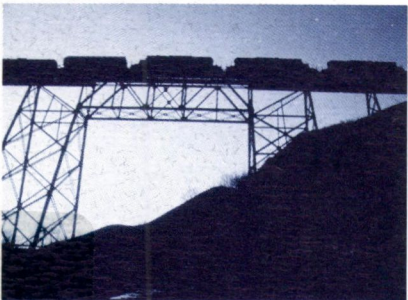
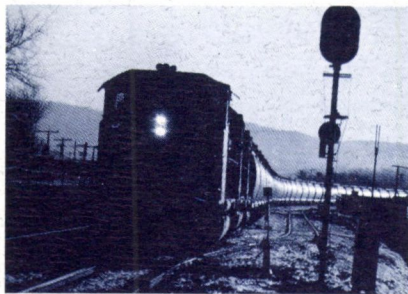


# Série de la Protection de l'environnement



Exigences de  
déclaration recommandées  
pour le Programme de  
surveillance des émissions  
des locomotives  
(Programme SEL)

Document d'information

Rapport SPE 2/TS/8  
Septembre 1994

IMPRIMÉ AU CANADA

14823-  
fre  
x

TD  
1  
2  
14823-  
X  
1994

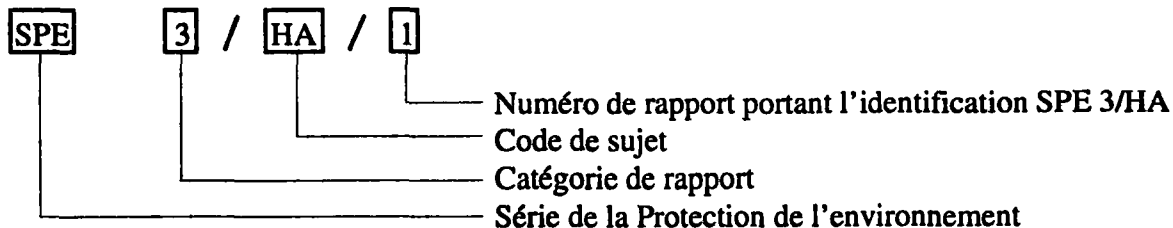
Canada



Environnement Canada    Environment Canada

# SÉRIE DE LA PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

## Exemple de numérotation :



### Catégories

- 1 Règlements/Lignes directrices/  
Codes de pratiques
- 2 Évaluation des problèmes et  
options de contrôle
- 3 Recherche et développement  
technologique
- 4 Revues de la documentation
- 5 Inventaires, examens et enquêtes
- 6 Évaluations des impacts sociaux,  
économiques et environnementaux
- 7 Surveillance
- 8 Propositions, analyses et  
énoncés de principes généraux
- 9 Guides

### Sujets

- AG** Agriculture  
**AN** Technologie anaérobie  
**AP** Pollution atmosphérique  
**AT** Toxicité aquatique  
**CC** Produits chimiques commerciaux  
**CE** Consommateurs et environnement  
**CI** Industries chimiques  
**FA** Activités fédérales  
**FP** Traitement des aliments  
**HA** Déchets dangereux  
**IC** Produits chimiques inorganiques  
**MA** Pollution marine  
**MM** Exploitation minière et  
traitement des minéraux  
**NR** Régions nordiques et rurales  
**PF** Papier et fibres  
**PG** Production d'électricité  
**PN** Pétrole et gaz naturel  
**RA** Réfrigération et conditionnement d'air  
**RM** Méthodes de référence  
**SF** Traitement des surfaces  
**SP** Déversements de pétrole et de  
produits chimiques  
**SRM** Méthodes de référence normalisées  
**TS** Transports  
**TX** Textiles  
**UP** Pollution urbaine  
**WP** Protection et préservation du bois

Des sujets et des codes additionnels sont ajoutés au besoin. On peut obtenir une liste des publications de la SPE en s'adressant aux Publications de la Protection de l'environnement, Service de la protection de l'environnement, Environnement Canada, Ottawa (Ontario) K1A 0H3.

Printed on  
recycled paper



Imprimé sur du  
papier recyclé

3023128I

# Exigences de déclaration recommandées pour le Programme de surveillance des émissions des locomotives (Programme SEL)

## Document d'information

par la

Division des systèmes de transport  
Direction des secteurs industriels  
Direction générale de la prévention de la pollution  
Environnement Canada

et

l'Association des chemins de fer du Canada



TD  
182  
R46  
2/TS/8

Rapport SPE 2/TS/8  
Septembre 1994

## **DONNÉES DE CATALOGAGE AVANT PUBLICATION (CANADA)**

Vedette principale au titre :

Exigences de déclaration recommandées pour le Programme  
de surveillance des émissions des locomotives (Programme SEL) :  
document d'information

(Rapport ; SPE 2/TS/8)

Texte en français et en anglais disposé tête-bêche.

Titre de la p. de t. addit.: Recommended reporting requirements  
for the Locomotive Emissions Monitoring (LEM) Program.

Comprend des références bibliographiques.

ISBN 0-662-61360-0

N° de cat. En49-1/2-8

1. Locomotives -- Aspect de l'environnement -- Canada.
2. Air -- Pollution -- Canada -- Mesure.
3. Environnement -- Surveillance -- Canada.
  - I. Canada. Environnement Canada.
  - II. Association des chemins de fer du Canada.
  - III. Canada. Direction générale de la prévention de la pollution.  
Direction des secteurs industriels. Division des transports.
  - IV. Coll.: Rapport d'information (Canada. Environnement Canada) ;  
SPE 2/TS/8.

TD885.5.N5R42 1994      385'.36'0971      C94-980336-7F

## **Commentaires**

---

Pour formuler des commentaires sur la teneur du présent rapport, s'adresser à :

R.J. (Russ) Robinson  
Section des applications  
Division des systèmes de transport  
Direction des secteurs industriels  
Direction générale de la prévention de la pollution  
Environnement Canada  
Ottawa (Ontario)  
K1A 0H3

On peut se procurer d'autres exemplaires du présent rapport à l'adresse suivante :

Publications de la Protection de l'environnement  
Direction générale du développement technologique  
Service de la protection de l'environnement  
Environnement Canada  
Ottawa (Ontario)  
K1A 0H3

## **Avis de révision**

---

Le contenu du présent rapport été revu par l'Association des chemins de fer du Canada et par la Direction des secteurs industriels d'Environnement Canada, qui en ont approuvé la publication. Cette approbation ne signifie pas nécessairement que le contenu est conforme aux vues et aux politiques d'Environnement Canada. La mention de marques de commerce ou de produits commerciaux ne signifie pas qu'on en recommande ou approuve l'emploi.

Le Module des publications de la Section de la mise en valeur de la technologie a assuré la rédaction-révision de ce rapport.

Cette page est blanche dans le document original

## Résumé

---

*En novembre 1990, le Conseil canadien des ministres de l'environnement (CCME) a publié la phase I du Plan de gestion pour les oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>) et les composés organiques volatils (COV). L'initiative N304 de ce plan prévoyait l'imposition d'une «limite des émissions de NO<sub>x</sub> provenant des systèmes de transport ferroviaire [locomotives] au Canada, fixée à 115 kt/an (sic), à partir de 1992».*

*À la suite d'une longue consultation, l'industrie ferroviaire canadienne a convenu de respecter cette limite des émissions de NO<sub>x</sub>. D'après les prévisions préparées par l'Association des chemins de fer du Canada, les émissions de NO<sub>x</sub> dues aux locomotives ne devraient pas dépasser 115 kt/a au moins jusqu'en 2005. Afin de permettre au CCME de surveiller le respect de cette exigence, les sociétés ferroviaires canadiennes ont aussi convenu de déclarer chaque année leurs émissions pour s'assurer qu'elles ne dépassent pas la limite de 115 kt/a.*

*Dans le présent document d'information, on décrit les facteurs qui influent sur les émissions des locomotives et on sélectionne les paramètres qui sont essentiels pour évaluer de manière exacte ces émissions. On formule aussi des recommandations sur les exigences de communication de données annuelles applicables à toutes les sociétés ferroviaires canadiennes et sur le contenu du rapport annuel.*

Cette page est blanche dans le document original



## Table des matières

---

Résumé .....	v
Liste des tableaux .....	ix

### Section 1

<b>Contexte</b> .....	1
1.1 L'initiative N304 sur les émissions des locomotives ...	1
1.2 Élaboration du document d'information .....	2

### Section 2

<b>Le Programme de surveillance des émissions des locomotives (Programme SEL)</b> .....	4
2.1 Objectifs .....	4
2.2 Plan d'action .....	4
2.3 Méthode de mise en oeuvre .....	5

### Section 3

<b>Le mémoire sur les émissions des locomotives préparé par l'ACFC en 1989</b> .....	6
--	---

### Section 4

<b>Facteurs influant sur les émissions des locomotives</b> .....	8
4.1 Le parc de locomotives canadien .....	9
4.2 Régimes d'utilisation des locomotives .....	14
4.2.1 Transport des voyageurs .....	14
4.2.2 Transport des marchandises .....	14
4.3 Relief du terrain .....	19
4.4 Facteurs d'émission .....	21
4.5 Propriétés et qualité du carburant .....	23
4.6 Industrie - Utilisation, croissance, rendement .....	24
4.7 Émissions régionales .....	24
4.8 Locomotives marchant à vide et facteurs saisonniers .....	25
4.9 Techniques, carburants et autres mesures de réduction des émissions .....	26
4.10 Amélioration du rendement du carburant .....	27

### Section 5

<b>Communication des données annuelles et établissement du rapport</b> .....	28
5.1 Sociétés ferroviaires .....	28
5.2 Fabricants de locomotives .....	28

**Références** ..... 30

*Annexe*

**Membres de l'Association des chemins de fer du Canada** . 31

## Liste des tableaux

---

1	Émissions nationales dues au transport ferroviaire . . . . .	2
2	Parc de locomotives canadien (1990) - Transport de ligne . . . . .	10
3	Parc de locomotives canadien (1990) - Service local et manoeuvres . . . . .	11
4	Caractéristiques actuelles des moteurs de locomotives . . . . .	12
5	Données sur les opérations ferroviaires en Californie (1987) . . . . .	16
6	Consommation de carburant par millier de tonnes-milles brutes . . . . .	17
7	Profils estimés des crans de marche - Transport des marchandises . . . . .	18
8	Puissance des moteurs et consommation de carburant des locomotives selon le cran de marche . . . . .	18
9	Pourcentage du nombre total d'heures d'exploitation passé à chaque cran de marche pour divers régimes d'utilisation . . . . .	19
10	Effets de divers crans de marche sur les facteurs d'émission . . . . .	20
11	Moteurs pour lesquels on dispose de facteurs d'émission . . . . .	22
12	Facteurs d'émission estimés par l'ACFC . . . . .	22

## Figure

---

Évolution des émissions d'échappement des moteurs des locomotives EMD . . . . .	13
---	----



## Contexte

L'ozone troposphérique (ou ozone de la basse atmosphère) est un polluant secondaire qui se forme au cours de réactions photochimiques entre deux grands groupes de polluants précurseurs, les oxydes d'azote ( $\text{NO}_x$ ) et les composés organiques volatils (COV), en présence de la lumière du soleil. Aux concentrations que l'on retrouve actuellement dans les régions les plus peuplées du Canada, on sait que l'ozone a des effets nocifs sur la santé humaine. Dans les régions rurales, on a établi qu'il réduit le rendement et la vitalité des cultures et des écosystèmes forestiers.

