

QC  
882-112  
RGI  
1000

Canada

**EFFETS D'UNE AMÉLIORATION DU CHAMP DES ÉMISSIONS MOBILES DANS LA  
RÉGION DE MONTRÉAL SUR LES SIMULATIONS D'UN MODÈLE EN QUALITÉ  
DE L'AIR**

*par*

Alain Robichaud  
Gilles Morneau  
Service météorologique du Canada  
Environnement Canada, région du Québec



Décembre 2000

166025  
x



Environnement  
Canada

Environment  
Canada

## **REMERCIEMENTS**

Ce projet a été réalisé grâce à la participation de la Direction de la recherche en qualité de l'air, à la fois financière et scientifique. Les auteurs désirent remercier le Dr. Janusz Pudykiewicz pour sa collaboration dans l'utilisation du modèle CHRONOS et le Dr. Michael Morane pour son expertise dans les champs d'émissions de sources mobiles. Les auteurs tiennent également à remercier monsieur Ronald Collette du Ministère des transports du Québec pour nous avoir fourni les données d'achalandage routier et d'émissions d'oxydes d'azote de la région métropolitaine de Montréal.



## TABLE DES MATIÈRES

|                                                                                                                                                                                       |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>1. INTRODUCTION</b>                                                                                                                                                                | 1  |
| <b>2. ÉMISSION PAR LES SOURCES MOBILES</b>                                                                                                                                            | 3  |
| 2.1 Véhicules circulant sur les routes ou autoroutes                                                                                                                                  | 3  |
| 2.2 Véhicules et autres sources mobiles ne circulant pas sur les routes                                                                                                               | 3  |
| 2.3 Avions                                                                                                                                                                            | 3  |
| 2.4 Locomotives                                                                                                                                                                       | 3  |
| <b>3. UTILISATION DES INVENTAIRES DES ÉMISSIONS DE SOURCES MOBILES DANS LES MODÈLES</b>                                                                                               | 5  |
| <b>4. REDISTRIBUTION SPATIALE DES ÉMISSIONS DE SOURCES MOBILES</b>                                                                                                                    | 7  |
| <b>5. RÉSULTATS DES SIMULATIONS DE CHRONOS</b>                                                                                                                                        | 11 |
| 5.1 Comparaison des séries temporelles en surface                                                                                                                                     | 12 |
| 5.2 Comparaison des séries temporelles en altitude à L'Assomption                                                                                                                     | 14 |
| 5.3 Comparaisons entre le modèle et les observations de surface                                                                                                                       | 15 |
| 5.4 Comparaisons spatiales                                                                                                                                                            | 16 |
| <b>6. CONCLUSION</b>                                                                                                                                                                  | 21 |
| <b>APPENDICES</b>                                                                                                                                                                     |    |
| Appendice A                                                                                                                                                                           | 27 |
| Appendice B                                                                                                                                                                           | 28 |
| <b>Tableau I</b> Comparaison des caractéristiques spatiales des champs de concentration d'ozone de surface obtenus avec les 2 scénarios de CHRONOS pour les 11 et 12 juin 1996 à 15 h | 19 |

## LISTE DES FIGURES

Page

|                  |                                                                                                                                                                                                                |    |
|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figure 1</b>  | Région où les émissions de sources mobiles sont raffinées à haute résolution.....                                                                                                                              | 8  |
| <b>Figure 2</b>  | Facteurs utilisés pour redistribuer les émissions mobiles dans la région de Montréal.....                                                                                                                      | 9  |
| <b>Figure 3</b>  | Fonctions de pondération entre l'achalandage routier et la densité de population.                                                                                                                              | 10 |
| <b>Figure 4</b>  | Émissions de NO <sub>2</sub> en semaine à 15 h heure avancée de l'est (en g s <sup>-1</sup> par point de grille).....                                                                                          | 10 |
| <b>Figure 5</b>  | Réseau de mesure de qualité de l'air déployé sur le sud du Québec à l'été 1996 lors de ESOM.....                                                                                                               | 11 |
| <b>Figure 6</b>  | Séries temporelles de la concentration d'ozone de surface d'après les observations et les deux simulations de CHRONOS à 4 stations de la région de Montréal. La période couverte est du 8 au 14 juin 1996..... | 13 |
| <b>Figure 7</b>  | Séries temporelles de la concentration d'ozone à L'Assomption. ....                                                                                                                                            | 14 |
| <b>Figure 8</b>  | Statistiques de comparaison entre les observations horaires d'ozone de surface et les deux simulations de CHRONOS pour la période du 8 au 14 juin 1996.....                                                    | 15 |
| <b>Figure 9</b>  | Statistiques de comparaison entre le maximum quotidien d'ozone observé et les valeurs prédites par le modèle entre le 8 et le 14 juin 1996.....                                                                | 16 |
| <b>Figure 10</b> | Concentrations d'ozone prévues par le modèle les 11 et 12 juin 1996 à 15 h selon les deux simulations.....                                                                                                     | 17 |

