

**Lignes directrices sur l'intégration de l'évaluation des impacts environnementaux  
aux futures études sur la mise en place de systèmes de transport intelligents (STI)**

**Direction des systèmes de transport intelligents (STI)  
Transports Canada**

**Préparé par**

**Issam A. Kayssi (Ph. D.)  
Courriel : [isamk@alum.mit.edu](mailto:isamk@alum.mit.edu)**

**Le 4 mars 2004**

## Table des matières

<b>1. Introduction</b> .....	<b>3</b>
<b>1.1 Objet</b> .....	<b>3</b>
<b>1.2 STI et émissions</b> .....	<b>3</b>
<b>2. Mise en place de prototypes de STI</b> .....	<b>5</b>
<b>3. Indicateurs opérationnels pertinents</b> .....	<b>6</b>
Gestion des incidents.....	7
<b>3.1 IOP des prototypes de STI mis en place</b> .....	<b>7</b>
<i>Gestion des incidents</i> .....	7
<i>Information sur les déplacements avant départ</i> .....	8
<i>Signalisation prioritaire pour le transport en commun (SPT)</i> .....	8
<b>3.2 Rapports généraux entre les IOP et les impacts sur les émissions</b> .....	<b>9</b>
Rapport direct.....	9
<b>4. Approches proposées</b> .....	<b>11</b>
<b>Formulation des coefficients d'émission</b> .....	<b>11</b>
<i>EMFAC (CARB 2002)</i> .....	12
<i>MOBILE 5C/6C</i> .....	13
<b>Approche 1 : Planification par schéma/simplifiée</b> .....	<b>13</b>
<i>SCRITS</i> .....	13
<i>IDAS</i> .....	15
<b>Approche 2 – Simulation des IOP</b> .....	<b>17</b>
<i>Exemple – Simulation au moyen d'un modèle statique de la circulation</i> .....	18
<i>Exemple – Simulation au moyen du modèle dynamique de circulation</i> .....	19
<b>Approche 3 – Niveau A mesuré sur place</b> .....	<b>20</b>
<b>Approche 4 – Niveau B mesuré sur place</b> .....	<b>21</b>
<i>Conclusions de l'étude menée dans le cadre du NCHRP</i> .....	21
<i>Surveillance sur place : enjeux et défis liés aux procédures de base</i> .....	22
<b>5. Documents de référence</b> .....	<b>23</b>

## **1. Introduction**

Le secteur des transports, source importante de pollution de l'air, peut jouer un rôle très important dans l'amélioration de la qualité de l'air. Le défi consiste à améliorer la qualité de l'air que nous respirons sans nuire à la mobilité au pays.

Dans ce contexte, il est important d'explorer les options de transport qui peuvent offrir des retombées bénéfiques pour la qualité de l'air. Les technologies et les concepts de fonctionnement des systèmes de transport intelligents (STI) sont de plus en plus considérés comme des éléments intégraux de l'amélioration de l'exploitation des systèmes de transport. Récemment, l'intérêt s'est cristallisé sur l'examen des répercussions, sur les émissions, des diverses interventions et installations en matière de STI.

En principe, il y a corrélation entre les paramètres de rendement des réseaux et les émissions totales. Un mauvais écoulement du trafic dans un réseau routier, qui produit de longues files et de longs retards, est souvent associé à une hausse des émissions des véhicules. À l'inverse, un meilleur écoulement du trafic dans un réseau se traduit normalement par une baisse des émissions. Néanmoins, l'évaluation de la qualité de l'air demeure, en règle générale, un processus complexe. L'évaluation des retombées des STI sur la qualité de l'air est d'autant plus compliquée que la mise en œuvre de la plupart des stratégies en matière de STI est un phénomène relativement nouveau, qui en est encore à ses premiers pas.

### 1.1 Objet

Dans le présent document, nous proposons des lignes directrices pour l'intégration de l'évaluation des impacts environnementaux aux études à venir sur la mise en place des STI. Ces lignes directrices visent à aider les parties qui veulent mener plus tard des études sur les plans de mise en place des STI à intégrer à leurs études des mesures des impacts environnementaux. Les lignes directrices précisent les types d'analyses, d'indicateurs opérationnels et indirects et de mesures environnementales directes (antérieures et postérieures à la mise en place) qui sont recommandés dans le contexte de la mise en place des prototypes de STI.

Le présent document doit être perçu comme un produit en constante évolution qu'il faut mettre à jour à mesure que de nouvelles approches sont élaborées pour la conduite de l'évaluation des impacts environnementaux de la mise en place des STI, et à mesure qu'on acquiert de l'expérience grâce aux évaluations des mises en place en cours.

### 1.2 STI et émissions

Les systèmes évolués de gestion de la circulation (SEGC), les systèmes évolués d'information des voyageurs (SEIV) et les systèmes évolués de transport en commun (SETC) représentent des technologies des STI en cours de mise en place. La mise en place des STI se traduira probablement par des retombées bénéfiques pour la qualité de l'air, grâce à l'amélioration du débit de circulation et de l'atténuation de l'encombrement

des voies de circulation. Pour mieux comprendre les retombées bénéfiques attendues de la mise en place de STI précis pour la qualité de l'air, il faut préciser le rapport entre les technologies des STI et les activités qui donnent lieu à la production d'émissions.

De façon générale, on peut classer les stratégies de SEGC en plusieurs catégories, comme les stratégies assimilables à l'optimisation de la signalisation et au contrôle de débit de bretelle d'accès, qui visent la réduction de l'encombrement à répétition, et les stratégies assimilables à la détection des incidents et à la rapidité de réaction aux accidents, qui visent la réduction de l'encombrement ponctuel.

Les améliorations et les attributs opérationnels du trafic qui seront probablement les plus touchés par les technologies des STI sont les suivants :

*Vitesses maximales réalisables* – La SEGC, y compris la gestion des incidents, devrait amener une amélioration du débit de trafic et une réduction de l'encombrement, ce qui se traduit typiquement par une amélioration des vitesses maximales réalisables. Ces améliorations des vitesses maximales réalisables entraînent, en grande partie, une réduction des émissions dans le réseau routier urbain. Cette question est traitée de façon plus poussée dans le présent document.