Reconnaissant le sérieux du problème de l'ozone troposphérique, le Conseil canadien des ministres de l'environnement (CCME) a décidé, en octobre 1988, d'élaborer un plan visant à limiter les émissions de  $\text{NO}_x$  et de COV. Un plan de gestion a par la suite été préparé grâce à une consultation à laquelle ont participé de nombreux intervenants. La consultation s'est déroulée sous la direction du Comité directeur fédéral-provincial du transport à distance des polluants atmosphériques (TADPA).

En novembre 1990, la phase I du Plan de gestion pour les  $\text{NO}_x$  et les COV a été approuvée en principe par le CCME (CCME, 1990). Le Plan proposait de limiter ou de réduire les émissions de  $\text{NO}_x$  et de COV de la plupart des secteurs industriels.

### *1.1 L'initiative N304 sur les émissions des locomotives*

D'après un inventaire préparé au début de 1989 par Environnement Canada, les locomotives contribuent beaucoup aux émissions totales de  $\text{NO}_x$  au Canada (Environnement Canada, 1990). C'est pourquoi le CCME a entrepris une consultation des représentants de l'industrie ferroviaire, au cours de laquelle l'Association des chemins de fer du Canada (ACFC) a joué un rôle de premier plan. On trouvera une liste des membres de l'ACFC à l'annexe.

À la fin de 1989, l'ACFC a soumis des estimations et des prévisions détaillées des émissions de polluants atmosphériques par les locomotives au Canada (ACFC, 1989). Ses estimations des émissions de  $\text{NO}_x$  et de COV étaient plus faibles que celles qui avaient été établies par Environnement Canada, comme on peut le voir au tableau 1.

Les estimations de l'ACFC tenaient compte de divers facteurs, à savoir une révision récente des facteurs d'émission des locomotives, l'entrée en service graduelle de locomotives à meilleur rendement sur le plan de la consommation d'énergie et des émissions, la poursuite des programmes internes d'amélioration de la productivité mis en application dans toute l'industrie, et les prévisions actuelles de l'industrie pour ce qui est de la croissance des affaires.

**Tableau 1 Émissions nationales dues au transport ferroviaire (en kt)**

Secteur	1985		1990		1995		2000		2005	
	NO <sub>x</sub>	COV	NO <sub>x</sub>	COV	NO <sub>x</sub>	COV	NO <sub>x</sub>	COV	NO <sub>x</sub>	COV
<b>Estimations de l'ACFC</b>										
<b>Novembre 1989</b>										
Marchandises	116	5,7	108	5,3	109	5,4	108	5,4	108	5,5
Voyageurs	16	0,9	5	0,2	5	0,2	5	0,2	5	0,2
<b>TOTAL</b>	<b>132</b>	<b>6,6</b>	<b>113</b>	<b>5,5</b>	<b>114</b>	<b>5,6</b>	<b>113</b>	<b>5,6</b>	<b>113</b>	<b>5,7</b>
<b>Estimations du CCME</b>										
<b>Juillet 1989</b>										
<b>TOTAL</b>	<b>140</b>	<b>10</b>	<b>144</b>	<b>11</b>	<b>155</b>	<b>11</b>	<b>164</b>	<b>12</b>	<b>176</b>	<b>13</b>

Le CCME a accepté ces estimations révisées, qui indiquaient que le secteur ferroviaire avait émis environ 132 kt de NO<sub>x</sub> en 1985. Cela représentait 11 % des émissions de NO<sub>x</sub> de toutes les sources mobiles et 7 % des émissions globales de NO<sub>x</sub> au Canada.

D'après les prévisions de l'ACFC, les émissions totales de NO<sub>x</sub> des locomotives devaient être d'environ 113 kt en 1990 et devaient se maintenir à peu près à ce niveau pendant la période de 15 ans allant de 1990 à 2005. Les estimations détaillées de l'ACFC sont présentées au tableau 1.

À la suite de la consultation, le CCME a élaboré l'initiative N304 dans la phase I du Plan de gestion pour les NO<sub>x</sub> et les COV (datée de novembre 1990). Cette initiative proposait l'imposition d'une «limite des émissions de NO<sub>x</sub> provenant des systèmes de transport ferroviaire au Canada, fixée à 115 kt/an (*sic*), à partir de 1992» (CCME, 1990).

L'ACFC avait suffisamment confiance en ses prévisions pour accepter la limite de

115 kt/a proposée par le CCME et pour offrir de se soumettre à une surveillance du respect de ce niveau d'émissions.

Par conséquent, la recommandation du CCME dans le cadre de l'initiative N304 de la phase I du Plan de gestion des NO<sub>x</sub> et des COV a été la suivante : «Qu'Environnement Canada, en consultation avec Transports Canada, les sociétés ferroviaires et [les] autres parties intéressées, établisse les modalités en matière de rapports [qui devront être respectées par les transporteurs ferroviaires et par les fabricants de locomotives], d'ici le 31 décembre 1991» (CCME, 1990).

## **1.2 Élaboration du document d'information**

Environnement Canada a nommé un chef de projet et des discussions ont eu lieu avec l'Association des chemins de fer du Canada entre juillet 1990 et août 1993. On a établi des contacts avec les organismes suivants :

**Transports Canada**

Direction de l'équipement, Sécurité ferroviaire, Groupe de surface

Personne ressource : Dennis Moore, conseiller principal, Force motrice

Centre de développement des transports

Personne ressource : Bill McLaren, chef, Technologie actuelle

**Office national des transports du Canada**

Personne ressource : D. Mowat, Gestion et coordination des programmes

**Statistique Canada**

Personne ressource : Angus MacLean, Transport ferroviaire

**Association des chemins de fer du Canada**

Personne ressource : Robert Ballantyne, président

Ces rencontres ont mené à la préparation de l'ébauche initiale du présent document d'information ainsi qu'à l'établissement des exigences de déclaration recommandées et d'une méthode de mise en oeuvre pour le Programme de surveillance des émissions des locomotives.

## **Le Programme de surveillance des émissions des locomotives (Programme SEL)**

### **2.1 Objectifs**

Les principaux objectifs du Programme SEL sont les suivants :

1. Surveiller les émissions des locomotives de l'industrie ferroviaire canadienne, compte tenu de l'engagement de l'industrie à limiter ses émissions de NO<sub>x</sub> à 115 kt/a. La surveillance se fera grâce à l'établissement annuel d'estimations des émissions de NO<sub>x</sub> et d'hydrocarbures. L'industrie déclarera aussi, pour information seulement, ses émissions de monoxyde de carbone (CO), de particules, de gaz carbonique (CO<sub>2</sub>) et de dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>).
2. Obtenir des sociétés ferroviaires canadiennes des rapports sur les émissions des locomotives permettant de répartir ces émissions entre les trois régions de gestion de l'ozone troposphérique densément peuplées où les émissions de NO<sub>x</sub> et, par conséquent, l'ozone troposphérique posent un problème plus critique et inquiétant. Ces trois régions sont le corridor Québec-Windsor, la vallée inférieure du Fraser et le sud des provinces de l'Atlantique.
3. Surveiller la mise en service de techniques nouvelles ou éprouvées qui contribueront à réduire les émissions de NO<sub>x</sub> des locomotives.
4. Quantifier les émissions de NO<sub>x</sub> résultant de l'exploitation des chemins de fer, par tonne-mille brute et tonne-mille nette pour le transport des marchandises et par voyageur-mille pour le transport des voyageurs.

### **2.2 Plan d'action**

Au cours de la consultation, on a décidé que la meilleure façon d'atteindre ces objectifs consistait, pour Environnement Canada, à préparer d'abord un document d'information sur les émissions des locomotives dans lequel on examinerait les données fournies par l'ACFC et on informerait l'industrie ferroviaire des exigences de déclaration et de surveillance recommandées.

Étant donné que les compétences de l'ACFC dans le domaine de l'exploitation et de la technologie ferroviaires ont été reconnues comme essentielles au succès du projet, on a soumis une ébauche du présent document d'information à cet organisme pour recueillir ses commentaires avant publication.

Le plan d'action du Programme SEL comprend les principales activités suivantes :

- Examiner l'inventaire des émissions et les statistiques d'exploitation utilisés par l'ACFC pour préparer son mémoire de 1989.



- Étudier et évaluer les divers facteurs influant sur les émissions des locomotives et décider lesquels doivent faire l'objet d'un rapport annuel.
- Établir des liens avec l'industrie de la fabrication de locomotives et le milieu de la recherche-développement pour évaluer la nouvelle technologie des locomotives, les carburants et les méthodes d'exploitation améliorées et pour déterminer dans quels secteurs il est probable qu'on réalisera des progrès en matière de mise en oeuvre et, par conséquent, de réduction des émissions.
- Préparer un document d'information justifiant et décrivant les exigences du Programme SEL.
- Préparer un protocole d'entente liant Environnement Canada, l'ACFC et, au besoin, les autres sociétés ferroviaires,

qui définira clairement les engagements de toutes les parties ainsi que la nature du Programme SEL.

