les options technologiques les plus récentes pour les moteurs diesel de véhicules non routiers sont les suivantes : conception améliorée de la chambre de combustion, recyclage des gaz d'échappement, gestion électronique du moteur, systèmes d'injection améliorés, turbocompression avec refroidissement intermédiaire, catalyseurs à oxydation, réduction catalytique sélective, filtres à particules, injection d'air humidifié, carburants plus propres, etc.

100. Les moteurs à allumage commandé à deux temps constituent une catégorie à part car ils émettent des quantités très élevées de COV. On s'efforce actuellement de modifier ce type de moteur et de le doter d'un dispositif à pot catalytique. Il est nécessaire d'obtenir des données sur les potentiels de réduction et la durabilité de ces solutions. De plus, divers types de moteur à deux temps ont été ou sont actuellement mis au point. Ces moteurs, qui reposent sur la technique de l'injection directe et qui comportent d'autres améliorations, ont un taux d'émission nettement plus faible. Pour certaines applications, les moteurs à deux temps sont remplacés par des moteurs à quatre temps.

101. La modification des spécifications des carburants classiques, par exemple la diminution de la volatilité de l'essence et l'addition de composés oxygénés, peut réduire les émissions de COV qui se produisent par évaporation et dans les gaz d'échappement. L'utilisation de carburants de remplacement dans les moteurs à essence et les moteurs diesel peut aussi réduire les émissions de COV, en particulier de composés toxiques. En particulier dans le cas des moteurs à deux temps, par exemple sur les tronçonneuses et les tondeuses à gazon, les émissions de composés toxiques comme le benzène peuvent atteindre des niveaux très élevés. Il existe pour ces engins des carburants spéciaux à teneur bien moindre en benzène et autres composés aromatiques, qui permettent d'obtenir des réductions de ces émissions allant jusqu'à 98 %. Le tableau 10 indique les valeurs de quelques paramètres caractéristiques de ces carburants à faible teneur en composés aromatiques pour les moteurs à deux temps et à quatre temps.

Tableau 10. Valeurs de quelques paramètres caractéristiques des carburants à faible teneur en composés aromatiques pour les moteurs à deux temps et à quatre temps

Paramètre	Norme suédoise (SS 15 54 61) et norme suisse (SN 181 163)
Indice d'octane recherche IOR	min. 95
Densité (kg/m ³)	680-720
Teneur en soufre (%m/m)	max. 0,002
Teneur en benzène (%v/v)	<0,1
Teneur en composés aromatiques (%v/v)	<0,5
Teneur en plomb (mg/l)	2-5

102. Plusieurs techniques de traitement en aval telles que les convertisseurs catalytiques et les filtres à particules sont également utilisables pour la mise en conformité des engins en service.

D. Aspects généraux des techniques de lutte contre les émissions de NO_x provenant des navires

103. Selon les estimations, les émissions de NO_x imputables aux activités maritimes augmentent constamment et, pour le seul Atlantique Nord-Est, elles sont comparables aux émissions nationales totales de quelques grands pays. Les émissions dues à la navigation intérieure sont également importantes dans certains pays. Bien qu'elles soient dispersées sur de grandes surfaces, les émissions provenant du trafic maritime contribuent notablement aux dépôts acides. Des études nationales et internationales ont clairement montré les avantages d'une réduction des sources maritimes de NO_x par rapport aux autres grandes catégories de sources de NO_x.

104. L'origine géographique des émissions des navires (par rapport aux zones sensibles) et leur contribution à l'acidification du fait de la pollution atmosphérique à longue distance et au niveau local doivent être prises en considération pour délimiter les zones à réglementer.

105. Ce sont les navires à moteurs diesel sans système de dépollution qui génèrent les émissions de NO_x les plus élevées par unité d'énergie consommée. À moins que des mesures antipollution ne soient pas appliquées aux navires, on assistera à une augmentation de leur importance relative dans les inventaires des émissions de NO_x à mesure que les émissions provenant de sources terrestres seront réduites.

106. Réduire la teneur en soufre du fioul utilisé par les navires pourrait présenter deux avantages. Le premier serait d'atténuer l'effet direct du soufre pour ce qui est de l'acidification. Le second serait de permettre l'utilisation de moteurs plus propres, plus respectueux de l'environnement, et de faciliter la réduction des NO_x par une épuration en aval.