*Kilomètres-véhicules parcourus (KVP)* – Les technologies des STI ont surtout un effet positif sur les KVP, du fait que l'amélioration de l'information à l'intention des voyageurs est fort susceptible d'aider les conducteurs à prendre des décisions éclairées durant leurs déplacements quant au choix des itinéraires. Les technologies des STI liées à l'information sur les KVP peuvent néanmoins avoir, dans l'ensemble, un impact mixte, du fait qu'il peut y avoir un plus grand nombre de déplacements de véhicules en raison de la plus grande capacité et des vitesses supérieures associées à une meilleure gestion du trafic.

*Marche au ralenti du moteur* – Les SEGC permettront probablement de réduire les retards aux intersections. En outre, la disponibilité d'une meilleure information pourrait avoir pour effet de réduire le temps perdu à cause d'encombrements et, partant, la marche au ralenti du moteur des véhicules.

## **2. Mise en place de prototypes de STI**

Dans le présent document, des mises en œuvre de STI particuliers sont définies et choisies comme des prototypes dans le but d'illustrer les approches en vue de l'intégration de l'évaluation des impacts environnementaux aux futures études sur la mise en place des STI.

Les prototypes de STI qui ont été sélectionnés font partie de trois grands volets de services aux utilisateurs de l'architecture canadienne des STI, comme suit :

### Systemes évolués de gestion de la circulation

Gestion des incidents

### Information à l'intention des voyageurs

Information sur les déplacements avant départ

### Systemes évolués de transport en commun

Signalisation prioritaire pour le transport en commun

### **3. Indicateurs opérationnels pertinents**

Au moment de l'évaluation des impacts sur les émissions de la mise en œuvre des STI, il faut identifier des améliorations opérationnelles précises en matière de transport qui reflètent le mieux les impacts de ces émissions.

Dans le cas de chaque STI mis en place, il faut déterminer les améliorations opérationnelles les plus étroitement liées aux répercussions sur les émissions. C'est ce qu'on appelle les « indicateurs opérationnels pertinents (IOP) », et nous y reviendrons dans des analyses ultérieures.

Le tableau 1 donne un résumé des indicateurs opérationnels pertinents (IOP) pour les trois mises en œuvre de prototypes de STI définies plus haut. Les IOP sont fondés sur l'ensemble des connaissances disponibles et traduisent les approches typiquement adoptées pour l'évaluation des répercussions sur les émissions des STI.

Les IOP présentés au tableau 1 sont le reflet de la conclusion, fondée sur les connaissances actuelles, selon laquelle l'évaluation des retombées environnementales des STI requiert, en règle générale, une quantification des paramètres relatifs aux activités des véhicules, comme la vitesse, les KVP et/ou les heures-véhicules de déplacement. Une fois ces indicateurs opérationnels estimés avant et après la mise en place des STI, il est possible d'estimer également les changements dans les émissions qui découlent des changements notés dans ces paramètres.

Ensuite, en misant sur les bases de connaissances mises en place à partir des études antérieures, on établit des rapports généraux entre les améliorations opérationnelles apportées dans le cadre des stratégies relatives aux STI et les paramètres qui ont une incidence sur les émissions des moyens de transport (et la qualité de l'air en général).

**Tableau 1 – Indicateurs opérationnels pertinents pour les prototypes de STI mis en place**

<b>STI mis en place</b>	<b>Impacts opérationnels prévus</b>	<b>Indicateurs opérationnels pertinents (IOP)*</b>
Gestion des incidents	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Réduction de la durée des incidents</li> <li>• Réduction des incidents secondaires</li> <li>• Réduction des retards</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kilomètres-véhicules parcourus (KVP)</li> <li>• Vitesses maximales réalisables moyennes</li> <li>• Durée des retards entraînant une marche au ralenti<sup>+</sup></li> </ul>
Information sur les déplacements avant départ	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Réduction du débit journalier moyen annuel (DJMA)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• KVP</li> </ul>
Signalisation prioritaire pour le transport en commun	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Réduction des durées de déplacement routier</li> <li>• Réduction des temps d'arrêt des véhicules de transport en commun aux intersections</li> <li>• Maintien de la fiabilité du service</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kilomètres-véhicules de transport en commun parcourus<sup>#</sup></li> <li>• Durée de marche au ralenti des véhicules de transport en commun<sup>++</sup> en raison de retards</li> </ul>

(\*) Les IOP doivent être estimés pour une période de fonctionnement donnée (p. ex. période de pointe) et à la fois avant et après la mise en place.

(+) Minutes-véhicules passées en marche au ralenti (en file) à cause de retards notés à des intersections ou d'incidents.

(#) Les kilomètres-véhicules de transport en commun mesurés après la mise en place doivent tenir compte de toute réduction des besoins en matière de véhicules de transport en commun en raison de la réduction des durées de déplacement.

(++) Minutes-véhicules de transport en commun passées en marche au ralenti à cause de retards notés à des intersections.

### 3.1 IOP des prototypes de STI mis en place

#### *Gestion des incidents*

La détection des incidents donne à l'organisme responsable la capacité d'observer les emplacements des incidents et des encombrements subséquents, ce qui lui permet de réagir rapidement, peut-être conformément à des plans d'intervention établis à l'avance, avec des réductions probables de la durée des incidents. Il sera probablement possible de retirer d'autres avantages de réductions subséquentes des incidents secondaires découlant de l'incident primaire. Le principal IOP qu'il faudra estimer/surveiller sera la durée des retards attribuables à la marche au ralenti. En raison de la réduction attendue de la durée des incidents et des incidents secondaires grâce à la mise en place d'un système de gestion des incidents (comme l'utilisation de la surveillance vidéo), on constatera probablement une réduction de la durée totale des retards entraînant une marche au ralenti à cause d'incidents. Le changement noté dans cet indicateur opérationnel devrait correspondre à une réduction des durées de marche au ralenti et, par conséquent, à une réduction des émissions de polluants pendant la marche au ralenti.

Les détournements et l'accélération du dégagement des incidents associés à un programme de gestion des incidents pourraient aussi amener une amélioration des vitesses maximales réalisables. Les IOP qu'il faudrait alors estimer/surveiller comprennent les KVP et les vitesses maximales réalisables moyennes. Les changements constatés dans les conditions d'écoulement du trafic pourraient entraîner des modifications des kilomètres-véhicules et l'amélioration des vitesses maximales réalisables, ce qui occasionnerait à son tour des changements dans les émissions de polluants.