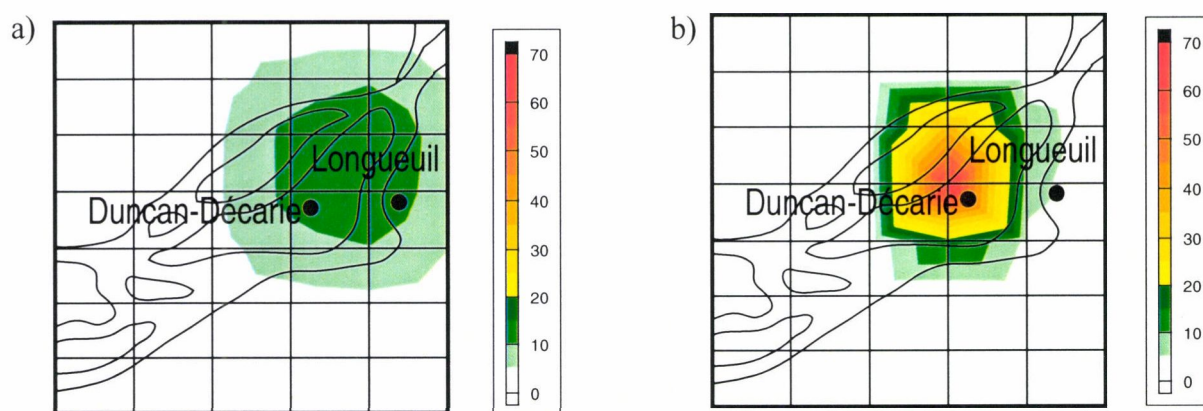
## LISTE DES ABRÉVIATIONS

|                       |                                                                                                                                                     |
|-----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>ADOM</b>           | Acid deposition and oxidant model                                                                                                                   |
| <b>CEPS1,0</b>        | Canadian emissions processing systems version 1,0                                                                                                   |
| <b>CMC</b>            | Centre météorologique Canadien                                                                                                                      |
| <b>COV</b>            | Composé organique volatil                                                                                                                           |
| <b>CTM</b>            | Chemical tracer model                                                                                                                               |
| <b>EMEFS-I</b>        | Eulerian model evaluation and field study for acid deposition phase I (Étude d'évaluation sur le terrain du modèle eulérien pour les dépôts acides) |
| <b>ESOM</b>           | Étude sur les oxydants dans la région de Montréal                                                                                                   |
| <b>HAE</b>            | Heure avancée de l'est                                                                                                                              |
| <b>MC2</b>            | Modèle de mésoéchelle compressible communautaire                                                                                                    |
| <b>MERMOZ</b>         | Montreal experiment on regional mixing and ozone                                                                                                    |
| <b>NARSTO-CE</b>      | North American research strategy for tropospheric ozone - Canada East                                                                               |
| <b>NO<sub>x</sub></b> | Oxydes d'azote NO+NO <sub>2</sub>                                                                                                                   |
| <b>PP<sup>b</sup></b> | Parties par milliard (10 <sup>-9</sup> )                                                                                                            |
| <b>RPN</b>            | Recherche en prévision numérique (Environnement Canada)                                                                                             |
| <b>TUC</b>            | Temps universel coordonné                                                                                                                           |
| <b>WQC</b>            | Windsor - Quebec city (corridor)                                                                                                                    |



## RÉSUMÉ

L'utilisation de modèles mathématiques pour simuler le transport atmosphérique des polluants et leurs transformations est nécessaire pour estimer les effets des scénarios de réduction des émissions d'origine humaine sur l'occurrence du smog urbain. Il est important pour les utilisateurs de ces modèles d'avoir à leur disposition des champs d'émissions de polluants les plus réalistes possibles. La banque de données disponible pour les modelleurs est basée sur les inventaires de polluants de 1985 et adaptée pour une utilisation des modèles à l'échelle continentale. La présente étude vise à améliorer le champ des émissions du transport routier dans la région de Montréal et analyser l'effet d'un tel changement sur les simulations à haute résolution du modèle CHRONOS, en particulier durant l'épisode de smog du 8 au 14 juin 1996 sur le sud du Québec. Le nouveau champ d'émissions mobiles est obtenu en distribuant spatialement la quantité émise de polluants proportionnellement à la densité de population et à l'achalandage routier en heure de pointe. L'effet de cette transformation est d'obtenir une source de polluants beaucoup plus localisée dans la zone urbaine avec une intensité maximale de 3 à 4 fois plus élevée que dans la configuration initiale. La quantité totale de polluants émis dans l'atmosphère au-dessus de la grande région de Montréal est la même dans les deux champs d'émissions, la différence réside seulement dans la distribution spatiale.



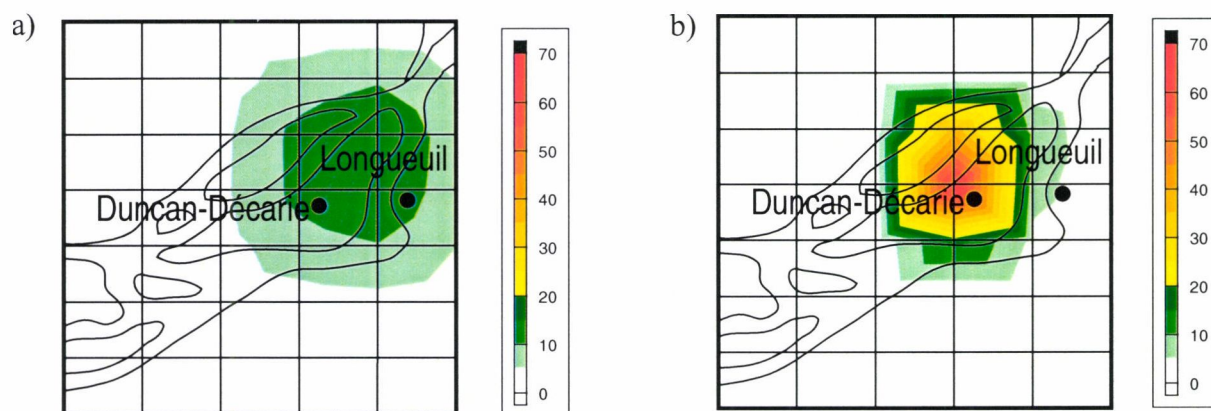
Émissions de NO<sub>2</sub> de sources mobiles à 15 h en semaine; le champ original est à gauche et le champ modifié à droite.

Nous avons effectué deux séries de simulations du modèle, l'une avec les émissions originales et l'autre avec le nouveau champ mieux défini à haute résolution. Nous avons comparé les résultats du modèle avec les observations de 20 stations de mesure de l'ozone au sol dans la vallée du Saint-Laurent et d'une station de mesure de l'ozone en altitude à L'Assomption. L'effet de la modification des champs d'émissions se fait sentir dans la région où les changements ont été faits et sous le vent de cette région. Le nouveau champ d'émissions donne de meilleurs résultats que le champ original dans la zone urbaine où se situe le maximum d'émission d'oxydes d'azote. Comme le modèle a déjà une tendance à prévoir des concentrations d'ozone trop élevées dans ce secteur, celles-ci sont réduites significativement quand nous utilisons les émissions à haute résolution à cause des valeurs plus élevées d'émissions de NO<sub>x</sub> au centre-ville. Sous le vent de la

ville, au nord-est, les deux simulations diffèrent entre elles d'au plus 10 pour cent dans la concentration maximale d'ozone en après-midi. Le nouveau champ d'émission n'a pas donné de meilleurs résultats que les simulations avec le champ original quant à la prévision du maximum quotidien ni dans la comparaison d'heure en heure entre le modèle et les observations. La comparaison des observations d'ozone en altitude prises par ballon captif à 125 et 400 mètres à L'Assomption avec le modèle ne permet pas de conclure si l'une des deux simulations est meilleure que l'autre par manque de données observées. On constate une différence d'au plus 10 pour cent dans l'amplitude du pic de l'après-midi entre les deux séries modélisées; autrement elles sont tout-à-fait similaires. Enfin, nous avons examiné la différence entre le panache de pollution produit au sol par les deux simulations les 11 et 12 juin 1996. La superficie couverte par des concentrations d'ozone supérieures à 80 ppb est plus petite quand le nouveau champ d'émissions est utilisé. Cette étude ne nous permet pas cependant de conclure lequel des deux champs d'émissions génère le panache le plus réaliste et met en évidence le manque de stations de mesure dans la ceinture nord et nord-est de Montréal.