- Produire le premier rapport annuel du Programme SEL.

### ***2.3 Méthode de mise en oeuvre***

Comme il a été convenu au cours des rencontres avec les représentants de l'industrie tenues en 1990 et 1991, le Programme SEL peut être mis en oeuvre par la signature d'un protocole d'entente énonçant les exigences et les engagements que doivent respecter toutes les parties visées par le Programme.

Les signataires du protocole d'entente comprendraient l'ACFC et ses sociétés membres, les autres sociétés ferroviaires canadiennes et Environnement Canada.

## **Le mémoire sur les émissions des locomotives préparé par l'ACFC en 1989**

Pendant la consultation du CCME sur les NO<sub>x</sub> et les COV, l'ACFC a fourni des inventaires des émissions des locomotives pour les années civiles 1975 à 1988. En utilisant les tendances observées dans ces données et en tenant compte des projets d'introduction de locomotives techniquement améliorées, l'ACFC a fait des prévisions des émissions annuelles en 1990, 1995, 2000 et 2005, qui sont présentées au tableau 1.

Le mémoire de l'ACFC est fondé sur les données suivantes :

- Des facteurs d'émission déterminés par l'Association of American Railroads (AAR) à la suite d'essais sur un échantillon de locomotives actuelles (AAR, 1988).
- Des données relatives au nombre de tonnes de marchandises transportées et à la consommation de carburant de 1975 à 1988 (Statistique Canada, 1988).
- Des améliorations continues de l'exploitation du parc de locomotives et du rendement du carburant ayant réduit la consommation globale de carburant par tonne-mille brute et tonne-mille nette de 16 et 20 % respectivement au cours de la période de 13 ans comprise entre 1975 et 1988.
- Un parc actuel d'environ 3 400 locomotives, avec un programme

de remplacement devant débuter en 1995 à raison de 40 locomotives par année, soit un taux de remplacement de 1 % par année; les nouvelles locomotives auront un rendement énergétique plus élevé et émettront 10 % de moins de NO<sub>x</sub> que les locomotives actuelles.

Les conclusions les plus importantes qu'on peut tirer du mémoire de l'ACFC sont les suivantes :

1. Même si, dans l'inventaire d'Environnement Canada, on avait estimé les émissions de NO<sub>x</sub> du secteur ferroviaire à 140 kt en 1985, l'ACFC estimait ces émissions à 132 kt, à partir de données plus récentes sur les facteurs d'émission.
2. Environnement Canada avait prévu une augmentation des émissions de NO<sub>x</sub> des locomotives de 1990 à 2005; toutefois, comme l'ACFC prévoyait une augmentation du rendement énergétique des locomotives existantes et l'acquisition de locomotives à rendement plus élevé, son estimation des émissions de NO<sub>x</sub> indiquait une réduction des émissions totales à 113 kt dès 1990. Les prévisions de l'ACFC jusqu'à 2005 indiquaient également que les émissions resteraient stables à ce niveau ou aux environs.

3. Le service de transport des voyageurs offert presque exclusivement par VIA Rail contribuait pour un maximum de 10 % aux émissions de NO<sub>x</sub> des locomotives. On pensait qu'à la suite des réductions récentes dans ce service, cette proportion passerait à moins de 5 % du total. Les émissions combinées de NO<sub>x</sub> pour le transport des voyageurs et des marchandises au cours de la période allant de 1990 à 2005 devraient donc se situer en deçà de la limite de 115 kt/a proposée dans le Plan de gestion pour les NO<sub>x</sub> et les COV.
4. Les émissions de COV du secteur ferroviaire étaient de 7 kt en 1985, et on prévoyait qu'elles resteraient égales ou inférieures à ce niveau jusqu'en 2005. Cela représente moins de 1 % des prévisions globales des émissions de COV d'origine anthropique au Canada. Bien qu'on n'ait pas tenu compte des émissions de COV des locomotives au cours de la phase I du Plan de gestion pour les NO<sub>x</sub> et les COV, on pourrait les inclure dans les initiatives de la phase II.

## Facteurs influant sur les émissions des locomotives

Dans la préparation des estimations des émissions et du rapport annuel, on doit tenir compte des facteurs suivants, qui influent sur les émissions de NO<sub>x</sub> et de COV des locomotives ainsi que sur la formation de l'ozone troposphérique :

**Nombre et types de locomotives.** Le nombre, le type de moteur, la puissance nominale, l'âge et le rendement énergétique des locomotives du parc canadien.

**Régime d'utilisation.** Le coefficient d'utilisation, le type de service (transport de ligne ou manoeuvres) et le type de train (p. ex., train de voyageurs, train charbonnier, train de marchandises mixtes ou train de transport intermodal).

**Relief du terrain.** Les effets des pentes et des virages.

**Facteurs d'émission.** Les émissions de polluants par unité de travail ou de carburant utilisée.

**Qualité du carburant.** L'aptitude du carburant à s'enflammer, sa teneur en soufre et d'autres facteurs qui pourraient avoir un effet sur les taux d'émission de polluants.

**Facteurs d'utilisation.** La quantité de carburant consommée, le nombre de milles parcourus, le nombre d'heures d'exploitation ainsi que le nombre de

tonnes-milles brutes et de tonnes-milles nettes.

**Émissions régionales.** Les émissions dans les trois régions de gestion de l'ozone troposphérique densément peuplées sont plus inquiétantes que celles se produisant dans des régions où les concentrations d'ozone sont plus faibles.

**Temps de marche à vide.** Il s'agit d'un facteur important en ce qui concerne les émissions dans les gares de triage et les terminaux situés dans les régions où il y a un problème d'ozone.

**Facteurs saisonniers.** Par une chaude journée ensoleillée, les émissions de NO<sub>x</sub> produisent davantage d'ozone troposphérique que pendant une journée froide d'hiver.

**Techniques, carburants et autres mesures de limitation des émissions.** La remise à neuf des moteurs existants pour limiter les émissions et l'utilisation de nouveaux moteurs à rendement du carburant élevé, de nouvelles formulations de carburant et des carburants de remplacement sont autant de moyens qu'on pourrait mettre en oeuvre pour réduire les émissions.

**Amélioration du rendement du carburant.** Des changements dans les méthodes d'exploitation pourraient être apportés pour réduire encore davantage les émissions.

On examinera tous ces facteurs dans les sections suivantes pour déterminer s'ils devraient être inclus dans le rapport annuel du Programme SEL.

#### **4.1 Le parc de locomotives canadien**

D'après les données fournies par l'ACFC, le parc de locomotives canadien comprend environ 3 400 locomotives. Les tableaux 2 et 3 en présentent la répartition d'après leur régime d'utilisation, leur marque, leur puissance nominale, leur âge et la compagnie qui les exploite.

En général, les locomotives sont réparties et exploitées dans l'ensemble du pays. Les locomotives MLW (Montreal Locomotive Works) de CN Amérique du Nord et du Réseau CP Rail font toutefois exception à cette règle : elles sont toutes basées dans l'est du Canada.

Généralement, les unités de puissance élevée (3 000 - 4 000 HP) sont affectées au transport sur de longues distances et les unités moins puissantes (1 200 - 2 000 HP) sont utilisées pour les manœuvres et pour les services locaux. On tend à utiliser au maximum les unités modernes à rendement élevé, tandis que les unités plus anciennes sont utilisées en période de pointe et pour répondre aux besoins des services locaux.

Environ 30 % des locomotives du parc canadien, principalement celles de faible puissance, ont été mises en service vers la fin des années 50, pendant la «diésélisation» des chemins de fer canadiens. Grâce à un programme efficace de remise à neuf des locomotives, certaines unités introduites à cette époque sont toujours en service. Le parc de locomotives s'est graduellement modernisé

grâce à la lente et prudente intégration de nouveaux systèmes techniques.

Quatre-vingts pour cent du parc est constitué de locomotives GM/EMD (General Motors/ElectroMotive Division) fabriquées par la Division des moteurs diesel de General Motors à London (Ontario). Les autres sont des locomotives GE (Générale électrique), des automotrices pour voyageurs Budd et des locomotives Alco/MLW/Bombardier, ces dernières fabriquées à Montréal (Québec). La société CN Amérique du Nord (alors connue sous le nom de Compagnie des chemins de fer nationaux du Canada) a acheté 30 locomotives GE en 1990 et en a ajouté 25 autres à son parc en 1992.

Les locomotives GM/EMD sont mues par des moteurs diesel à deux temps et à régime moyen, principalement le moteur EMD 16V-645E, un modèle ancien de 2 000 HP muni d'une soufflante Roots à suralimentation, et le modèle 16V-645E3, un moteur plus récent turbocompressé de 3 000 HP. On dispose de facteurs d'émission pour ces deux moteurs, à la suite d'essais réalisés par l'AAR au début des années 80 (AAR, 1988).