### *Information sur les déplacements avant départ*

Les technologies des STI associées à l'information sur les déplacements peuvent avoir des impacts mixtes. Les conducteurs peuvent prendre des décisions éclairées sur leurs déplacements en ce qui concerne leur itinéraire s'ils disposent d'une meilleure information, mais cela peut accroître des déplacements en véhicule en raison de l'amélioration de la capacité et des vitesses de déplacement. Certaines études ont néanmoins montré que les systèmes d'information sur les services aux voyageurs fonctionnent probablement de façon semblable aux stratégies de gestion de la demande, et on s'attend à ce que cela entraîne une réduction du débit journalier moyen annuel (DJMA). Le principal IOP qu'il faut estimer/surveiller est les KVP durant la période de pointe, par exemple, dans les corridors routiers couverts par le système d'information sur les déplacements avant départ. Le changement constaté dans cet indicateur opérationnel, suite à la mise en place de la prestation au public d'information sur les déplacements avant départ, correspondra au changement apporté aux émissions de polluants.

### *Signalisation prioritaire pour le transport en commun (SPT)*

Il s'agit d'une stratégie opérationnelle qui vise à faciliter le déplacement des véhicules de transport en commun par l'établissement d'intersections à régulation de la signalisation. La SPT a pour effet de modifier le fonctionnement normal de la signalisation dans le but de mieux tenir compte des véhicules de transport en commun. On s'attend à ce que la mise en œuvre de la SPT se traduise par des réductions des durées de déplacement de transport en commun, des retards des véhicules de transport en commun, des arrêts et du non-respect des horaires<sup>1</sup>. Les IOP qu'il faut estimer/surveiller comprennent la réduction des retards entraînant une marche au ralenti des véhicules de transport en commun aux intersections et, peut-être, une réduction des besoins relatifs au parc de véhicules<sup>2</sup> et des kilomètres-véhicules de transport en commun parcourus. Ces changements des indicateurs opérationnels devraient se traduire par une réduction des émissions dues à la marche au ralenti; en outre, les réductions des kilomètres-véhicules de transport en commun devraient se traduire par une réduction des émissions de polluants durant les déplacements.

---

<sup>1</sup> Certaines études ont montré que les incidences sur les autobus et la circulation dans les voies traversières sont, dans l'ensemble, mineures.

<sup>2</sup> Les réductions des durées de déplacement le long de certains itinéraires peuvent se traduire par une baisse des besoins relatifs au parc de véhicules.

### 3.2 Rapports généraux entre les IOP et les impacts sur les émissions

En règle générale, les émissions totales des véhicules dans un réseau routier (ou dans n'importe quelle partie du réseau routier) sont produites par des véhicules en mouvement et des véhicules en marche au ralenti. Ces deux types d'émission sont normalement calculées selon les formules suivantes :

Émissions de véhicule en mouvement = kilomètres-véhicules parcourus \*  
coefficient d'émission de véhicule en mouvement (gramme/kilomètre-  
véhicule)

Émissions de véhicule en marche au ralenti = minutes-véhicules en file \*  
coefficient d'émission de véhicule en marche au ralenti  
(gramme/kilomètre-véhicule)

Il est à noter que le coefficient d'émission (des véhicules en mouvement) dépend de la vitesse maximale réalisable des véhicules et des caractéristiques du parc, tandis que le coefficient d'émission (des véhicules en marche au ralenti) dépend des caractéristiques du parc.

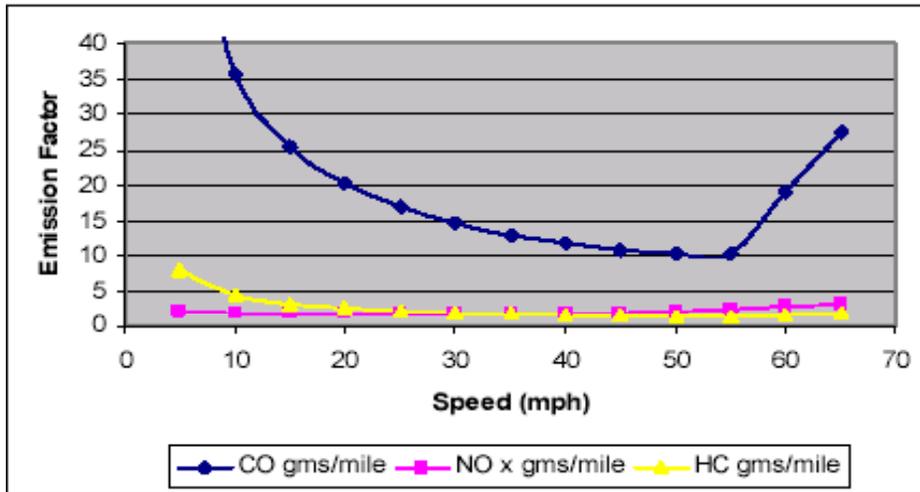
Les rapports entre les IOP susmentionnés des prototypes de STI mis en place et les impacts sur les émissions sont résumés dans le tableau 2 ci-dessous.

Un « rapport direct » suppose qu'une réduction constatée de l'IOP supposerait, en principe, une réduction similaire équivalente des émissions. Par contre, l'impact, sur les émissions, d'un changement de la vitesse maximale réalisable n'est pas direct ou bien net. Ce qui se passe plutôt typiquement, c'est que le coefficient d'émission des principaux polluants diminue, puis augmente de nouveau en fonction de la vitesse. Quoique les valeurs absolues des facteurs d'émission dépendent des caractéristiques des parcs de véhicules (et d'autres questions), la figure 1 présente la variation typique des facteurs d'émissions de monoxyde de carbone (CO), d'hydrocarbures (HC) et d'oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>) en fonction de la vitesse.

**Tableau 2 – Rapports généraux entre les IOP et les impacts sur les émissions**

IOP	Impact sur les émissions
Durée des retards entraînant une marche au ralenti (minutes-véhicules en file)	Rapport direct
KVP	Rapport direct
Vitesses maximales réalisables moyennes	Rapport indirect – changement du coefficient d'émission des véhicules en mouvement

**Figure 1 – Variation typique des coefficients d'émission en fonction de la vitesse maximale réalisable**



Emission Factor = Coefficient d'émission

Speed (mph) = Vitesse (en mi/h)

CO gms/mile = g de CO/mille

NO x gms/mile = g de NO<sub>x</sub>/mille

HC gms/mile = g de HC/mille

#### 4. Approches proposées

Le présent document propose d'autres approches pour l'intégration de l'évaluation des impacts environnementaux à toute future mise en place de STI. Ces approches tiennent compte de différents niveaux de précision des analyses qui pourraient s'appliquer de façon sélective, d'après le contexte et les capacités techniques de l'organisme chargé de la mise en place.