## SUMMARY

Mathematical models that simulate the atmospheric transport and transformation of pollutants are needed to estimate the impacts of anthropogenic emissions reduction scenarios on urban smog. It is important to the users of such models to have access to the most realistic fields of pollutants emissions. The currently available dataset for the modelers is based on the 1985 inventories and mostly adapted to large scale modeling. The purpose of this study is to improve the emissions fields from the road traffic in the Montreal area and analyze the impact of such a change on high resolution runs of the CHRONOS model during the smog episode of June 8<sup>th</sup> to 14<sup>th</sup> 1996 over southern Quebec. The new mobile emissions fields are obtained by spatially distributing the mass of emitted species proportionally to the population density and peak hour traffic. This transformation gives a more localized pollutant source over the urban area with a maximum intensity 3 to 4 times higher than in the original dataset. The total amount of pollutant emitted into the atmosphere over the greater Montreal region is the same in both datasets, only the spatial distribution is different.



NO<sub>2</sub> emissions from mobile sources at 3:00 PM on weekdays; original field (left) and modified field (right).

Two series of model runs were performed, one using the original mobile emissions data and the other using the new fields better suited for high resolution modeling. Model results were compared with ozone observations from 20 surface stations in the St. Lawrence valley and from one upper air site at L'Assomption. The differences in the emissions fields have an effect on ozone concentrations over the area where the changes were made and downstream. The new emissions fields provide better results in the urban area where the maximum of nitrogen oxide emissions is located. Since the model already has a bias toward high values of ozone concentrations over the city, these are reduced significantly when the high resolution emissions are used due to higher values of NO<sub>x</sub> emissions downtown. Downstream of Montreal, there is a difference of at most 10 percent in the daily maximum concentrations between the two model runs. The results using the new emissions fields are similar than the ones using the original fields when comparing the model with surface observations of daily maximum concentrations and hourly values of ozone. The upper air measurements of ozone at L'Assomption at 125 and 400 meters above ground were compared with both model runs and it is not possible to conclude with the available data which

one of the two runs is better. A difference of at most 10 percent is noted in the afternoon peak concentrations between the two simulations, otherwise the two series are similar. The difference in spatial distribution of ozone concentrations between the two simulations was finally analyzed. For June 11<sup>th</sup> and 12<sup>th</sup> 1996, the area enclosing concentrations above 80 ppb is smaller in the run using the new emissions fields. It is not possible however to conclude which run gives the most realistic pattern and this study highlights the fact that more sites are needed north and north-east of Montreal.

# 1. INTRODUCTION

L'utilisation de modèles mathématiques pour simuler le transport atmosphérique des polluants et des précurseurs naturels, leur transformation et la qualité de l'air résultante en un lieu donné requiert de quantifier adéquatement la quantité de ces composés émise dans l'atmosphère. Dans le cas du smog urbain par exemple, les précurseurs à l'ozone sont les composés organiques volatils et les oxydes d'azote. Les modèles sont utilisés pour comprendre les liens entre les émissions partout sur le continent et les concentrations ambiantes d'ozone troposphérique. Ils servent aussi à estimer les effets de scénarios de réduction des émissions d'origine humaine sur l'occurrence du smog. On comprend alors l'importance pour les utilisateurs des modèles de qualité de l'air d'avoir à leur disposition des valeurs d'émissions de polluants le plus près de la réalité. Une des faiblesses identifiées des modèles photochimiques actuels est justement l'imprécision des champs d'émissions des polluants précurseurs d'ozone (Canadian 1996 NO<sub>x</sub>/VOC science assessment, 1997).

Lors d'une étude antérieure (Morneau et Benjamin, 1998), nous avons simulé l'atmosphère sur le sud du Québec avec le modèle météorologique communautaire MC2 (Benoit *et al.*, 1997) pendant la période du 8 au 14 juin 1996, puis avons utilisé les champs obtenus pour alimenter un modèle de qualité de l'air, le *Chemical Tracer Model* (Pudykiewicz *et al.*, 1997), maintenant appelé CHRONOS<sup>1</sup>. Nous avons à notre disposition les inventaires d'émissions de polluants de 1985 et adaptés pour les modèles à points de grille par la compagnie Ortech tel que décrit à l'appendice 3B du rapport d'évaluation des NO<sub>x</sub> et des COV au Canada (Canadian 1996 NO<sub>x</sub>/VOC science assessment, 1997). Ces champs d'émissions fournissent au modèle CHRONOS les sources de polluants et autres composés d'origine naturelle injectés dans les premiers niveaux de l'atmosphère. La solution mathématique obtenue de CHRONOS sur une grille de résolution de 12 kilomètres a donné de bons résultats en dépit du fait que les émissions de polluants de 1985 ont été utilisés pour un cas de 1996. Par surcroît, les champs d'émissions préparés par Ortech sont donnés sur une grille de résolution de plus de 20 km alors que le modèle est résolu sur une grille dont les mailles sont espacées de 12 km seulement.

La présente étude vise à améliorer le champ des émissions mobiles de l'été 1996 dans la région de Montréal et analyser l'effet d'un tel changement sur les simulations des épisodes d'ozone par le modèle CHRONOS. En effet, une distribution spatio-temporelle plus réaliste des champs d'émissions pourrait vraisemblablement améliorer la prévision numérique du modèle et diminuer l'erreur par rapport aux observations quant aux niveaux des concentrations des photo-oxydants. Dans le présent rapport, on limitera notre attention sur l'amélioration du champ des émissions de sources mobiles dans la région de Montréal en utilisant les données de l'achalandage routier en heure de pointe et la densité de population. On présumera alors qu'à l'extérieur des heures de pointe du matin et du soir, les déplacements en véhicules motorisés se font surtout sur une échelle de quartier et qu'ainsi la densité de population serait un bon indicateur de la distribution des émissions mobiles.