107. En raison de la longue durée de vie des moteurs de navires, les émissions maritimes de NO_x ne diminueraient que de 1 % par an si les mesures visant à réduire les émissions de NO_x de 30 %, proposées par l'OMI à l'annexe VI de MARPOL, étaient appliquées uniquement aux moteurs neufs. Afin d'accélérer la réduction des émissions, les mesures antipollution devraient aussi s'appliquer aux moteurs en service.

108. Les incitations fiscales et financières favorisent et continueront de favoriser la diffusion des techniques antipollution.

E. Techniques de réduction des émissions de NO_x provenant des navires

109. Les techniques retenues pour réduire les émissions de NO_x provenant des moteurs diesel des navires d'une puissance supérieure à 130 kW sont indiquées au tableau 11. Il s'agit de mesures primaires, de mesures d'épuration en aval et de mesures relatives à la technologie des carburants, qui sont applicables aux moteurs existants et aux nouveaux moteurs. Les principales données concernant la réduction catalytique sélective pour les moteurs de navires sont indiquées au tableau 12.

Tableau 11. Évaluation de quelques techniques de réduction des émissions de NO_x des navires à moteur diesel ^{a/}

Mesures	Réduction des NO _x	Remarques	Applicables aux moteurs déjà en service ?	Disponibilité
Mesures internes (injection, chambre de turbulence, etc.)	30 - 40 %	Possible augmentation de la consommation spécifique de carburant et de la production de fumée	Oui, sous condition	Technique très récente
Système d'injection directe à rampe haute pression	Jusqu'à 30 %		Non	Disponible
Carburant émulsionné ou émulsion huile-eau	30 %	Réduction visible de la fumée	Oui, mais réduction de puissance	Disponible
Recyclage des gaz d'échappement	10 - 40 %	Légère augmentation de la consommation spécifique	Oui, sous condition	Disponible
Injection d'eau directe	25 - 50 %	Exige de l'eau propre, augmentation de la consommation de carburant	Non	Disponible
Prise d'air humidifié	55 - 75 %	L'eau de mer peut être utilisée	Oui	En cours de mise au point et essais d'exploitation
Réduction catalytique sélective	90 - 98 %	Diminue aussi les hydrocarbures et les particules, pas d'augmentation de la consommation de carburant	Oui	Technique très récente

^{a/} Ces mesures sont également applicables à d'autres moteurs diesel équipant des véhicules et engins tout-terrain.

Tableau 12. Réduction catalytique sélective combinée à l'oxydation catalytique pour les moteurs de navires - Principales données (1998)

Réduction des NO _x	95-99 % à 10-100 % de la puissance nominale maximale continue (MCR)
Réduction des HC	75-95 % à 10-100 % de la MCR
Réduction de CO	20-50 % à 10- 50 % de la MCR
Réduction des particules	0-50 % à 10-100 % de la MCR
Réduction du bruit	>25 dB(A)
NH ₃	< 5 ppmv pour 95 % de réduction des NO _x
Intervalle de température	270-500 °C (200 °C)
Carburant	Fioul de densité moyenne, fioul lourd (de préférence à faible teneur en soufre 0,5-1,0 %)
Poids	Silencieux + 30 %
Encombrement	Inférieur ou égal à celui d'un silencieux (30 dB(A)) Peut remplacer le silencieux
Consommation d'urée	6 kg/MWh, pour 10 g de NO _x /kWh et 90 % de réduction des NO _x
Solution d'urée	15 litres/MWh, en solution à 40 %
Durée de vie normale	Entre 20 000 et 40 000 h, avant remplacement d'une couche catalytique, selon la qualité du carburant

Note : Plusieurs méthodes peuvent être utilisées en parallèle pour obtenir la solution offrant le meilleur rapport coût-efficacité : si l'on associe un moteur émettant peu de NO_x et une réduction catalytique sélective, il est moins nécessaire de mettre en oeuvre des procédés de réduction des NO_x.

110. Il n'y a pas de solution universelle. La technique appropriée doit être choisie selon chaque cas.

111. Les émissions de NO_x des petits moteurs à essence (comme les moteurs de hors-bord) sont moins importantes que celles des moteurs diesel mais devraient augmenter avec le remplacement des moteurs à deux temps par des moteurs à quatre temps pour réduire les émissions de COV. Cette question sera traitée dans le cadre de la prochaine directive de l'UE sur les moteurs des embarcations de plaisance.

112. Les applications des turbines à gaz pour la propulsion se multiplient. Les problèmes d'émission de NO_x doivent être abordés au stade de la conception.