Le concept des IOP joue un rôle central dans le présent document. Les IOP représentent un concept simple, intéressant, qui se comprend rapidement, du fait qu'ils identifient des mesures opérationnelles tangibles précises qui sont associées à des impacts sur les émissions. Ils sont considérés comme des indicateurs indirects pour les activités de transport et des mesures opérationnelles liées aux impacts sur les émissions. Outre les IOP, trois des approches proposées requièrent la formulation de coefficients d'émission des véhicules en mouvement et des véhicules en marche au ralenti, qui pourront servir à l'estimation des émissions totales. Le tableau 3 résume les approches examinées de façon détaillée plus loin.

**Tableau 3 – Approches proposées**

Approche	Avant/Après les IOP	Coefficients d'émission
1. Schéma/Estimation	Estimation	Calculé
2. Simulation	Simulation	Calculé
3. Sur place – niveau A	Mesure sur place	Calculé
4. Sur place – niveau B	Mesure des émissions directement sur place	

##### Formulation des coefficients d'émission

Pour estimer les niveaux de polluants produits par les activités liées au trafic, on s'est beaucoup servi de *modèles de coefficient d'émission*. Parmi ces modèles, notons la série de modèles MOBILE de l'Environmental Protection Agency (EPA) des États-Unis, ainsi que le modèle de coefficient d'émission EMFAC, mis au point en Californie. Les niveaux totaux d'émission sont typiquement calculés d'après les coefficients d'émission de liaison (fonction de la vitesse de liaison, en grammes/kilomètre-véhicule) et les KVP par liaison. Par contre, les *modèles d'émissions modales* représentent directement les rapports entre les modes de fonctionnement des véhicules et les émissions. À cette fin, les activités productrices d'émissions sont modélisées de façon détaillée.

On donne ensuite une description détaillée du modèle EMFAC, mis au point par le California Air Resources Board (CARB), pour illustrer le fonctionnement des modèles de prototype de coefficient d'émission et les données qui y sont versées. Il est possible d'y substituer la version canadienne du modèle MOBILE de l'EPA, appelée MOBILE 5C/6C, pour produire les coefficients d'émission requis. Une brève description du modèle MOBILE 5C/6C est présentée plus loin.

### *EMFAC (CARB 2002)*

Le modèle EMFAC génère des coefficients d'émission exprimés en grammes de polluant émis par activité des véhicules. Les activités des véhicules peuvent être données en grammes par mille, en grammes par heure ou en grammes par départ, et dépendent du processus d'émission. Les coefficients d'émission dépendent des options concernant les données du scénario de base pour un mois ou une saison en particulier. Le modèle permet de calculer une matrice de facteurs d'émission à des valeurs précises de la température, de l'humidité relative et de la vitesse des véhicules (marche au ralenti ou vitesse comprise entre 1 et 65 mi/h) pour chaque combinaison de technologie/classe de véhicule.

*Parc de véhicules* – On entend par « parc de véhicules » l'ensemble des véhicules automobiles exploités sur les routes. On peut le diviser en 13 catégories appelées classes (p. ex., classe 1, voitures particulières). Ces classes sont établies d'après le type de véhicule, mais elles tiennent aussi compte du poids et du type de carburant ou d'alimentation (c.-à-d. essence, diesel ou alimentation électrique). Le nombre de véhicules que l'on trouve dans chaque classe doit être fondé sur une analyse des données d'enregistrement des véhicules automobiles. La composition du parc de véhicules dépend de l'année civile et de la zone géographique.

*Classe de véhicules* – Le modèle EMFAC permet d'effectuer des calculs distincts pour chacune des 13 classes de véhicules, d'après l'utilisation de carburant et chaque groupe de technologies. Chaque classe comprend plusieurs groupes de technologies, qui représentent des caractéristiques d'émission communes, comme les normes d'émission, les technologies ou les émissions en usage.

*Combustible* – Le modèle EMFAC permet d'estimer les émissions des véhicules à essence, diesel et électriques.

*Groupe de technologies* – Le modèle EMFAC suppose que chaque classe de véhicules peut être modélisée d'après le comportement particulier d'un groupe unique de technologies. Chaque groupe de technologies représente des véhicules de la même classe, mais comprend des technologies distinctes de contrôle des émissions et des taux semblables de détérioration à l'usage et répond de la même façon aux réparations. Un groupe de technologies peut représenter des véhicules dont les normes d'émission sont les mêmes ou des véhicules dotés de matériel particulier (p. ex. injection multipoint de carburant, convertisseur catalytique à trois voies et régulateur de carburant adaptatif) qui leur permet de présenter le même comportement.

*Année du modèle* – Le modèle EMFAC contient des coefficients d'émission et des données sur les activités associées aux véhicules pour les années de modèle de 1965 à 2040. Pour chaque classe de véhicules, l'année du modèle est représentée par une combinaison de groupes de technologies.

*Nombre de véhicules* – Le nombre de véhicules est typiquement déterminé au moyen d'une analyse des données d'enregistrement des véhicules. Ces données servent à

l'élaboration de matrices sur l'âge des véhicules pour des années de base précises de classes de véhicules, le type de carburant ou d'alimentation, la zone géographique et l'âge des véhicules (de 1 à 45 ans).

### *MOBILE 5C/6C*

Il s'agit d'un programme adapté du modèle MOBILE 5/6 de l'EPA pour usage au Canada. Le programme permet de calculer les coefficients d'émission en vue de l'établissement de répertoires nationaux, provinciaux et régionaux.

Le modèle MOBILE 5C/6C permet d'estimer les coefficients d'émission de NO<sub>x</sub>, de HC (COV) et de CO en grammes par mille pour les sources de transport sur route de 1985 à 2020. Ces estimations sont données par province pour sept classes de véhicules – véhicules légers, véhicules utilitaires légers et véhicules utilitaires lourds (à essence et diesel dans les trois cas) et motocyclettes.

Les coefficients d'émission annuels moyens tiennent compte du taux d'émission des nouvelles voitures, du taux de détérioration du stock de véhicules (c.-à-d. un taux en grammes par mille, qui représente une mesure de l'augmentation des émissions par tranche de 10 000 milles parcourus par véhicule), des habitudes de conduite dans les différentes provinces et des caractéristiques des véhicules et du climat dans les provinces. Le coefficient d'émission moyen annuel est une moyenne pondérée de quatre scénarios saisonniers (un scénario d'hiver, un scénario d'été et deux scénarios de printemps/automne) et de deux vitesses de conduite (conduite urbaine et conduite sur autoroute).