---

<sup>1</sup> CHRONOS est l'acronyme de « Canadian Hemispheric and Regional Ozone and NO<sub>x</sub> System »



## **2. ÉMISSION PAR LES SOURCES MOBILES**

Les sources mobiles représentent toute source non stationnaire et sont subdivisées en quatre grandes catégories :

- 1) Véhicules circulant sur les routes et autoroutes;
- 2) Véhicules et autres sources mobiles ne circulant pas sur les routes;
- 3) Avions;
- 4) Locomotives.

Voici brièvement les détails de cette classification.

### **2.1 Véhicules circulant sur les routes ou autoroutes**

Dans cette catégorie, on inclut tous les véhicules enregistrés pouvant circuler sur les routes. Le parc véhiculaire est subdivisé en huit catégories selon le poids, le type de carburant et le type de véhicule, à savoir camions, automobiles et motocyclettes.

### **2.2 Véhicules et autres sources mobiles ne circulant pas sur les routes**

Cette catégorie inclut tous les véhicules motorisés et les équipements de transport ne circulant pas sur les voies publiques. Les équipements de cette catégorie sont propulsés par des moteurs fonctionnant au diesel, à essence à deux temps et quatre temps et au propane.

Une très grande variété d'appareils se retrouvent dans cette catégorie :

- Équipements de pelouse et de jardins
- Équipements industriels
- Équipements de service des aéroports
- Équipements de construction
- Équipements récréationnels
- Équipements agricoles
- Équipements marins et récréationnels
- Transport maritime

### **2.3 Avions**

Il peut s'agir autant d'appareils civils, commerciaux ou militaires. Il faut noter que les émissions au-dessus de 900 mètres n'ont pas besoin d'être incluses dans les inventaires. Un ensemble complet de facteurs d'émissions pour tous les types d'avions opérant dans différents modes (immobile, à l'arrêt avec moteur en marche, roulement vers la piste de décollage, atterrissage, décollage) ont été compilés afin d'estimer les inventaires.

### **2.4 Locomotives**

Cette catégorie inclut tous les types de locomotives.



### 3. UTILISATION DES INVENTAIRES DES ÉMISSIONS DE SOURCES MOBILES DANS LES MODÈLES

Pour tout type et catégorie de véhicule, les émissions de polluants dépendent de plusieurs variables, comme la vitesse moyenne, la température de l'air, la volatilité du carburant et la durée du trajet. Les polluants émis par le secteur du transport sont principalement les oxydes d'azote précurseurs au smog urbain et le monoxyde de carbone. Les véhicules à essence émettent aussi une grande proportion de composés organiques volatils, qui sont des produits qui favorisent la formation de smog au même titre que les oxydes d'azote.

Au Canada, la Direction de la protection de l'environnement d'Environnement Canada tient les inventaires d'émissions nationaux répartis par province et sont mis à jour tous les cinq ans. Les émissions mobiles sont fournies par les provinces et sont estimées avec le modèle Mobile5C (Philpot, 1993; US-EPA, 1994) à partir des données de trafic et de flottes de véhicules. Les inventaires contiennent la masse totale de chaque famille de polluants émis par province. Les familles de polluants répertoriés pour les émissions mobiles sont les poussières et particules, les oxydes de soufre ( $\text{SO}_x$ ), les oxydes d'azote ( $\text{NO}_x$ ), les composés organiques volatils (COV) et le monoxyde de carbone (CO).

La simulation de l'évolution spatio-temporelle des concentrations de polluants à l'aide de modèles de qualité de l'air à points de grille requiert une quantité appréciable de traitement des inventaires d'émissions. Les totaux annuels fournis doivent être répartis spatialement sur chaque point de grille du modèle. Puis une répartition est faite dans le temps pour obtenir une estimation des émissions à toutes les heures. Enfin, une dernière répartition est nécessaire pour scinder les grandes familles de composés disponibles dans les inventaires en plus petites familles directement utilisables par le modèle. Par exemple dans le cas de CHRONOS, qui utilise la chimie de ADOM<sup>2</sup> (Lurmann *et al.*, 1986), le total des COV figurant dans les inventaires doit être distribué en 32 familles de composés.

Ce fastidieux post-traitement des inventaires d'émissions requis pour faire une simulation avec le modèle a été effectué une fois avec les données de 1985. Le but de l'exercice était de faire la comparaison de quelques modèles de qualité de l'air lors de la campagne de mesure EMEFS-I<sup>3</sup> de l'été 1988 (Hansen *et al.*, 1990). Nous utilisons encore aujourd'hui la même base de données d'émissions. Un outil de traitement, le Canadian Emissions Processing System, noté CEPS (Ortech Corporation, 1997), sera bientôt disponible afin d'automatiser la complexe tâche de transformer les inventaires nationaux en données utilisables par les modèles. Avec CEPS, il sera alors possible de préparer les champs d'émissions pour les modèles en utilisant les inventaires de 1990 ou de 1995.