Les unités MLW et GE sont mues par des moteurs diesel à quatre temps et à régime moyen. On dispose de données d'essais de l'AAR sur les émissions du moteur de la locomotive GE (AAR, 1988). Les locomotives Alco/MLW/Bombardier, qui sont équipées du moteur diesel à quatre temps 251, représentent environ 18 % du parc; cette proportion est appelée à diminuer car ces locomotives ne sont plus vendues au Canada. On n'a pas de données sur les émissions de ces locomotives; toutefois, il est raisonnable de penser qu'elles seraient analogues à celles de la locomotive GE, qui est aussi équipée

**Tableau 2 Parc de locomotives canadien (1990) - Transport de ligne**

Fabricant	Moteur	Puissance (HP)	Année	Total	CN	CP	VIA Rail	BC Rail	Réseau GO	Autres
GM/EMD	16V-710G3	3 800		64	64					
	12V-710G3	3 000		42					42	
	16V-645F3B	3 600		60	60					
	16V-645E3B	3 000	84-85	245		138		30	18	59
	16V-645E3C	3 000		59			59			
	16V-645E3M	3 000	88-89	25		25				
	16V-645E3	3 000	66-82	1 057	636	421				
	16V-645D3A	2 250	64-66	23		23				
	16V-645D3	2 250	63	2		2				
<b>TOTAL</b>				<b>1 577</b>	<b>760</b>	<b>609</b>	<b>59</b>	<b>30</b>	<b>60</b>	<b>59</b>
MLW	16V-251F	3 600		32			8			24
	16V-251F	3 000	69-70	92	49	43				
	16V-251E	3 000	69-70	79	44	35				
	18V-251F	4 000	71	1		1				
	CAT-3608	3 100	70	1		1				
	16V-251C	2 500		9				9		
	16V-251B	2 400	65-66	51		51				
	<b>TOTAL</b>				<b>265</b>	<b>93</b>	<b>131</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>0</b>
GE	16V-7FDL-16	4 000		52	30			22		
BUDD	Automotrices pour voyageurs	550		14			5	9		
<b>TOTAL - Transport de ligne</b>				<b>1 894</b>	<b>883</b>	<b>740</b>	<b>67</b>	<b>61</b>	<b>60</b>	<b>83</b>

**Tableau 3 Parc de locomotives canadien (1990) - Service local et manoeuvres**

Fabricant	Moteur	Puissance (HP)	Année	Total	CN	CP	VIA Rail	BC Rail	Réseau GO	Autres
GM/EMD	16V-645E	2 000	70-86	281	112	136				33
	16V-645C	1 800		191	150		21			20
	16V-645C	1 750	80-90	206		206				
	16V-645BC	1 500	81-84	12		12				
	16V-567C	1 750		104	88					16
	16V-567B	1 500	83	2		2				
	12V-645E	1 500		3						3
	12V-645C	1 350		8	8					
	12V-645C	1 200	58-60	128	57	71				
	12V-567C	1 200		172	172					
	8V-645E	1 200		3			3			
	8V-567C	900	84-85	19	5	2				12
	8V-567B	800	84	4		2				2
<b>TOTAL</b>				<b>1 133</b>	<b>592</b>	<b>431</b>	<b>24</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>86</b>
MLW	12V-251C3	2 000		85	85					
	12V-251C	2 000		29				18		11
	12V-251C	1 800	80-90	69		69				
	12V-251B	1 800		65	17			27		21
	12V-251B	1 400		15	15					
	61-251B/C	1 000		1				1		
	61-251BB	1 000	59-60	56	22	34				
<b>TOTAL</b>				<b>320</b>	<b>139</b>	<b>103</b>	<b>0</b>	<b>46</b>	<b>0</b>	<b>32</b>
<b>TOTAL - Service local et manoeuvres</b>				<b>1 453</b>	<b>731</b>	<b>534</b>	<b>24</b>	<b>46</b>	<b>0</b>	<b>118</b>
<b>TOTAL GLOBAL</b>				<b>3 347</b>	<b>1 614</b>	<b>1 274</b>	<b>91</b>	<b>107</b>	<b>60</b>	<b>201</b>

d'un moteur à quatre temps de même cylindrée produisant la même puissance.

Les caractéristiques générales de la plupart de ces moteurs sont indiquées au tableau 4. Un seul moteur Caterpillar est utilisé dans une locomotive du Réseau CP Rail, et BC Rail possède 12 moteurs Caterpillar de la série 3500 montés sur de vieilles locomotives manoeuvres-ligne MLW.

La technologie des moteurs de locomotive a évolué lentement en raison de l'importance attachée par l'industrie à la fiabilité et à la durabilité. Toutefois, à mesure que de nouveaux modèles ont été mis au point et que la puissance nominale des moteurs augmentait, les économies de carburant ont augmenté et le niveau des émissions d'échappement a diminué.

La figure de la page suivante illustre les réductions importantes des émissions de CO, d'hydrocarbures et de NO<sub>x</sub> obtenues avec des modèles successifs du moteur GM/EMD. L'ACFC a prévu d'autres réductions des émissions pour les

moteurs plus récents; en particulier, leurs émissions de NO<sub>x</sub> devraient être inférieures de 10 % à celles des moteurs actuels.

D'après des discussions avec un fabricant de locomotives, soit la Division des moteurs diesel de General Motors, le niveau de réduction des émissions qu'on peut espérer avec la nouvelle génération de moteurs dépend beaucoup des pressions exercées par les organismes de réglementation comme l'Environmental Protection Agency (EPA) des États-Unis, le California Air Resources Board (CARB) et Environnement Canada.

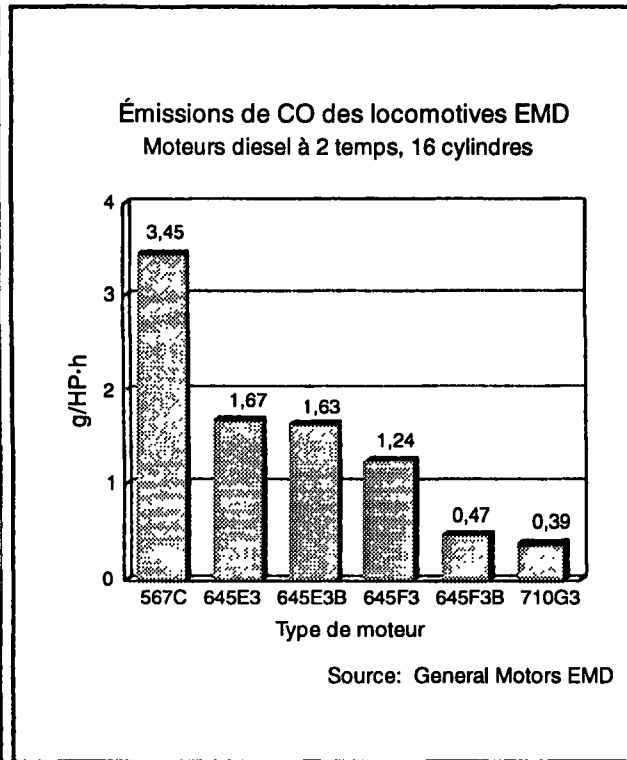
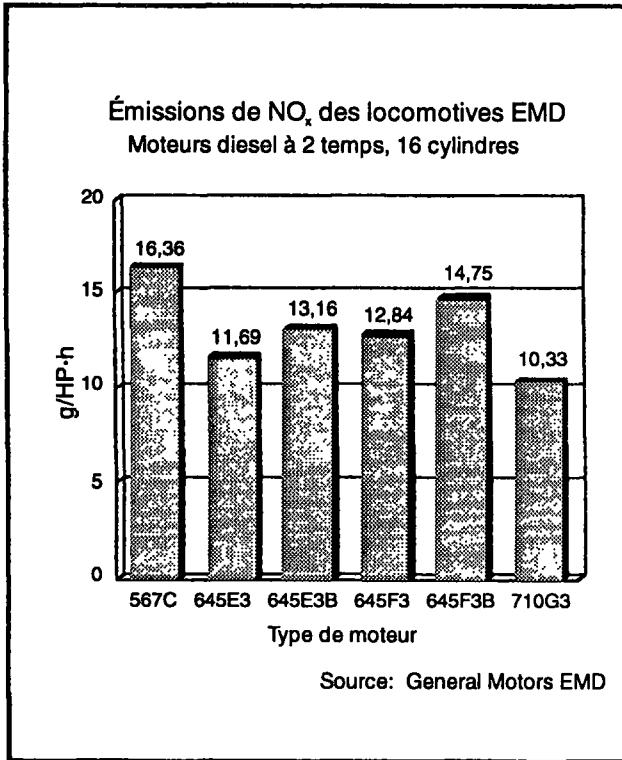
Aux États-Unis, les modifications récemment apportées à la *Clean Air Act*, qui exigent que l'EPA établisse des règlements applicables aux émissions des locomotives d'ici 1995, motiveront les fabricants de locomotives à optimiser leurs moteurs de manière à en réduire les émissions.

La prévision de l'ACFC selon laquelle la réduction des émissions de NO<sub>x</sub> serait de

**Tableau 4 · Caractéristiques actuelles des moteurs de locomotives**

Fabricant	GM/EMD		GE	Caterpillar	
Modèle	645	710	FDL	3500	3600
Cycle	Deux temps	Deux temps	Quatre temps	Quatre temps	Quatre temps
Alésage (po)	9,062 5	9,062 5	9	6,69	11,02
Course (po)	10	11	10,5	7,48	11,81
Cylindrée unitaire (po <sup>3</sup> )	645	710	668	263	1 123
Régime nominal maximal (tr/min)	900	900	1 050	1 800	900
Puissance maximale par cylindre (HP)	238	267	256	130	400
Nombre de cylindres	V8, V12 V16, V20	V8, V12 V16, V20	V12, V16	V8, V12 V16	V6, V8 V12, V16

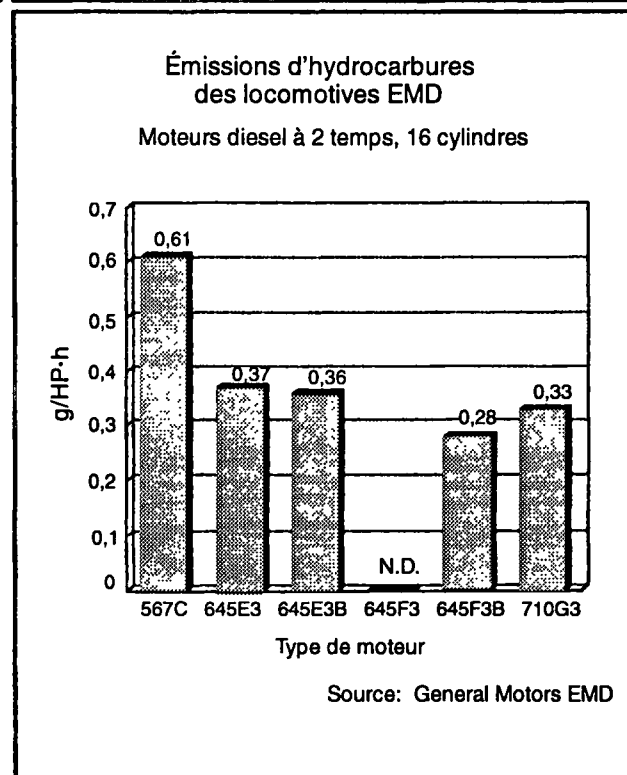





---

Les émissions sont calculées  
d'après la puissance au frein  
au cran de marche le plus  
élevé (8).