Source : site Web d'Environnement Canada (<http://www.ec.gc.ca>).

### Approche 1 : Planification par schéma/simplifiée

Dans cette approche, il est possible d'estimer les IOP au moyen de techniques de planification par schéma/simplifiée semblables aux techniques SCRITS et IDAS, deux outils de planification par schéma servant à la prévision des impacts des STI, dont un aperçu est donné plus loin. Cet aperçu donne des exemples de la façon dont ces impacts sont typiquement estimés.

### *SCRITS*

Il s'agit d'un outil d'analyse avec tableur qui sert à l'estimation des retombées positives des STI pour les utilisateurs, mis au point en réponse au besoin de simplifier les estimations aux étapes préliminaires de la planification des STI, dans le contexte d'une analyse centrée sur les STI, d'une étude des transports d'un corridor ou d'une sous-zone ou encore d'une analyse de planification régionale.

Comme nous l'avons indiqué plus haut, l'évaluation des retombées environnementales positives des STI requerront, en général, la quantification des paramètres des activités des

véhicules, comme la vitesse, les KVP ou milles-véhicules parcourus (MVP) et les heures-véhicules de déplacement. Une fois ces paramètres quantifiés, il faut estimer les émissions qui en découlent. SCRITS (pour SCReening for ITS, examen préliminaire relatif aux STI) utilise une série de tables de recherche pour effectuer l'analyse des paramètres des activités et de l'estimation des émissions.

SCRITS permet d'estimer les avantages énergétiques et environnementales de seulement trois stratégies relatives aux STI, à savoir la télévision en circuit fermé, la détection de la circulation sur les autoroutes et les systèmes de signalisation.

*Télévision en circuit fermé.* L'installation de la télévision en circuit fermé donne la capacité d'observer visuellement la scène d'un incident et les environs. La gestion de la circulation par surveillance vidéo au moyen de la télévision en circuit fermé donne aux organismes responsable la capacité d'observer l'emplacement de l'incident et l'encombrement subséquent, ce qui leur permet de réagir rapidement, conformément à des plans d'intervention établis à l'avance, avec des réductions probables de la durée des incidents. SCRITS permet l'analyse des retombées environnementales au moyen de la procédure suivante :

Les paramètres pertinents que l'utilisateur doit entrer sont les suivants :

1. nombre de caméras installées,
2. pourcentage de couverture par télévision en circuit fermé avant amélioration,
3. pourcentage de couverture par télévision en circuit fermé après amélioration,
4. estimation de la réduction de la durée des incidents,
5. économies, en MVP, sur semaine.

Pour obtenir le pourcentage de réduction de la durée moyenne des incidents, on multiplie le pourcentage de changement de couverture après amélioration par la réduction de la durée des incidents. On suppose que les heures-véhicules de déplacement rattachées aux incidents varient de façon linéaire selon la durée des incidents et, de la même façon, que le pourcentage d'économie en ce qui concerne les heures-véhicules de déplacement rattachées aux incidents correspond au pourcentage de changement de la durée des incidents. L'opération donne les économies en heures-véhicules de déplacement rattachées aux incidents après amélioration. Les MVP sur les autoroutes après amélioration peuvent être calculés à partir des MVP de référence et des économies en heures-véhicules de déplacement sur les autoroutes.

On calcule les vitesses moyennes sur semaine avant amélioration en divisant les MVP sur les autoroutes sur semaine par la somme des heures-véhicules de déplacement récurrentes et non récurrentes. On calcule les vitesses moyennes sur semaine après amélioration d'une façon semblable en calculant les valeurs des paramètres après amélioration.

Les coefficients d'émission de CO, NO<sub>x</sub> et de HC en gramme/mille en fonction des vitesses moyennes sont tirés des tables de recherche. On peut déterminer les émissions

avant et après amélioration en multipliant ces coefficients d'émission par les MVP correspondants, et les différences entre ces émissions correspondent aux retombées positives de la télévision en circuit fermé.

*Stratégies de signalisation.* Ces stratégies couvrent une vaste gamme d'améliorations de la signalisation. Dans l'analyse des retombées environnementales de cette stratégie, SCRITS suppose que la mise en oeuvre de cette stratégie amènera une augmentation de la vitesse moyenne du système. Les coefficients d'émission avant et après amélioration sont tirés des tables de recherche. La différence entre ces estimations représente les avantages de la mise en place des STI.

### *IDAS*

IDAS (ITS Deployment Analysis System, ou système d'analyse de la mise en place des STI) est un outil logiciel mis au point par la Federal Highway Administration (FHA) des États-Unis qui peut servir à la planification de la mise en place des STI. Les responsables de la planification des États, des régions et des localités peuvent se servir d>IDAS pour estimer les retombées positives et les coûts des investissements rattachés aux STI, qui représentent des solutions de rechange ou des améliorations aux infrastructures classiques d'autoroute et de transport en commun. À l'heure actuelle, IDAS permet de prédire les retombées positives et les coûts relatifs de plus de 60 types d'investissements rattachés aux STI.

Le module des retombées positives d>IDAS sert à estimer les impacts découlant de l'installation de composants des STI. Ces impacts sont quantifiés au moyen de diverses mesures du rendement concernant la durée des déplacements, la fiabilité des durées de déplacement prévues, le débit, la sécurité, les émissions, la consommation d'énergie et le bruit. Le module des retombées positives se sert de la série de données mise à jour associée à l'option ITS et de la série de données non modifiées associée à la solution de rechange de référence pour effectuer une série d'analyses en vue de dégager la différence de rendement entre les deux scénarios. Les statistiques sur le rendement sont ensuite transmises au module de comparaison des solutions de rechange, où des valeurs sont données aux changements des diverses mesures.

Le module des retombées positive sd>IDAS compte quatre sous-modules qui fournissent des estimations des impacts de différentes catégories de mesures du rendement : le sous-module du débit/des durées de déplacement, le sous-module de l'environnement, le sous-module de la sécurité et le sous-module de la fiabilité des durées de déplacement. Un bref aperçu du sous-module de l'environnement est donné ci-dessous.