<sup>2</sup> ADOM = Acid Deposition and Oxidant Model

<sup>3</sup> EMEFS = voir la liste des abréviations

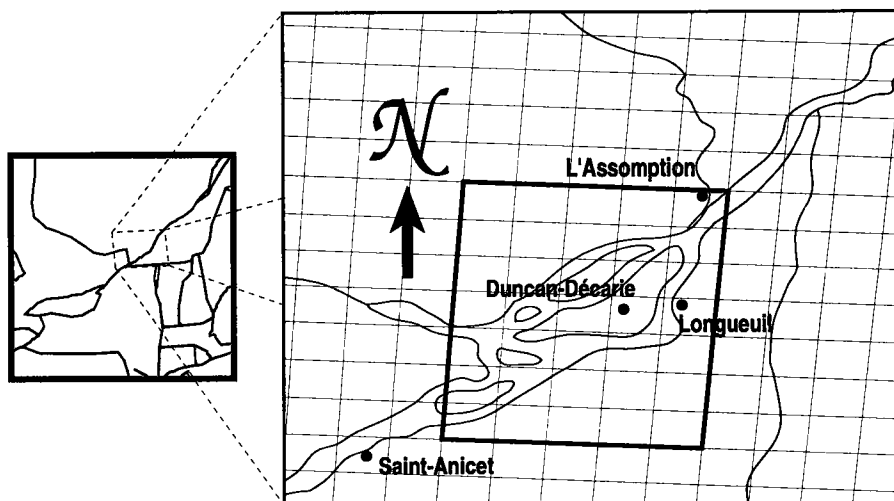


## 4. REDISTRIBUTION SPATIALE DES ÉMISSIONS DE SOURCES MOBILES

Dans la section précédente, nous avons vu que seuls les inventaires d'émission de 1985 étaient disponibles pour utilisation dans les modèles de qualité de l'air à points de grille. L'algorithme qui a été utilisé pour faire la répartition spatiale des émissions mobiles donne des champs adéquats pour les applications à plus basse résolution (35 km et plus). Cependant, lorsque nous interpolons ces champs sur une grille à haute résolution telle que 12 km, les résultats obtenus ne correspondent pas à la distribution réelle du trafic sur les routes et les autoroutes. Nous désirons améliorer le champ des émissions mobiles dans la région de Montréal et l'utiliser pour faire une simulation à haute résolution de CHRONOS durant la période du 8 au 14 juin 1996. Nous allons comparer ensuite les résultats avec ceux obtenus dans l'expérience utilisant les champs originaux décrite dans Morneau et Benjamin (1998). Cette étude nous permettra donc d'évaluer la sensibilité du modèle CHRONOS au changement de configuration du champ d'émission des sources mobiles et de déterminer si l'effort de présenter des données à haute résolution se traduit par une diminution de l'erreur du modèle par rapport aux observations.

Pour estimer les émissions mobiles durant l'été 1996 dans la région de Montréal, il n'est pas indiqué d'appliquer un facteur de correction au champ d'émissions de 1985 existant en utilisant l'augmentation de la flotte véhiculaire entre 1985 et 1996 au Québec. D'une part, les méthodes d'estimation des inventaires ont changé depuis et la proportion des émissions de chaque composé des véhicules a changé aussi. D'autre part, les régions limitrophes comme l'Ontario et le nord-est des États-Unis conserveraient les valeurs d'émissions de 1985, ce qui pourrait causer des inconsistances importantes et nous empêcher de tirer des conclusions appropriées. En conséquence, le champ original préparé par Ortech valide en 1985 sera conservé tel quel, sauf dans la région de Montréal où il sera modifié pour tenir compte de la distribution de population et de l'achalandage routier en heure de pointe. La figure 1 illustre la région où nous allons modifier les champs d'émissions en relation avec la grille entière du modèle CHRONOS de 70 points de côté à la résolution de 12 km. La sous-grille d'intérêt couvre la région de Montréal et contient 6 points de grille dans la direction est-ouest et 8 points dans la direction nord-sud.

La valeur des émissions à chaque point de grille sera obtenue à partir d'une combinaison linéaire de la densité de population et de l'achalandage routier. La masse totale de chaque polluant émis à l'intérieur de la sous-grille de 6 par 8 points sera conservée, mais les valeurs individuelles sont redistribuées selon le poids reçu par la combinaison linéaire. Cette combinaison linéaire reliant les distributions est une fonction de l'heure de la journée. Par exemple, aux heures de pointe, seulement l'achalandage routier est pris en compte, tandis que la nuit on ne tient compte que de la densité de population.

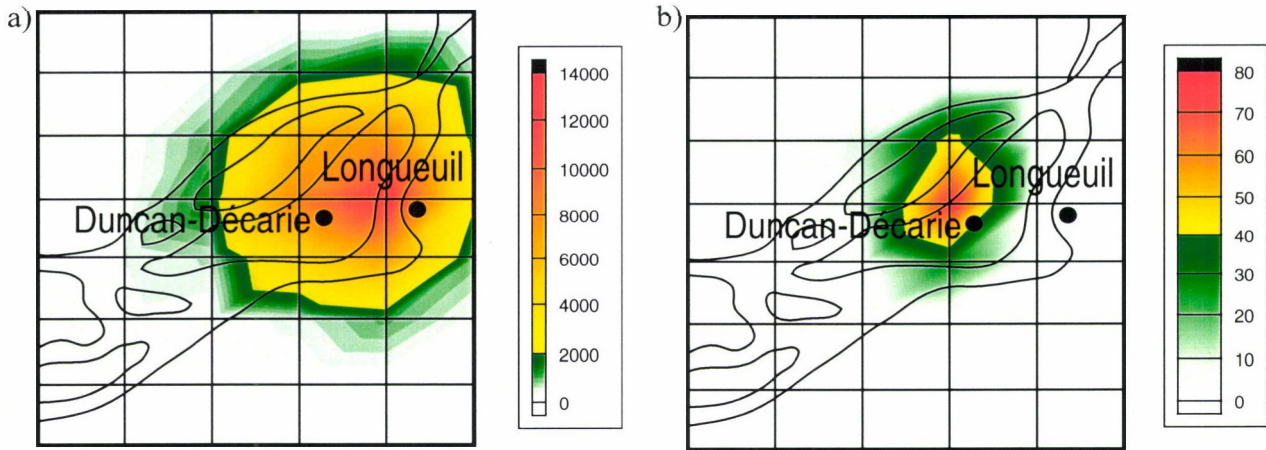


**Figure 1** Région où les émissions de sources mobiles sont raffinées à haute résolution.

- \* La zone de 6 points par 8 points de grille est entourée d'un trait gras sur la carte de droite. Le quadrillage représente la grille du modèle à la résolution de 12 km. La carte de gauche illustre le domaine entier d'intégration de CHRONOS sur cette grille.

Le recensement de 1991 (voir appendice A) a été utilisé pour calculer la densité de population dans chaque district électoral fédéral. La valeur de la densité est attribuée au centre géographique de chaque district et a par la suite été interpolée sur la sous-grille du modèle par la méthode de krigeage. Le résultat est illustré à la figure 2a.

Les émissions d'oxydes d'azote ( $\text{NO}_x$ ) dans la région de Montréal par le trafic routier sont disponibles pour la période de pointe du matin de 1991. Les données ont été calculées par le Ministère des transports du Québec en utilisant un modèle de trafic routier en heure de pointe couplé au modèle Mobile 5C qui calcule les émissions de polluants. Les taux d'émissions obtenus sont ensuite interpolés sur tous les points de la sous-grille de 6 par 8 points. La figure 2b illustre la distribution spatiale de ce champ d'émissions de  $\text{NO}_x$ . On trouvera à l'appendice B le détail des émissions de  $\text{NO}_x$  par municipalité. Ces émissions de  $\text{NO}_x$  sont utilisées comme indicateur de l'achalandage routier.