---



N.D. = non disponible  
Source : CARB, 1990.

Figure Évolution des émissions d'échappement des moteurs des locomotives EMD

10 % pour les nouvelles locomotives à partir de 1995 se réalisera fort probablement, étant donné les développements technologiques actuellement mis en oeuvre par les fabricants de locomotives.

**Recommandation.** Comme l'évolution de la technologie des moteurs influe sur les émissions de NO<sub>x</sub>, le Programme SEL, pour être efficace, doit exiger que chacune des sociétés ferroviaires canadiennes fournisse chaque année des données sur la composition de son parc de locomotives et sur la réalisation de son programme de remplacement des locomotives.

## **4.2 Régimes d'utilisation des locomotives**

Les locomotives sont utilisées pour divers types de services répartis en deux grandes catégories, soit le transport des voyageurs et le transport des marchandises.

### **4.2.1 Transport des voyageurs**

Les trains de voyageurs roulent généralement à grande vitesse sur de longues distances. Ils sont remorqués par des locomotives dont le moteur (EMD F40PH-2) est spécialement conçu pour tourner à un régime constant afin de fournir un courant de 60 Hz pour le chauffage, l'éclairage, le conditionnement d'air et les autres services auxiliaires.

Au Canada, le service de transport des voyageurs diminue depuis 1970. Avant les dernières réductions, VIA Rail assurait plus de 90 % de ce service au Canada; cela ne représentait toutefois que 3 % du transport interurbain des voyageurs, qui s'effectue avant tout en avion, en voiture et en autocar.

Selon les estimations les plus récentes, d'après la consommation d'énergie, le transport interurbain des voyageurs représente moins de 5 % de l'ensemble des activités ferroviaires au Canada. On pense que les émissions qu'il produit ne sont pas importantes comparativement à celles des autres services de transport ferroviaire.

Le Réseau GO de trains de banlieue de la région de Toronto est un autre service actif de transport des voyageurs; les trains sont principalement remorqués par des locomotives F59PH.

**Recommandation.** À part les données sur la consommation totale de carburant et sur les émissions, il n'est pas nécessaire de fournir des renseignements détaillés sur le transport des voyageurs dans le cadre du Programme SEL. Toutefois, s'il apparaissait que l'impact des émissions de NO<sub>x</sub> des trains de voyageurs augmente ou est supérieur à ce qui avait été estimé à l'origine, on pourrait ajouter ultérieurement une exigence prévoyant l'inclusion de renseignements détaillés sur le transport des voyageurs.

### **4.2.2 Transport des marchandises**

Les émissions des locomotives sont fonction de la charge imposée au moteur ou du travail effectué. Cela est particulièrement vrai dans le cas des émissions de NO<sub>x</sub>. On peut déterminer le travail effectué par une locomotive si l'on connaît le temps passé à chaque cran de marche. Le régime d'utilisation d'une locomotive est donc défini par le cran de marche et le profil temporel.

Les estimations des émissions établies par l'ACFC différencient seulement deux régimes d'utilisation pour le transport des

marchandises, à savoir le transport de ligne et les manoeuvres. Par ailleurs, l'étude sur les émissions des locomotives en Californie (CARB, 1990) définit quatre régimes d'utilisation ou services différents :

**Transport de marchandises intermodal.**

Il s'agit de trains réservés au transport de remorques et de conteneurs sur des wagons plats. Ces trains roulent à des vitesses plus élevées (crans de marche supérieurs) et ont une puissance massique (HP/tonne) plus grande que les autres trains; ils utilisent habituellement des locomotives modernes très rapides et puissantes.

**Transport de marchandises mixtes.** Il s'agit de trains composés de toutes sortes d'éléments (wagons-citernes, wagons couverts, wagons-tombereaux, etc.). Ils sont les trains les plus courants et leur puissance massique varie beaucoup.

**Service de trains locaux.** Ce service est caractérisé par une combinaison de service mixte et de manoeuvres. En général, il comprend le déplacement de trains mixtes sur de courtes distances et des opérations de triage, ainsi que l'accrochage et le décrochage de wagons en chemin. La puissance massique de ces trains est faible, et ils utilisent d'anciennes locomotives de puissance moyenne.

**Service de manoeuvres.** Les manoeuvres sont caractérisées par des mouvements très fréquents d'arrêt et de démarrage. On utilise normalement de vieilles locomotives de faible puissance.

Pour les besoins du Programme SEL, une telle ventilation n'est toutefois pas jugée nécessaire dans le cas du Canada. En effet, comme une grande partie de

l'économie canadienne repose sur le transport des ressources naturelles sur de grandes distances, le transport de marchandises en vrac ou par train-bloc est important. D'après Statistique Canada (1988), le charbon, le minerai de fer et le blé représentaient 41 % de toutes les marchandises transportées par train au pays en 1988. Les trains pour marchandises en vrac ont une puissance massique faible et un rendement du carburant très élevé. L'ACFC a tenu compte des trains-blocs et des trains pour marchandises en vrac dans ses estimations des émissions (ACFC, 1989).

Les émissions des locomotives dépendent du rendement énergétique de chacun de ces types de transport des marchandises et, à l'échelle nationale, de la combinaison de ces services qui est utilisée. Le tableau 5, tiré de l'étude sur les émissions en Californie, montre des valeurs typiques du rendement du carburant pour différents services (CARB, 1990).

L'ACFC a fait des estimations analogues du rendement énergétique en utilisant son modèle de calcul du rendement des trains (Train Performance Calculator, ou TPC). Les résultats indiquent qu'en ce qui concerne le rendement du carburant, les trains pour marchandises en vrac et les trains-blocs présentent un avantage marqué par rapport aux trains de remorques sur wagons plats (tableau 6).

En général, le rendement énergétique d'une société ferroviaire est mesuré en tonnes-milles brutes ou en tonnes-milles nettes par unité d'énergie consommée. En 1987, les opérations de transport des marchandises des sociétés ferroviaires canadiennes ont eu un rendement moyen de 725 tonnes-milles

**Tableau 5 Données sur les opérations ferroviaires en Californie (1987)**

Type de train	Marchandises transportées		Carburant consommé		Rendement (tonnes-milles brutes par gallon US)
	(10 <sup>6</sup> tonnes-milles brutes)	(%)	(10 <sup>3</sup> gallons US*)	(%)	
Marchandises mixtes	28 226	55,1	54 395	38,4	522
Transport intermodal	15 190	29,6	40 640	28,7	375
Trains locaux	6 831	13,3	29 086	20,6	235
Manoeuvres	--	--	12 498	8,8	--
Trains de voyageurs	1 033	2	4 910	3,5	210
<b>TOTAL</b>	<b>51 280</b>	<b>100</b>	<b>141 529</b>	<b>100</b>	<b>400</b>

Source: CARB, 1990.

brutes par gallon impérial\*\* (TMB/gal) de carburant (Statistique Canada, 1988). Ce chiffre se compare bien aux 723 TMB/gal indiquées par l'AAR (1988), mais ces deux valeurs diffèrent considérablement des 480 TMB/gal rapportées dans l'étude sur les émissions en Californie (CARB, 1990).

La différence importante dans le rendement du carburant entre la Californie et l'ensemble des États-Unis et du Canada tient fort probablement à ce qu'il y a moins de trains-blocs en Californie, qu'on y effectue une proportion plus élevée de manoeuvres (la Californie étant un grand terminus pour la plupart des lignes) et que le relief y est accidenté. Ensemble, ces facteurs contribuent à réduire le rendement du carburant dans cette région.

Les divers services de transport des marchandises peuvent être caractérisés par des profils du temps passé à chacun des crans de marche des locomotives.

Le tableau 7 illustre des profils estimés, d'après lesquels on peut calculer les émissions à l'aide des résultats des essais menés par l'AAR (AAR, 1988).

Si l'on choisit de surveiller les émissions des locomotives d'après la consommation de carburant, il est utile de déterminer si les émissions varient en fonction du régime d'utilisation. À cette fin, l'ACFC a calculé des facteurs d'émission en utilisant des données sur les émissions et la consommation de carburant du moteur de locomotive 16V-645E3, qui est normalement utilisé pour le transport de ligne. Les résultats indiquent que, pour des régimes d'utilisation variant de 70 % du temps en marche à vide et 9 % au cran 8 à 100 % du temps au cran 8, les émissions de NO<sub>x</sub>, en grammes par gallon impérial de carburant, varient de moins de 2 % (tableaux 8, 9 et 10).

\* 1 gallon US = 3,785 L

\*\* 1 gallon impérial = 4,546 L

**Tableau 6 Consommation de carburant par millier de tonnes-milles brutes (en gallons impériaux)\***

Type de train	Paires de grandes villes canadiennes					National	Courts corridors urbains		
	Halifax - Montréal	Montréal - Toronto	Toronto - Winnipeg	Winnipeg - Edmonton	Edmonton - Vancouver	Halifax - Vancouver	Montréal - Cornwall	Winnipeg - Portage-la- Prairie	Vancouver - Chilliwack
100 wagons de charbon	**	**	**	0,85	0,82	0,85	**	**	0,82
Wagons couverts (48 chargés et 32 vides)	0,94	0,83	0,84	0,82	0,85	0,86	0,80	0,80	0,85
90 conteneurs sur wagons plats à deux niveaux de chargement	1,07	0,98	0,96	0,95	0,92	0,97	0,94	0,93	0,97
80 remorques sur wagons Five-Pak (5 wagons reliés par un attelage semi-permanent)	1,11	1,03	0,99	1,00	0,96	1,01	1,01	0,99	1,00

\* Moyenne des voyages du CN en direction est et ouest, d'après le modèle TPC (Train Performance Calculator) du CN. Tous les trains sont remorqués par deux locomotives GF-638 de 3 800 HP.

\*\* Sans objet; il n'y a pas de trains charbonniers sur ces itinéraires.