Le sous-module de l'environnement estime les changements des impacts des stratégies relatives aux STI sur les émissions de sources mobiles, la consommation d'énergie et le bruit. À l'aide des statistiques sur le rendement produites par le sous-module des durées de déplacement, le sous-module de l'environnement estime les mesures du rendement environnemental au moyen d'une série de caractéristiques opérationnelles précises sur le trafic et le volume des réseaux. L'utilisation des tables de recherches donne à l'analyste la

capacité d'intégrer les taux de consommation énergétique et d'émission à jour, à mesure qu'ils deviennent disponibles. IDAS intègre les taux de consommation énergétique et d'émission provenant des sources actuellement disponibles, y compris le modèle Mobile 5 et le modèle EMFAC du CARB. La figure 2 ci-dessous donne les données et les résultats de base du sous-module.

**Figure 2 - Sous-module de l'environnement d'IDAS**

<b>Données</b>	<b>Intrants de l'utilisateur ou valeurs implicites</b>	
	<i>Taux d'émission du modèle Mobile 5a d'après :</i> Type de polluant (HC, CO, NO <sub>x</sub> ) Gamme de vitesses Répartition des types de véhicules	<i>Taux d'émission du modèle EMFAC de la Californie d'après :</i> Type de polluant Gamme de vitesses Année d'analyse Répartition des types de véhicules Gamme de température
	<i>Consommation de carburant d'après :</i> Type d'installation Gamme de vitesses Mode/type de véhicules Essence/diesel	<i>Autres :</i> Coût des émissions (\$) par polluant Coût d'énergie (\$) par type de carburant Type de carburant (%) par secteur du marché
	<b>Du sous-module du débit/des durées de déplacement</b>	
	<i>Déplacements/VMP d'après :</i> Liaison/type d'installation Mode/type de véhicules Gamme de vitesses Heure de la journée	

<b>Résultats</b>	<b>Vers le sous-module des coûts et le sous-module de comparaison des solutions de rechange</b>	
	<i>Émissions (en kg) d'après :</i> Type de polluant Mode/type de véhicules Liaison/type de véhicules	<i>Coûts des émissions (\$) d'après :</i> Type de polluant Mode/type de véhicules Liaison/type d'installations
	<i>Consommation d'énergie (en gallons/litres) d'après :</i> Type de carburants Mode/type de véhicules Liaison/type d'installations	<i>Coûts de l'énergie (\$) d'après :</i> Type de carburants Mode/type de véhicules Liaison/type d'installations

Source : Manuel de l'utilisateur d'IDAS

### Approche 2 – Simulation des IOP

Différentes approches ont été proposées pour l'évaluation des répercussions de la mise en place des STI d'après les modèles sous-jacents de simulation de la circulation.

Les *modèles statiques* fournissent des données sur la variation spatiale des durées de déplacement, des vitesses et des volumes de circulation moyens dans un réseau routier. Ces modèles, typiquement axés sur les conditions de la circulation aux heures ou période de pointe, sont utiles pour la préparation d'inventaires des émissions dans une région donnée.

D'autre part, les *modèles dynamiques d'assignation/de simulation de la circulation* peuvent représenter la variation spatiale et temporelle des durées de déplacement, des durées des arrêts, des vitesses, des files et des distances de déplacement sur des intervalles de simulation très courts (p. ex. 30 secondes). Ce type de résultats est plus représentatif des impacts opérationnels des interventions en matière de STI.

L'étude réalisée par Washington et ses collaborateurs (1994) décrit la pratique courante d'estimation des émissions dans les cinq étapes suivantes :

- Étape 1 Quantification des activités des véhicules qui produisent des émissions ou IOP (p. ex. nombre de déplacements, retards entraînant une marche au ralenti et vitesses maximales réalisables) au moyen d'un modèle de simulation de la circulation;
- Étape 2 Fourniture de données sur les caractéristiques des véhicules, des carburants, de l'exploitation et des conditions ambiantes au modèle des coefficients d'émission;
- Étape 3 Exécution du modèle des coefficients d'émission pour la prévision des taux d'émission propres à chaque activité pour les caractéristiques données des véhicules, des carburants, de l'exploitation et des conditions ambiantes;

- Étape 4 Multiplication de l'estimation de chaque activité par le taux d'émission propre à chaque activité;
- Étape 5 Somme des émissions estimées de toutes les activités.

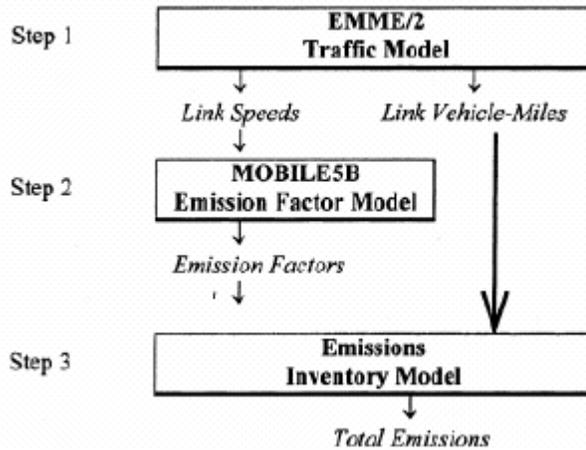
Dans cette approche, il faut mettre au point des IOP (pour représenter les activités des véhicules qui produisent des émissions) au moyen soit de modèles microscopiques (comme TRAF-NETSIM ou CORSIM), soit de modèles macroscopiques (comme FREFLO ou TRANSYT-7F). De nouveaux modèles de simulation, comme INTEGRATION, DYNAMIT et DYNASMART, conviennent mieux à la simulation de divers scénarios de STI. Il y a lieu d'examiner les scénarios représentant les conditions précédant et suivant la mise en place des STI.

*Exemple – Simulation au moyen d'un modèle statique de la circulation*

Un document préparé par Sbayti, El-Fadel et Kaysi (2001) a porté sur les effets de trois niveaux de regroupement de réseaux routiers (échelle macroscopique [ensemble du réseau], échelle moyenne [par classe fonctionnelle routière] et échelle microscopique [liaison par liaison]) sur les inventaires des émissions. Un modèle de circulation et un modèle de coefficient d'émission ont été intégrés en vue de la détermination des émissions totales dans la zone du futur district central de Beyrouth pour ces trois approches de modélisation.