**Figure 2** Facteurs utilisés pour redistribuer les émissions mobiles dans la région de Montréal.

a) La densité de population en habitants/km<sup>2</sup>; b) L'achalandage routier en heure de pointe basé sur les émissions de NO<sub>x</sub> (aucune unité).

À partir des valeurs de densité de population et d'achalandage routier à tous les points de la sous-grille, nous allons modifier les valeurs du fichier d'émissions mobiles original en conservant le total à l'intérieur. Soient  $T_{6 \times 8}(s, t)$  la somme de toutes les émissions du polluant  $s$  au temps  $t$  dans la sous-grille de  $6 \times 8$  points,  $p_{ij}$  et  $t_{ij}$  respectivement la densité de population et l'achalandage routier à chaque point de grille  $ij$ , on définit les nouvelles valeurs des émissions  $E$  du polluant  $s$  au temps  $t$  par :

$$E_{ij}(s, t) = T_{6 \times 8}(s, t) \left[ \lambda_p(t) \frac{p_{ij}}{\sum p_{ij}} + \lambda_t(t) \frac{t_{ij}}{\sum t_{ij}} \right], i=1 \text{ à } 6 \text{ et } j=1 \text{ à } 8$$

avec

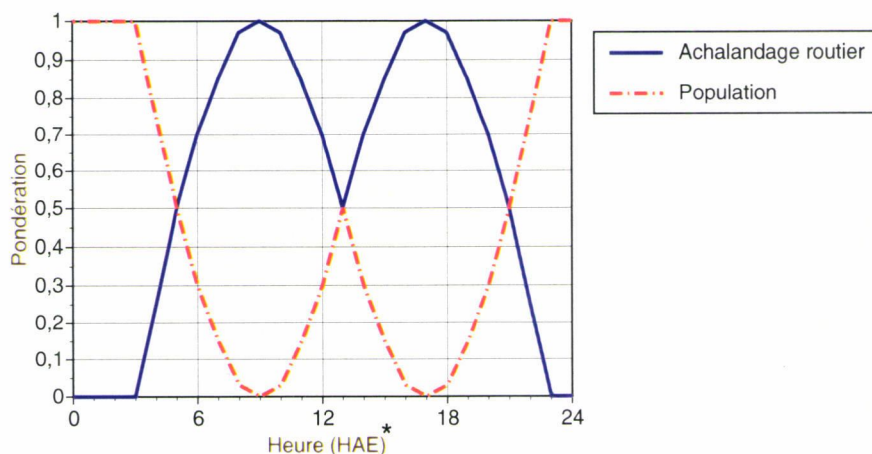
$$\lambda_p + \lambda_t = 1$$

où  $\lambda_p$  et  $\lambda_t$  sont les poids attribués à chacune des distributions.

On s'assure par cette formulation que le total du nouveau champ d'émissions est identique à l'ancien total et que la proportion des émissions attribuée à chaque point de grille est proportionnelle aux champs voulus.

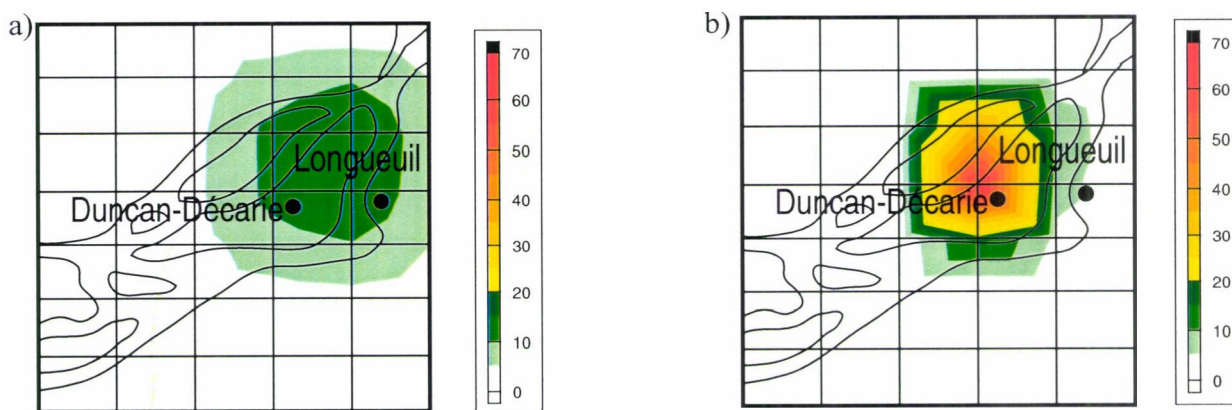
Les facteurs de pondération  $\lambda_p$  et  $\lambda_t$  sont des fonctions du temps et utilisés pour ajuster les émissions sur une distribution ou l'autre selon l'heure de la journée. À 9 h HAE et à 17 h HAE, seule la distribution de l'achalandage routier compte, tandis que la nuit, seule la distribution de population compte. À l'extérieur de ces périodes, les deux distributions contribuent en partie. On trouvera illustrées à la figure 3 les valeurs de  $\lambda_p$  et  $\lambda_t$  en fonction de l'heure de la journée.

La figure 4 montre un exemple d'application de la méthode de redistribution des émissions en illustrant les valeurs originales et les valeurs modifiées des émissions de dioxyde d'azote  $\text{NO}_2$  en semaine à 15 h heure avancée de l'est. On remarquera que le champ pondéré par le trafic routier présente un gradient de valeurs nettement plus prononcé avec un pic correspondant aux axes routiers majeurs de Montréal.



**Figure 3** Fonctions de pondération entre l'achalandage routier et la densité de population.

\* Les heures sont données en heure avancée de l'est.