**Tableau 7 Profils estimés des crans de marche - Transport de marchandises**

Crans de marche	Marche à vide	Pourcentage du temps								Freinage
		1	2	3	4	5	6	7	8	
ACFC - Marchandises	60	4	4	4	4	4	4	4	12	0
ACFC - Embranchements et manoeuvres	81	2	2	2	2	2	2	2	5	0
Californie - Marchandises mixtes	49	4	4	4	4,5	4,5	4	3	11	12
Californie - Transport intermodal	55	3	3	4	4	4	4	3	10	10
GE - Transport de ligne	50	5	5	3	4	4	3	3	14	4
EMD - Transport de ligne (charge moyenne)	46	4	4	4	4	4	4	4	17	9
Californie - Manoeuvres	82	4	4	3	3	1	0	0	2	0
Californie - Service local	47	9	8	8	7	4	3	3	7	4

**Tableau 8 Puissance des moteurs et consommation de carburant selon le cran de marche**

Cran de marche	Puissance au frein (HP)	Consommation de carburant (lb/h)	Rendement du carburant (lb/HP·h)
À vide	18	42	2,333
1	106	83	0,783
2	351	154	0,439
3	666	281	0,422
4	992	389	0,392
5	1 440	548	0,381
6	1 934	714	0,369
7	2 766	1 020	0,369
8	3 267	1 202	0,368

Source : CN, 1991.

**Tableau 9 Pourcentage du nombre total d'heures d'exploitation passé à chaque cran de marche pour divers régimes d'utilisation**

Cran de marche	Régime d'utilisation							
	Marche à vide constante	Manoeuvres	Manoeuvres-ligne	Charge légère	Train de marchandises	Charge moyenne	Charge lourde	Plein régime constant
Marche à vide	100	77	81	70	60	55	49	0
1	0	7	2	3	4	4	3	0
2	0	7	2	3	4	4	3	0
3	0	4	2	3	4	4	3	0
4	0	2	2	3	4	4	3	0
5	0	1	2	3	4	4	3	0
6	0	0,5	2	3	4	4	3	0
7	0	0,5	2	3	4	4	3	0
8	0	1	5	9	12	17	30	100

Source : CN, 1991.

Le CN a réalisé des essais sur les émissions de 15 locomotives de 3 000 HP munies de moteurs GM 16V-645E-3. Les moteurs ont été en marche pendant 95 % de la durée des essais; les locomotives ont fonctionné 8 322 h par année, parcourant plus de 8 000 milles par mois. Le carburant avait une teneur en soufre de 0,31 % (données normalisées à 0,1 % en fonction des conditions au Canada); sa densité était de 0,853 et sa teneur estimative en carbone de 86,5 %. Le CN a utilisé les facteurs d'émission de l'American Association of Railways (AAR, 1988).

La même analyse, appliquée au régime d'utilisation des manoeuvres, indique une variation d'environ 10 %. Toutefois, les données sur la consommation de carburant fournies à Statistique Canada montrent que les manoeuvres comptent pour un faible pourcentage du carburant utilisé, soit environ 7 % (Statistique Canada, 1988). Par conséquent, la variation des émissions de NO<sub>x</sub> résultant de différents régimes d'utilisation pour les manoeuvres aura peu d'impact sur l'exactitude des estimations globales des émissions de NO<sub>x</sub> si les données sur les émissions sont obtenues à partir des données générales sur la consommation de carburant.

**Recommandation.** Il semble qu'il y ait peu d'avantage à déclarer ou à surveiller

de manière détaillée les régimes d'utilisation dans le cadre du Programme SEL. À moins de changements importants dans les régimes d'utilisation du parc de locomotives canadien, il devrait suffire de surveiller la consommation de carburant pour les catégories générales du transport des voyageurs, du transport des marchandises et des manoeuvres, comme le fait actuellement l'ACFC.

### 4.3 Relief du terrain

Le relief du terrain, comme la présence de pentes ou de courbes, influe sur le rendement du carburant. En effet, pour faire gravir une pente à un train, il faut dépenser plus d'énergie que pour le

**Tableau 10 Effets de divers crans de marche sur les facteurs d'émission**

Régime d'utilisation	Consommation annuelle de carburant (gallons impériaux)	Consommation de carburant par locomotive-mille (gallons impériaux)	Facteurs d'émission (grammes par gallon impérial)					
			NO <sub>x</sub>	CO	Hydrocarbures	SO <sub>2</sub>	Particules	CO <sub>2</sub>
Marche à vide constante	40 976	0,43	283,3	122	48,4	23,8	15,2	12 272
Manoeuvres	91 825	0,96	266,6	62,6	24,0	23,8	7,7	12 272
Manoeuvres-ligne	154 050	1,6	253,3	57,8	17,6	23,8	6,5	12 272
Charge légère	227 562	2,37	249,9	51	14,1	23,8	6	12 272
Train de marchandises	289 758	3,02	248,3	47,7	12,4	23,8	5,9	12 272
Charge moyenne	346 343	3,61	247,6	47,1	11,6	23,8	6,3	12 272
Charge lourde	456 222	4,85	247	47,6	10,7	23,8	6,7	12 272
Plein régime constant	1 170 000	12,22	245,6	47,1	9,0	23,8	6,2	12 272

Source : CN, 1991.

Le CN a réalisé des essais sur les émissions de 15 locomotives de 3 000 HP munies de moteurs GM 16V-645E-3. Les moteurs ont été en marche pendant 95 % de la durée des essais; les locomotives ont fonctionné 8 322 h par année, parcourant plus de 8 000 milles par mois. Le carburant avait une teneur en soufre de 0,31 % (données normalisées à 0,1 % en fonction des conditions au Canada); sa densité était de 0,853 et sa teneur estimative en carbone de 86,5 %. Le CN a utilisé les facteurs d'émission de l'American Association of Railways (AAR, 1988).



remorquer en terrain plat. De plus, pour maintenir des gradients relativement faibles et constants en régions montagneuses, il faut aménager un plus grand nombre de courbes, ce qui diminue encore plus le rendement en raison du frottement plus important et des pertes accrues à l'interface rail-roue. Enfin, dans les descentes, l'énergie potentielle du train est dissipée sous forme de chaleur pendant le freinage.

Dans les trois régions de gestion de l'ozone troposphérique, les pentes ne constituent pas un facteur de grande importance; par conséquent, toute estimation des émissions de NO<sub>x</sub> basée sur des données générales devrait pécher par excès.

**Recommandation.** La surveillance de la consommation de carburant dans le cadre du Programme SEL permettra de tenir compte des facteurs généraux relatifs au relief. Toutefois, on devrait rassembler des données sur la consommation de carburant dans les trois régions de gestion de l'ozone troposphérique. On pourrait tirer ces données des informations sur les tonnes-milles brutes compilées pour chaque district ferroviaire.

#### 4.4 *Facteurs d'émission*

On ne possède pas de données d'essais sur les émissions pour tous les modèles de moteurs de locomotives utilisés au Canada. Le tableau 11 énumère les moteurs pour lesquels on dispose de données, provenant de l'étude du California Air Resources Board (CARB, 1990). On n'a pas de données pour les locomotives MLW.

Il est nécessaire de calculer des facteurs d'émission améliorés pour les locomotives. En effet, les données de l'AAR utilisées

par l'ACFC ont été obtenues avec des locomotives en service; aucun véhicule témoin n'a été utilisé pour permettre une comparaison avec des niveaux de référence déterminés.

Il n'y a pas de régime d'utilisation standard pour calculer des facteurs d'émission pour les moteurs de locomotives, ni de mode opératoire normalisé comme la méthode d'essai en régime transitoire de l'EPA, qui sert à caractériser le régime d'utilisation des camions et des autocars. Nous n'en sommes pour le moment qu'à l'élaboration de données de référence pour les locomotives.

Parmi les locomotives du parc canadien, 40 % sont munies de moteurs GM/EMD 16V-645E et E3, mais leur consommation de carburant représente de 70 à 80 % du total canadien. Les facteurs d'émission établis par l'ACFC pour le transport des marchandises et les manoeuvres sont basés sur les résultats d'essais relatifs aux émissions rapportés par l'AAR (1988) et sur les régimes d'utilisation déterminés par l'ACFC (profils des crans de marche, tableau 7). Ces facteurs d'émission sont présentés au tableau 12.

Les résultats des essais relatifs aux émissions rapportés par General Motors et par l'AAR varient considérablement entre différents moteurs du même modèle et entre différents essais effectués sur le même moteur.

Aux fins du Programme SEL, les émissions des locomotives ne seront pas mesurées directement mais feront plutôt l'objet d'une surveillance indirecte grâce à la compilation de statistiques sur l'exploitation des locomotives. La

**Tableau 11 Moteurs pour lesquels on dispose de facteurs d'émission**

Modèle de moteur	Modèle de locomotive	Puissance au frein (HP)
<b>Locomotives GM/EMD</b>		
12-567BC	SW10	1 200
12-645E	SW1500 / MP15 / GP15-1	1 500
16-567C	GP9	1 800
16-645E	GP38 / GP38-2 / GP28	2 000
12-645E3B	GP39-2	2 300
12-645E3	GP39-2 / SD39	2 300
16-645E3	GP40 / SD40 / F40PH	3 000
16-645E3B	GP40-2 / SD40-2 / SDF40-2 / F40PH	3 000
16-645F3	GP40X / GP50 / SD45	3 500
16-645F3B	SD50	3 600
20-645E3	SD45 / SD45-2 / F45 / FP45	3 600
16-710G3	GP60 / SD60 / SD60M	3 800
<b>Locomotives GE</b>		
127FDL 2500	B23-7	2 500
127FDL 3000	SF30B	3 000
167FDL 3000	C30-7 / SF30C	3 000
167FDL 4000	B40-8	4 000

Source : CARB, 1990.

**Tableau 12 Facteurs d'émission estimés par l'ACFC (grammes par gallon impérial)**

Secteur	Hydrocarbures	CO	NO <sub>x</sub>	SO <sub>x</sub>	Particules
Transport des marchandises	12	48	248	24	6
Manoeuvres	16	47	277	24	7
Transport des voyageurs	12	48	248	24	6

consommation de carburant constitue la meilleure statistique dont on dispose pour surveiller les émissions découlant d'opérations ferroviaires, car elle tient compte du régime d'utilisation, du type de service et du relief du terrain.