La modélisation compte trois étapes consécutives (voir la figure 3). Le modèle EMNE/2 (NRO Consultants Inc., 1998), modèle statique de la circulation d'usage généralisé, est souvent associé à des modèles de dispersion/d'émission de polluants en vue de la simulation de l'effet, sur les estimations des émissions, des changements de l'utilisation du sol, des caractéristiques du parc de circulation, du réseau routier et de la configuration des voies. MOBILE 5B, mis au point par l'EPA des États-Unis, a recours aux vitesses moyennes, aux caractéristiques du parc de véhicules, aux conditions ambiantes et à la répartition des durées de déplacement pour une estimation des coefficients d'émission. Trois niveaux de détail ont servi à l'estimation des émissions totales : l'échelle macroscopique, l'échelle moyenne et l'échelle microscopique. À l'échelle macroscopique, la vitesse moyenne du réseau a servi au calcul du coefficient d'émission du réseau complet. On estime les émissions totales en multipliant les MVP totaux par le coefficient d'émission moyen. À l'échelle moyenne, un coefficient d'émission moyen pour chaque classe fonctionnelle routière est déterminé. La contribution des classes fonctionnelles routières aux émissions de polluants est ensuite regroupée pour l'obtention des émissions totales. À l'échelle microscopique, les vitesses de liaison servent au calcul des coefficients d'émission pour chaque liaison. Les MVP de liaison sont multipliés par les coefficients d'émission de liaison correspondants et additionnés pour toutes les liaisons pour donner les émissions totales.

**Figure 3 – Approche de modélisation au moyen du modèle statique de circulation**



Step 1 = Étape 1

Traffic Model = Modèle de circulation

Link Speed = Vitesse de liaison

Link Vehicle-Miles = Milles-véhicules de liaison

Step 2 = Étape 2

Emission Factor Model = Modèle de coefficient d'émission

Emission Factors = Coefficients d'émission

Step 3 = Étape 3

Emissions Inventory Model = Modèle d'inventaire d'émissions

Total Emissions = Émissions totales

*Exemple – Simulation au moyen du modèle dynamique de circulation*

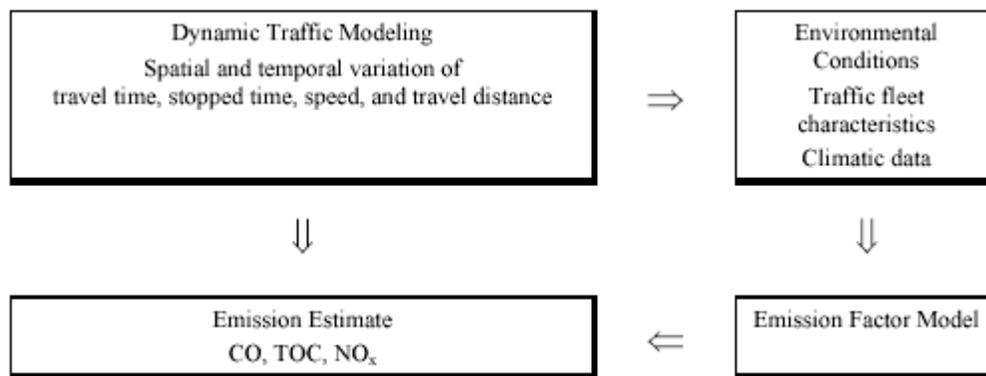
Kaysi, Chazbek et El-Fadel (2004) ont mis au point un cadre d'évaluation des possibilités qu'offrent les STI pour atténuer les encombrements non récurrents et estimer les répercussions qui en découlent pour les émissions produites par les véhicules dans une ville encombrée d'un pays en développement.

Une série de scénarios de simulation ont été mis en oeuvre au moyen d'une méthodologie dynamique d'assignation/de simulation de la circulation, et les émissions résultantes ont été estimées au moyen d'un modèle de coefficient d'émission. Les modèles de coefficient d'émission et de circulation DYNASMART et MVEI/EMFAC ont servi (figure 4) à l'évaluation de l'impact de différents paramètres de mise en place des STI, comme le type de fourniture d'information (avant départ et à bord des véhicules) et la conformité des conducteurs, sur le rendement des réseaux et les émissions résultantes. Les mesures du rendement des réseaux, comme les durées des déplacements et des arrêts, ont été mises au

point, et les émissions correspondantes des véhicules sont estimées, les émissions de CO, de NO<sub>x</sub> et de COT servant d'indicateurs pour chaque scénario.

Les facteurs expérimentaux dont on a tenu compte pour définir les scénarios de simulation étaient la technique de prestation d'information, la réponse des conducteurs/pénétration des marchés et la durée des incidents, qui représente le temps requis pour la détection des incidents, la réponse aux incidents et le dégagement des incidents. Trois techniques de prestation d'information ont été simulées : 1) l'absence d'information; 2) la prestation d'information avant départ seulement (p. ex., télédiffusion de messages); 3) prestation d'information à bord des véhicules (p. ex., au moyen de téléphones cellulaires ou d'un service radio d'information sur les conditions des autoroutes). On considérait alors qu'un certain pourcentage des conducteurs se conformaient aux directives relatives aux itinéraires; différents niveaux de réponse ou de conformité des conducteurs ont été considérés.

**Figure 4 – Séquence de simulation dans le cadre de la modélisation dynamique des émissions et de la circulation**



Dynamic Traffic Modeling = Modèle dynamique de la circulation  
 Spatial and temporal variation of travel time, stopped time, speed, and travel distance = Variation spatiale et temporelle de la durée de déplacement, de la durée d'arrêt, de la vitesse et de la distance de déplacement  
 Environmental Conditions = Conditions environnementales  
 Traffic fleet characteristics = Caractéristiques du parc de véhicules  
 Climatic data = Données climatiques  
 Emission Estimate = Estimation des émissions  
 Emission Factor Model = Modèle de coefficient d'émission

Approche 3 – Niveau A mesuré sur place

Cette approche est très similaire à l'approche 2, sauf que la quantification des activités des véhicules productrices d'émissions ou des IOP est mesurée sur place ou obtenue de façon empirique dans des conditions préalables ou postérieures à la mise en place des STI, au lieu d'être simulée au moyen d'un modèle de la circulation.

#### Approche 4 – Niveau B mesuré sur place

Dans cette approche, il faut mesurer les émissions directement sur place, au lieu de les calculer d'après des IOP estimés, simulés ou mesurés et des coefficients d'émission.

Les paragraphes qui suivent donnent un bref aperçu des possibilités de mise en oeuvre de mesures de surveillance de la qualité de l'air sur place, dans le but d'observer les impacts de la mise en place des STI, et des défis à relever à cet égard. On présente les conclusions d'une étude menée dans le cadre du National Cooperative Highway Research Program (NCHRP) sur la quantification de la qualité de l'air, des autres avantages et des coûts des mesures de régulation des transports, du fait qu'on s'attend à ce que des facteurs similaires s'appliquent à la mise en place des STI. On présente ensuite les procédures de base rattachées à la surveillance sur place des changements potentiels de la qualité de l'air suite à la mise en place des STI. Enfin, certains enjeux fondamentaux liés à la surveillance sur place sont exposés.