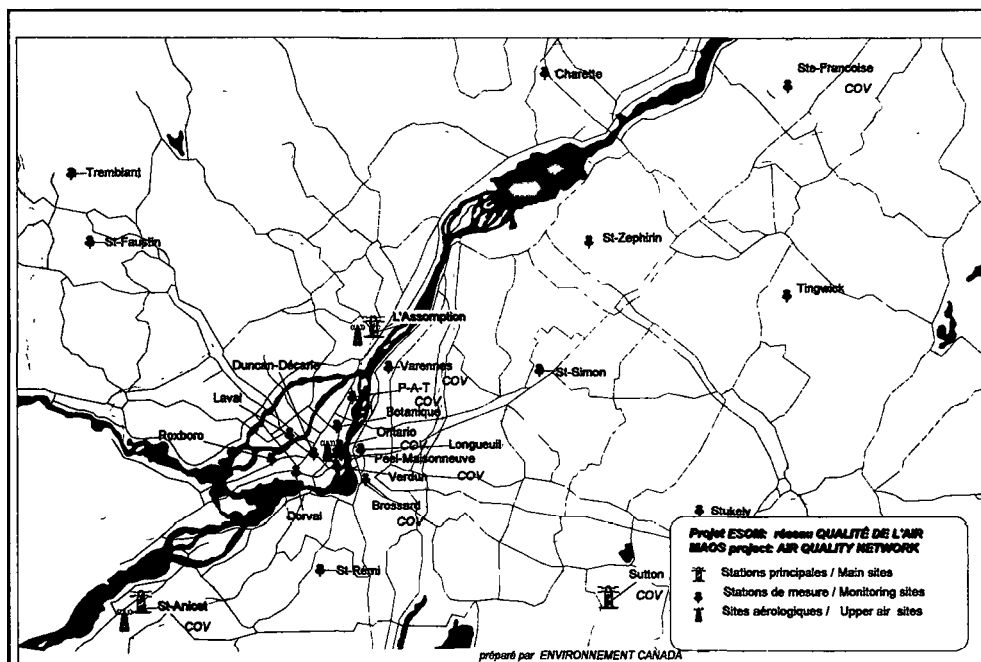
**Figure 4** Émissions de  $\text{NO}_2$  en semaine à 15 h heure avancée de l'est (en  $\text{g s}^{-1}$  par point de grille).

a) Les données originales à basse résolution; b) Le champ d'émissions modifié tenant compte de l'achalandage routier et de la population.

## 5. RÉSULTATS DES SIMULATIONS DE CHRONOS

Le champ d'émissions mobiles obtenu ci-dessus a servi à alimenter le modèle de qualité de l'air CHRONOS pour la simulation de la période du 8 au 14 juin 1996 sur la grille fine de 12 km. Cette simulation est identique à celle effectuée dans l'étude précédente (Morneau et Benjamin, 1998) à l'exception du champ des émissions mobiles dont les valeurs ont été redistribuées pour mieux représenter l'achalandage routier à haute résolution. Nous allons comparer les résultats des deux séries de simulations afin d'être en mesure d'évaluer si une représentation spatiale plus fidèle du champ des émissions rapproche la solution du modèle des observations. Nous mettons l'accent ici sur la différence entre les deux simulations. Les données provenant de la simulation obtenue avec les émissions mobiles modifiées seront quelquefois identifiées par le mot *trafic* dans le texte qui suit et sur les figures à venir.

Les observations disponibles sur le sud du Québec durant la période à l'étude du 8 au 14 juin 1996 proviennent de la campagne de mesure ESOM<sup>4</sup>. Nous avons 20 stations de mesure de l'ozone en surface dans la vallée du Saint-Laurent et une station de mesure d'ozone en altitude à L'Assomption. Le réseau de mesure est illustré sur la figure 5. Comme les caractéristiques des concentrations d'ozone diffèrent beaucoup selon l'emplacement par rapport aux centres urbains importants, les stations utilisées pour faire la comparaison avec le modèle ont été regroupées en trois sous-régions. Une sous-région englobe les stations urbaines caractérisées par des concentrations d'ozone basses et de NO<sub>x</sub> élevées. Les deux autres sous-régions contiennent les stations rurales, une est située au sud-ouest de Montréal et l'autre au nord-est. Le lecteur est prié de se référer à Morneau et Benjamin (1998) pour plus de détails sur cette subdivision.