**Recommandation.** L'objectif du Programme SEL est de surveiller d'une année à l'autre les émissions totales de NO<sub>x</sub> pour déterminer si elles sont inférieures à la limite proposée. Vu l'absence de résultats plus précis obtenus

au cours d'essais sur les émissions, on considère que l'ensemble de facteurs d'émission établi par l'ACFC pour le transport des marchandises convient actuellement aux fins du Programme. Il faudrait signaler chaque année toutes les nouvelles données sur les émissions qui modifieraient de façon significative les estimations des émissions globales de  $\text{NO}_x$ . Au besoin, tout nouveau facteur d'émission élaboré récemment sera utilisé pour recalculer l'inventaire des émissions totales, et une limite révisée sera établie pour les émissions de  $\text{NO}_x$ .

#### **4.5 Propriétés et qualité du carburant**

Les propriétés du carburant diesel, comme l'indice de cétane, la teneur en composés aromatiques et la teneur en soufre, peuvent influencer sur les émissions par unité de carburant consommée. Le point de figeage et le point d'écoulement sont aussi, selon la saison, deux caractéristiques importantes des carburants pour locomotives.

En raison de leur taille importante, de leur régime relativement faible et du fait qu'ils sont rarement arrêtés, les moteurs de locomotives tolèrent mieux le carburant que les moteurs diesel à régime élevé pour camions.

En 1989 et 1990, l'AAR a effectué des essais sur les moteurs GM/EMD 16V-645E3B et GE 7FDL, en vue de vérifier si les émissions variaient en fonction de propriétés du carburant comme la teneur en soufre, la teneur en composés aromatiques et l'indice de cétane. Les résultats ont indiqué que ces moteurs étaient relativement insensibles à des variations de la teneur en soufre de 0,01 à 0,33 %, de la teneur en composés

aromatiques de 15,6 à 30,8 % et de l'indice de cétane de 44 à 54. L'AAR effectuera bientôt d'autres essais dans ce domaine.

Les essais sur les émissions des locomotives effectués par l'AAR portaient sur des carburants conformes aux spécifications pour le carburant diesel n° 2 de l'ASTM (American Society for Testing and Materials).

Les deux principales sociétés ferroviaires canadiennes, soit CN Amérique du Nord et le Réseau CP Rail, ont leur propre spécification pour le carburant diesel; elles achètent du carburant de divers fournisseurs et de diverses sources au prix le plus avantageux. Selon des informations fournies par CN Amérique du Nord, pour ses opérations dans l'Ouest canadien, cette société profite du faible prix du carburant diesel produit à partir de pétrole synthétique; ce carburant a généralement une faible teneur en soufre (moins de 0,05 %), mais il renferme beaucoup de composés aromatiques et son indice de cétane est faible (d'aussi peu que 32). Toutefois, selon les dossiers de CN Amérique du Nord, l'indice de cétane moyen des carburants achetés au Canada par cette société est de 41.

Récemment, l'Office des normes générales du Canada a publié une nouvelle norme régissant le carburant diesel pour locomotives (ONGC, 1992). Les carburants employés par la plupart des sociétés ferroviaires sont conformes à cette norme.

**Recommandation.** Les locomotives du parc canadien utilisent des carburants diesel conformes à la norme de l'ONGC (1992). Selon les données limitées dont on

dispose, l'utilisation de carburants qui s'écartent de cette norme ne semble pas influencer considérablement sur le rendement des locomotives eu égard aux émissions. Toutefois, on devrait signaler tout essai futur effectué par l'AAR ou par une autre agence reconnue qui mesurerait les effets de la qualité du carburant ou de l'utilisation de carburants de rechange sur les émissions de divers moteurs de locomotives.

#### **4.6 Industrie - Utilisation, croissance, rendement**

Les projections de l'ACFC selon lesquelles les émissions totales de NO<sub>x</sub> seront inférieures à 115 kt/a de 1990 à 2005 sont basées sur des prévisions du trafic ferroviaire. Celui-ci dépend de la demande, qui peut être mesurée en tonnes-milles nettes.

Aux fins du Programme SEL, il sera essentiel de relier tout changement observé d'une année à l'autre dans les émissions à un changement touchant le niveau du trafic, la demande en tonnes-milles nettes, le rendement des opérations, le rendement des locomotives eu égard aux émissions ou toute combinaison de ces facteurs.

Il est établi que la consommation de carburant constitue le meilleur indicateur du niveau des émissions dont on dispose. Toutefois, afin de mieux évaluer les émissions de NO<sub>x</sub>, il faudrait relier la consommation de carburant à la quantité de travail effectuée, c'est-à-dire au nombre de tonnes-milles brutes, et, ce qui est plus important encore, à la quantité de travail utile (ou payant) effectuée, soit le nombre de tonnes-milles nettes.

L'évolution d'une année à l'autre du rapport tonnes-milles nettes/tonnes-milles brutes renseigne sur l'amélioration des opérations ferroviaires. Le rapport tonnes-milles brutes/consommation de carburant renseigne sur l'amélioration du rendement du carburant, tandis que le rapport tonnes-milles nettes/consommation de carburant est un indicateur global du rendement énergétique des opérations ferroviaires.

Il est connu que les émissions de NO<sub>x</sub> par tonne-mille brute et par tonne-mille nette sont beaucoup plus faibles pour le transport des marchandises par train que pour le transport par camion et par avion. En conséquence, il ne faudrait pas décourager l'industrie ferroviaire canadienne de favoriser le déplacement intermodal du trafic vers le transport par train, malgré la limite volontaire imposée aux émissions de NO<sub>x</sub>. S'il apparaît que le transport des marchandises par train gagne beaucoup en popularité, il faudra peut-être réévaluer la limite actuelle de 115 kt/a.

**Recommandation.** Afin de déterminer s'il y a véritablement diminution des émissions de NO<sub>x</sub>, il faudrait, dans le cadre du Programme SEL, exiger la communication annuelle de statistiques sur les tonnes-milles brutes, les tonnes-milles nettes et la consommation de carburant dans les opérations ferroviaires.

#### **4.7 Émissions régionales**

L'ozone troposphérique suscite plus d'inquiétude dans les trois régions de gestion de l'ozone troposphérique densément peuplées que dans d'autres régions du Canada. En conséquence, le rapport annuel du Programme SEL devrait

déterminer le niveau des émissions de  $\text{NO}_x$  et leur évolution dans ces régions, en plus des émissions totales de  $\text{NO}_x$  à l'échelle nationale. Les trois régions en cause sont le corridor Québec-Windsor, la vallée inférieure du Fraser et le sud des provinces de l'Atlantique.

Actuellement, les principales sociétés ferroviaires, soit CN Amérique du Nord et le Réseau CP Rail, desservent tout le pays et ne tiennent pas de registres sur leurs opérations à l'intérieur de ces régions. Il est difficile de tenir compte de la consommation de carburant par région à des fins de surveillance des émissions, notamment parce que le carburant embarqué à Montréal peut être consommé en Ontario.

Toutefois, les sociétés ferroviaires tiennent, pour les régions et les districts desservis, des registres très précis sur les tonnes-milles brutes, d'où elles pourraient tirer des données pour chacune des régions de gestion de l'ozone troposphérique. Les données sur les tonnes-milles brutes sont un bon indicateur de la consommation de carburant et pourraient servir à calculer les émissions de  $\text{NO}_x$  pour chaque région. Actuellement, ces données sont utilisées par les gouvernements provinciaux pour facturer aux sociétés ferroviaires la taxe de vente sur le carburant diesel.

**Recommandation.** Dans le cadre du Programme SEL, les sociétés ferroviaires devraient fournir chaque année des données sur les tonnes-milles brutes pour les trois régions de gestion de l'ozone troposphérique. Elles devraient aussi mettre au point une méthode pour déclarer la consommation de carburant et les émissions de  $\text{NO}_x$  pour chacune de ces régions et pour l'ensemble du pays.

#### 4.8 *Locomotives marchant à vide et facteurs saisonniers*

En été, on coupe les moteurs diesel des locomotives lorsqu'on n'a pas besoin de celles-ci pour quelques heures. Les sociétés ferroviaires ont des méthodes d'exploitation et des instructions d'entretien précises qui s'appliquent dans ce cas. Toutefois, en hiver, lorsque la température baisse au-dessous du point de congélation, on laisse les moteurs tourner à vide parce qu'on utilise de l'eau pour les refroidir. On a tenté d'employer à cette fin un antigel comme l'éthylèneglycol, mais en vain, parce que ces moteurs ne sont pas munis des joints d'étanchéité internes qui empêcheraient le liquide de refroidissement et l'huile lubrifiante de se contaminer mutuellement.

D'après les profils estimés des crans de marche (tableau 7), on peut voir que le temps de marche à vide constitue une part importante du régime d'utilisation des locomotives.

On a estimé, pour la Californie, que la mise en oeuvre d'un programme de réduction du temps de marche à vide des locomotives entraînerait une diminution des émissions annuelles de  $\text{NO}_x$  de 10 % dans le cas des services locaux et de 7,6 % dans le cas des manoeuvres. Les diminutions des émissions de COV seraient encore plus importantes, soit de 27 et 17 % respectivement (CARB, 1990).

La réduction du temps de marche à vide des locomotives permettrait de diminuer considérablement les émissions de  $\text{NO}_x$  et, par conséquent, le problème de l'ozone, particulièrement durant les périodes où le niveau d'ozone troposphérique est élevé dans les grandes cours de triage et les

grands terminaux situés dans les régions de gestion de l'ozone troposphérique.

Dans ces régions, il se peut que les émissions des locomotives marchant à vide contribuent au niveau global des émissions de NO<sub>x</sub> des locomotives. Actuellement, les sociétés ferroviaires canadiennes ne tiennent pas compte des périodes de marche à vide des locomotives. Toutefois, la durée de ces périodes et leur contribution aux émissions globales de NO<sub>x</sub> des locomotives semblent importantes; c'est pourquoi, dans le cadre du Programme SEL, la communication de données sur les émissions compilées pour chaque région de gestion de l'ozone troposphérique permettrait d'établir dans quelle mesure les périodes de marche à vide contribuent aux émissions globales de NO<sub>x</sub> dans les régions peuplées.

Comme les niveaux d'ozone sont les plus élevés pendant les chauds mois d'été, il y aurait lieu de séparer en deux groupes les données relatives aux régions de gestion de l'ozone troposphérique, à savoir les données des mois d'hiver (d'octobre à avril) et celles des mois d'été (de mai à septembre).