#### *Conclusions de l'étude menée dans le cadre du NCHRP*

La surveillance de la qualité de l'air en vue de l'observation des impacts de la mise en place des STI est techniquement possible dans le cas des polluants primaires, comme le CO, les COV et les NO<sub>x</sub> (NCHRP 2001). On peut soustraire les mesures des concentrations en amont des valeurs en aval comme moyen de caractériser la contribution d'une installation routière aux concentrations ambiantes en aval. Des expériences devraient être menées avant et après la mise en place des STI. Il est cependant important de noter qu'il est possible d'observer les effets de la mise en place des STI uniquement s'ils excèdent une certaine valeur de seuil. Dans le cas des polluants primaires, cette valeur est de l'ordre de 2 %. Il est considérablement plus difficile d'observer directement les effets de la mise en place des STI sur les polluants secondaires.

Un autre point qui vaut la peine d'être mentionné, c'est qu'il est intrinsèquement beaucoup plus difficile d'effectuer une surveillance dans une grande région géographique, afin d'y déterminer les effets de programmes de mise en place de STI, qu'à un emplacement ou à une installation en particulier. Cela suppose qu'il est extrêmement difficile, sur le plan technique, d'appliquer un programme de surveillance de la qualité de l'air pour évaluer les impacts d'un programme coordonné de mise en place de STI en zone urbaine.

Enfin, les programmes spécialisés de surveillance de la qualité de l'air dans le cadre de la mise en place de STI sont coûteux. Des estimations préliminaires montrent qu'il en coûterait plus d'un demi-million de dollars pour mener deux programmes de surveillance d'une durée de trois mois (l'un avant la mise en place et l'autre, après) pour l'examen des effets de la mise en place de STI sur les niveaux de CO en aval d'une intersection encombrée (en supposant un impact d'environ 10 % sur les émissions). Si l'effet est moins élevé sur les émissions (c.-à-d. s'il fallait deux programmes d'un an), le coût serait alors encore plus grand. À cause de ces coûts élevés, il ne serait probablement pas pratique pour les organismes locaux de transport ou de surveillance de la qualité de l'air d'entreprendre de tels programmes spécialisés de surveillance. Ce type de surveillance

fondée sur la recherche pourrait cependant être entrepris dans le cadre d'un programme national de recherche (NCHRP 2001).

*Surveillance sur place : enjeux et défis liés aux procédures de base*

Aux fins de la mesure des concentrations de polluants primaires, y compris le CO et les NO<sub>x</sub>, il faut prélever des échantillons d'air à des emplacements critiques (à proximité de l'endroit où les STI ont été mis en place), puis les analyser pour y détecter la présence de polluants atmosphériques primaires. Il peut être nécessaire de prélever des échantillons d'air dans des conditions de circulation normale et de pointe. Les concentrations de polluants primaires peuvent être mesurées au moyen d'un analyseur manuel d'échantillons d'air. Certains protocoles doivent être appliqués. Par exemple, il se peut qu'il faille prendre des mesures pour obtenir des concentrations moyennes de CO sur un intervalle de 30 minutes et des concentrations moyennes de NO<sub>2</sub> sur un intervalle de 10 minutes.

Les niveaux de polluants primaires et les paramètres météorologiques doivent être surveillés à des intervalles moyens fréquents (p. ex. aux 10 secondes) avant et durant/après la mise en place des STI. Il faut également recueillir des données relatives à la circulation (p. ex. au moyen de capteurs ou de détecteurs). De telles données de très grande précision devraient permettre de séparer, des éléments ambiants de la qualité de l'air local, la contribution des installations de transport à la qualité de l'air local, et d'établir des corrélations entre la variation des niveaux de polluants et le débit de circulation. Par exemple, les incidents relatifs à la circulation (accidents/encombres) devraient avoir rapidement une incidence sur la qualité de l'air local. Durant les incidents, on s'attend à ce que le taux de pollution augmente rapidement par rapport aux niveaux antérieurs aux incidents. Une sursaturation de circulation toucherait clairement la qualité de l'air local et, si la mise en place des STI permet de l'éviter, cela contribuera à une amélioration significative de la qualité de l'air local (Université Purdue/ministère des Transports de l'Indiana).

Il faut structurer la surveillance sur place de manière à être en mesure de noter de tels changements dans la qualité de l'air suite à la mise en place des STI. Plusieurs défis sont néanmoins à prévoir. Par exemple, des études ont montré que la direction du vent a un effet sur les schémas de dispersion à petite échelle des polluants à des endroits choisis, ce qui peut influencer sur les données saisies par un dispositif de surveillance. On a trouvé qu'un changement dans la direction du vent pouvait se traduire par une augmentation ou une diminution, de l'ordre de 80 %, de la concentration mesurée de CO pour un niveau donné d'émissions de la circulation et des conditions météorologiques données. Il faut étudier de près ce facteur et d'autres facteurs locaux avant de concevoir des procédures de surveillance sur place et d'analyser les résultats obtenus sur place.

## 5. Documents de référence

Washington, S., Guenselar, R., et Sperling, D., « Emission Impacts of Intelligent Vehicle Highway Systems », *Transportation Planning and Air Quality II*, 1994.

*User's Manual for SCRITS, SCReening Analysis for ITS*, Science Applications International Corporation, janvier 1999.

*IDAS-User's Manual*. Cambridge Systematics, disponible à l'adresse suivante : <http://idas.camsys.com/documentation.htm>

Quantifying Air-Quality and Other Benefits and Costs of Transportation Control Measures. NCHRP, rapport n° 462, 2001.

*EMFAC 2002 User's Guide*. California Air Resources Board. Document et logiciel disponibles à l'adresse suivante : [http://www.arb.ca.gov/msei/on-road/latest\\_version.htm](http://www.arb.ca.gov/msei/on-road/latest_version.htm)

Sbayti, H., El-Fadel, M., et Kaysi, I., « Effects of Roadway Aggregation Levels on Modeling of Traffic-Induced Emission Inventories in Beirut », dans *Transportation Research – Part D*, vol. 7D, n° 3, p. 163-173 (2002).

Kaysi, I., Chazbek, C., et El-Fadel, M., « Traveler Information Provision for Incident Management: Implications for Vehicle Emission », à venir dans *The Journal of the Transportation*