113. Il existe deux grandes sources d'émissions de COV dans le secteur maritime. Ce sont les émissions des embarcations de plaisance (moteurs de hors-bord à deux temps) et les émissions qui se produisent pendant le chargement et le déchargement de cargaisons volatiles des navires-citernes. Leur importance relative varie d'un pays à un autre selon sa situation géographique et la densité du trafic.

114. Les émissions des embarcations de plaisance peuvent représenter jusqu'à 8 % des émissions nationales totales de COV. Les mesures de lutte contre ces émissions, qui sont décrites plus haut au paragraphe 100, peuvent facilement réduire les émissions de plus de 80 %. Un certain nombre de pays de la CEE ont déjà adopté des mesures réglementaires pour réduire les émissions des

petits bateaux et des embarcations de plaisance du fait notamment que les eaux intérieures servent souvent de réservoirs d'eau potable, ce qui constitue un sujet de préoccupation écologique supplémentaire. L'UE est en train d'élaborer une directive relative aux moteurs des embarcations de plaisance.

F. Techniques de réduction des émissions de COV provenant des navires

115. Les systèmes de récupération des vapeurs tant à bord des navires qu'au terminal permettent de réduire les émissions de 98 % et devraient être mis en place suivant les directives techniques définies par l'OMI dans le document MSC-cirk 585 sur les normes relatives aux systèmes de contrôle des émissions de vapeurs.

II. AÉRONEFS

A. Aspects généraux des techniques de lutte contre les émissions de NO_x et de COV provenant des aéronefs

116. La présente section vise tous les moteurs d'aéronefs.

117. Les limites relatives aux émissions d'oxydes d'azote des moteurs d'aéronefs, prévues à l'annexe 16 (II) de la Convention de Chicago sur l'aviation civile internationale telle qu'elle pourra être modifiée ultérieurement, peuvent être appliquées pour réduire les émissions de NO_x des turboréacteurs et des réacteurs à turbosoufflante à l'atterrissage et au décollage dans le cadre des Protocoles à la Convention sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance.

118. Pour l'instant, la Convention sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance ne tient compte que des émissions produites à l'atterrissage et au décollage pour l'établissement des inventaires des émissions nationales totales. Les émissions produites en phase de croisière au cours des vols intérieurs peuvent aussi être considérées comme faisant partie des émissions nationales totales. Ces émissions peuvent être plus nocives. Toutefois, les coefficients d'émission de la phase de croisière sont moins bien connus que ceux de l'atterrissage et du décollage. L'OACI a entrepris d'étudier de nouveaux paramètres à prendre en compte dans le cadre de la lutte contre les émissions, parmi lesquels figureraient les émissions en phase de croisière.

119. Les aéronefs à turbopropulseur et tous les aéronefs dont les moteurs ont une poussée inférieure à 26,7 kW sont pris en compte aux fins des inventaires des émissions mais ne sont pas encore soumis à une réglementation internationale. Si l'on décide de les réglementer, il ne faudra pas oublier que la durée de vie d'un aéronef étant d'une trentaine d'années, les nouvelles technologies ne pénètrent que lentement. Une remise à niveau devrait donc être envisagée au moment du changement des moteurs.

120. L'imposition de taxes liées aux émissions, par exemple d'une redevance de route ou d'une redevance sur les carburants, qui incitent à adopter des techniques antipollution, est à l'étude actuellement au sein de l'OACI.

121. Il est également possible de réduire la consommation de carburant et donc les émissions grâce à des améliorations au niveau de l'exploitation - par exemple, itinéraires plus directs et recours aux systèmes de communication, de navigation et de surveillance et gestion du trafic aérien (CNS/ATM).

B. Techniques de réduction des émissions de NO_x et de COV provenant des avions

122. Les techniques les plus récentes de réduction des émissions des moteurs d'avions comprennent l'optimisation du réglage du mélange carburant-air pour les types de moteurs existants (pouvant réduire les émissions de 10 à 20 %) et la combustion en deux étapes pour certains nouveaux types de moteurs d'avions subsoniques à poussée moyenne à forte (pouvant réduire les émissions de 30 à 40 %), qui commencent à être mis en service.

123. D'autres modes de combustion - mélange pauvre/prémélangé/prévaporisé et mélange riche/forte turbulence/mélange pauvre - sont étudiés en vue de leur application à une deuxième génération de moteurs d'avions supersoniques. L'objectif est de parvenir en phase de croisière, à 5 g de NO_x par kg de carburant brûlé, ce qui correspond à une réduction d'au moins 80 % des NO_x par rapport à un mode de combustion classique. Cependant, ces moteurs ne seront sans doute pas mis en service avant 2006 au plus tôt.