**Recommandation.** Avant qu'on fasse de la déclaration de toutes les périodes de marche à vide une exigence du Programme SEL, il faudrait qu'au moins une grande société ferroviaire fournisse un échantillon des temps de marche à vide de ses locomotives dans les régions de gestion de l'ozone troposphérique, spécialement pendant les chauds mois d'été. On analysera ces données afin de déterminer si cette source de NO<sub>x</sub> est importante dans un contexte urbain typique et s'il y a lieu de prévoir, dans le Programme SEL, la communication de données distinctes à ce sujet. L'ACFC et Environnement Canada

continueront de communiquer entre eux pour déterminer les exigences exactes de déclaration.

#### ***4.9 Techniques, carburants et autres mesures de réduction des émissions***

Les techniques de réduction des émissions des moteurs diesel à régime élevé pour camions ont évolué très rapidement au cours des dix dernières années, principalement en raison des règlements antipollution de plus en plus stricts qui ont été mis en vigueur aux États-Unis et au Canada. Des études et des essais sont en cours pour déterminer si les techniques de réduction des émissions mises au point pour les moteurs de camions lourds s'appliquent bien aux moteurs de locomotives à grand alésage et à régime moyen (AAR, 1988; CARB, 1990).

Par l'entremise de l'AAR, qui est parrainée par la plupart des sociétés ferroviaires en Amérique du Nord, l'industrie ferroviaire a financé de nombreux projets applicables aux moteurs de locomotives. Ces projets portaient notamment sur : des carburants tirés du pétrole lourd (sables bitumineux du Canada, carburants synthétiques); des carburants de remplacement non dérivés du pétrole; les caractéristiques d'usure des moteurs; les émissions provenant des moteurs en service; et les caractéristiques des émissions provenant des nouveaux moteurs.

L'étude sur les émissions des locomotives en Californie a permis de déterminer des modifications touchant les méthodes d'exploitation et les carburants ainsi que des techniques qui pourraient permettre de réduire les émissions des locomotives (CARB, 1990). En voici quelques-unes :

- Modifications touchant les méthodes d'exploitation et les carburants : réduction du temps de marche à vide; adoption de carburants à faible teneur en soufre, de carburant diesel n° 1 à faible teneur en soufre ou d'un carburant à indice de cétane élevé.
- Modernisation des techniques de réduction des émissions : correction du retard à l'injection; modernisation de l'injecteur GM/EMD; utilisation de moteurs à faibles émissions de NO<sub>x</sub>; addition d'eau; utilisation de pièges à particules; réduction catalytique sélective; utilisation d'un réacteur catalytique à l'ammoniac.
- Utilisation de nouvelles techniques de réduction des émissions : augmentation du refroidissement de l'air de suralimentation; amélioration de la combustion; réglage électronique de l'injection du carburant; recirculation des gaz d'échappement; utilisation de turbocompresseurs à géométrie variable.
- Utilisation de carburants de remplacement.
- Électrification.

**Recommandation.** On devrait signaler chaque année toute amélioration des techniques de limitation des émissions qui deviendrait disponible dans le commerce ou toute modification touchant les méthodes d'exploitation ou les carburants qui permettrait de réduire les émissions, particulièrement de NO<sub>x</sub>.

#### **4.10 Amélioration du rendement du carburant**

Les mesures prises par les sociétés ferroviaires pour améliorer le rendement du carburant, c'est-à-dire pour augmenter le nombre de tonnes-milles brutes par gallon impérial de carburant consommé, auront un impact direct sur les émissions. Les sociétés ferroviaires canadiennes reconnaissent ce fait et ont mis ou mettront bientôt en usage les moyens techniques suivants en vue d'améliorer le rendement du carburant et, par conséquent, de réduire les émissions :

- wagons articulés pour transport multimodal;
- wagons de grande capacité;
- wagons à deux niveaux de chargement;
- wagons à tare réduite;
- augmentation des charges transportées;
- graissage des boudins;
- utilisation d'huiles multigrades;
- système d'automatisation de la marche des trains : amélioration de l'établissement des horaires et de la régulation du trafic;
- bogies orientables.

**Recommandation.** On devrait exiger, dans le cadre du Programme SEL, que soit signalée la mise en oeuvre de toute technique ou mesure d'exploitation qui réduirait directement ou indirectement les émissions de NO<sub>x</sub>.

## Communication des données annuelles et établissement du rapport

### 5.1 Sociétés ferroviaires

Les sociétés ferroviaires sont régies par plusieurs organismes gouvernementaux et doivent rédiger un certain nombre de rapports chaque année. Un rapport détaillé des opérations ferroviaires est préparé annuellement à l'intention de l'Office national des transports, et la plupart des données figurant dans le rapport annuel de Statistique Canada sur le transport ferroviaire au Canada sont tirées de ce rapport.

Compte tenu des exigences de déclaration auxquelles les sociétés ferroviaires sont déjà soumises, on devrait leur imposer le moins possible d'exigences nouvelles dans le cadre du Programme SEL, tout en respectant les objectifs du Programme.

Pour faciliter le processus, les données à fournir pour le Programme SEL devraient, dans la mesure du possible, s'harmoniser avec les données déjà recueillies et communiquées par les sociétés ferroviaires. Ces sociétés ne seront tenues de recueillir et de communiquer de nouvelles données que lorsque celles-ci seront jugées essentielles au succès du Programme. Le calendrier de déclaration du Programme SEL devrait aussi coïncider avec les calendriers de déclaration actuels des sociétés ferroviaires.

**Recommandation.** La préparation d'un rapport annuel portant sur l'année civile serait la formule la plus acceptable pour

l'industrie ferroviaire. Les sociétés devraient être tenues de communiquer leurs données au plus tard six mois après la fin de chaque année civile.

Les données sur l'industrie ferroviaire devraient être fournies par l'ACFC ou en son nom et devraient viser les opérations de toutes les sociétés membres de l'ACFC. On demandera aux sociétés non membres de collaborer avec l'ACFC; si cela est inacceptable pour certaines d'entre elles, on leur demandera de présenter directement à Environnement Canada un rapport distinct, dans la même forme et le même délai que les sociétés membres de l'ACFC.

Environnement Canada préparera un rapport annuel dans lequel il réunira les renseignements fournis par toutes les sociétés ferroviaires du Canada.

### 5.2 Fabricants de locomotives

Selon l'initiative N304 du Plan de gestion pour les NO<sub>x</sub> et les COV (CCME, 1990), les fabricants de locomotives doivent participer au Programme SEL. Toutefois, le seul fabricant de locomotives canadien, soit la Division des moteurs diesel de la société General Motors, ne s'occupe ni de conception de moteurs ni de mise au point de techniques de réduction des émissions, mais assure uniquement le montage de locomotives; il n'y aurait donc guère d'avantage à exiger d'elle un rapport annuel.



Environnement Canada pourrait plutôt envoyer une lettre aux représentants de tous les fabricants qui vendent des moteurs de locomotives sur le marché canadien pour leur demander des informations sur la mise au point et l'intégration de locomotives neuves et remises à neuf et sur les nouvelles techniques et les nouveaux systèmes de réduction des émissions.

**Recommandation.** Environnement Canada demandera aux fabricants de locomotives des informations sur les faits nouveaux dans le domaine des techniques de réduction des émissions. Un résumé à ce sujet sera ajouté dans le rapport annuel.

## Références

---

- AAR (Association of American Railroads), «Exhaust Emission Testing of In-Service Diesel-Electric Locomotives, 1981 to 1983», Colon, Peter C., Publication R-688, Washington (D.C.) (mars 1988).
- ACFC (Association des chemins de fer du Canada), lettre et mémoire de R.H. Ballantyne, président de l'ACFC, à F. Vena, d'Environnement Canada, Ottawa (Ont.) (23 novembre 1989).
- CARB (California Air Resources Board), «Locomotive Emission Study», rapport préparé par Booz-Allen & Hamilton Inc., Los Angeles (Californie) (juin 1990).
- CCME (Conseil canadien des ministres de l'environnement), «Plan de gestion pour les oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>) et les composés organiques volatils (COV) - Phase I», CCME-EPC/TRE-31F, Ottawa (Ont.) (novembre 1990).
- CN (Chemins de fer nationaux du Canada), «Effects on Emissions Factors with a Range of Locomotive Throttle Duty Cycles», rapport interne, Montréal (Qc) (février 1991).
- Environnement Canada, «Inventaire canadien des émissions des principaux contaminants atmosphériques (1985)», rapport SPE 5/AP/3, Ottawa (Ont.) (mars 1990).
- ONGC (Office des normes générales du Canada), «Combustible diesel pour moteurs diesels de locomotive à régime moyen», norme CAN/CGSB-3.18-92 (1992).
- Statistique Canada, «Le transport ferroviaire au Canada», publication n° 52-216 (1988).

## Membres de l'Association des chemins de fer du Canada

R.H. Ballantyne  
Président

J.N. Speirs  
Vice-président

I.B. Scott  
Président du conseil d'administration

P.M. Tellier  
Vice-président du conseil d'administration

### Sociétés membres

Algoma Central Railway  
Amtrak  
Arnaud Railway  
BC Rail Ltd.  
Burlington Northern Inc.  
Burlington Northern (Manitoba) Inc.  
Canada and Gulf Terminal Railway Company  
Canadien Pacifique Limitée (Réseau CP Rail)  
Cape Breton and Central Nova Scotia Railway

Central Western Railway  
Chemin de fer QNS & L (Quebec North Shore  
and Labrador)  
Chemins de fer nationaux du Canada  
(CN Amérique du Nord)  
Commission de transport Ontario Northland  
Compagnie du chemin de fer Roberval  
Saguenay  
Consolidated Rail Corporation  
CSX Transportation  
Essex Terminal Railway Company  
Goderich-Exeter Railway Company Ltd.  
Norfolk Southern Corporation  
Réseau GO (Régie des transports en commun  
de la région de Toronto)  
Société de développement du Cap-Breton  
Southern Railway of British Columbia  
VIA Rail Canada Inc.  
Wabush Lake Railway  
White Pass & Yukon Route  
Wisconsin Central Ltd.

Mars 1994