**Figure 5** Réseau de mesure de qualité de l'air déployé sur le sud du Québec à l'été 1996 lors de ESOM.

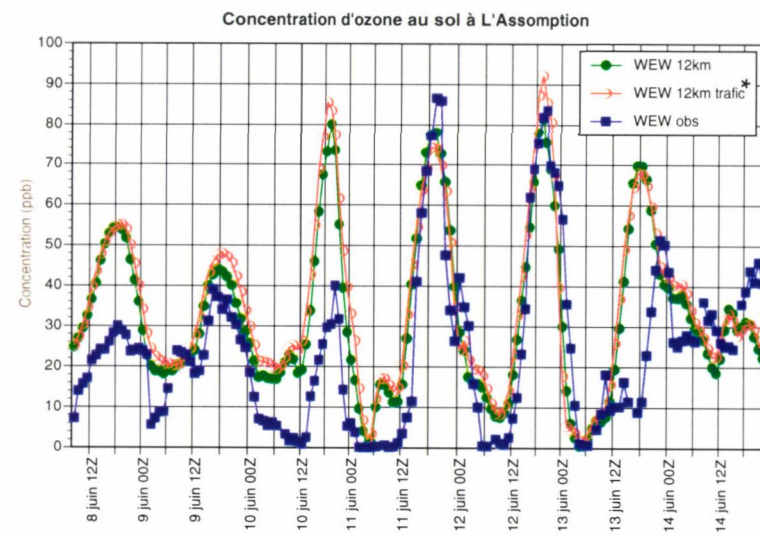
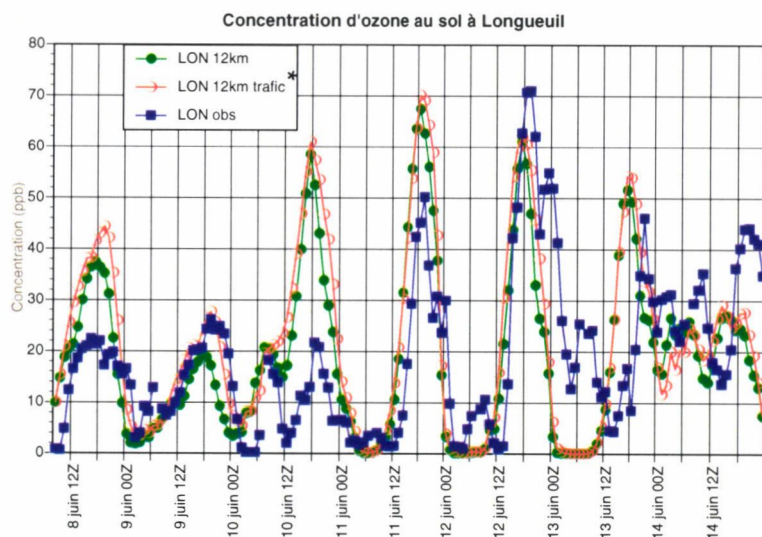
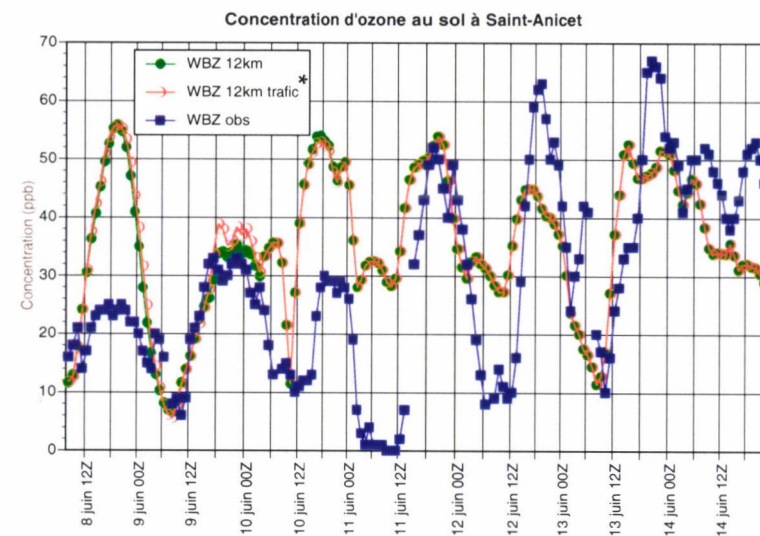
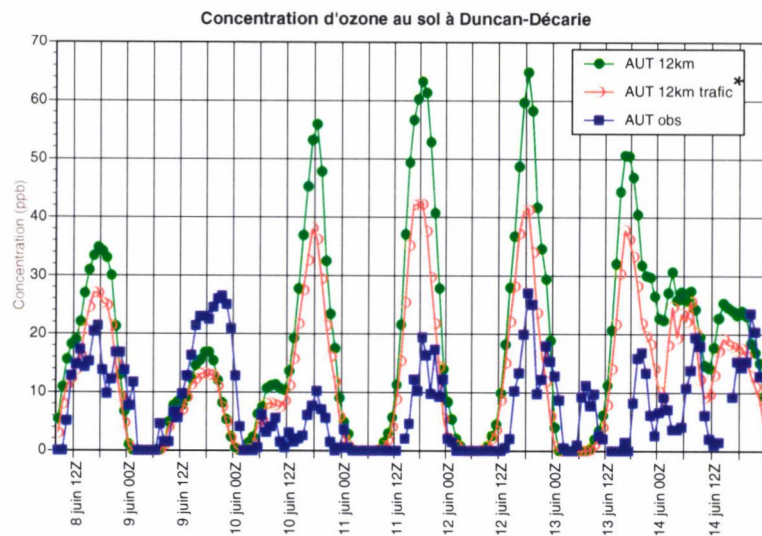
<sup>4</sup> EMOM = Étude sur les oxydants dans la région de Montréal

## 5.1 Comparaison des séries temporelles en surface

La figure 6 montre les variations temporelles des concentrations d'ozone simulées et observées en surface à différentes stations sur le sud du Québec. Ce sont les stations urbaines de Longueuil et Duncan-Décarie et les stations rurales de Saint-Anicet et L'Assomption. Ces figures nous permettent de comparer visuellement les observations avec les deux simulations de CHRONOS, l'une utilisant les émissions mobiles originales et l'autre le champ modifié selon l'achalandage routier et la population. Le modèle reproduit bien les caractéristiques générales des concentrations d'ozone par la synchronicité des maximums et minimums et l'allure générale de la courbe.

Examinons maintenant les différences entre les deux simulations de CHRONOS pour les stations à l'intérieur de la sous-grille et puis pour celles à l'extérieur. À l'intérieur, nous avons sélectionné Duncan-Décarie et Longueuil. À l'extérieur de la sous-grille, Saint-Anicet et L'Assomption ont été choisies pour avoir un échantillon de part et d'autre de l'îlot urbain de Montréal. L'examen du graphe à la station Duncan-Décarie (figure 6a), située à l'intersection de deux autoroutes, révèle que le nouveau champ d'émissions mobiles rapproche les valeurs du modèle des observations en diminuant significativement l'intensité des pics d'ozone d'après-midi. On attribue ce fait à l'intensité beaucoup plus élevée des émissions de  $\text{NO}_x$  à cet endroit dans le champ d'émissions modifié que dans les données originales. Cette station est d'ailleurs située près du maximum des émissions de  $\text{NO}_x$ . On note dans les séries temporelles à Longueuil (figure 6b) que la concentration d'ozone du modèle utilisant les émissions modifiées est légèrement supérieure à celle obtenue avec les émissions originales. Ce fait est explicable par la contribution locale des émissions mobiles de  $\text{NO}_x$ , qui sont inférieures dans les données modifiées par rapport aux données originales. La différence est de l'ordre de 5 pour cent pour la concentration d'ozone résultante. Pour les deux journées ensoleillées du 11 et du 12 juin, il n'est pas possible de conclure si le nouveau schéma des émissions mobiles améliore la prévision à cette station.

À Saint-Anicet entre le 10 et le 14 juin 1996, les deux solutions du modèle sont à toute fin pratique identiques (figure 6c). Ce site n'a pas été affecté par les modifications aux émissions mobiles dans la région de Montréal, les conditions météorologiques ayant fait que la station ne s'est pas trouvée sous le vent de la ville durant la période. L'effet de la modification au champ des émissions mobiles sur le modèle se fait sentir dans la région où les changements ont été faits et sous le vent de cette région. Nous analyserons le comportement spatial des champs d'ozone produits au paragraphe 5.4. La figure 6d indique qu'à L'Assomption, les émissions modifiées n'améliorent pas les résultats du modèle. La différence entre les deux solutions pour le pic d'ozone d'après-midi est de l'ordre de 10 pour cent, ce qui est causé par la forme du panache sous le vent de la ville, qui est nettement différent entre les deux simulations comme on le verra plus bas. Il n'est toutefois pas possible de conclure que le nouveau champ d'émissions n'améliore pas les résultats. Une erreur de quelques kilomètres dans la localisation du panache peut entraîner de grandes différences dans les résultats en un point particulier sous le vent selon qu'il est situé directement sous le panache ou à côté. De plus, on compare des observations ponctuelles avec des valeurs du modèles représentatives d'une surface de 12 km de côté.

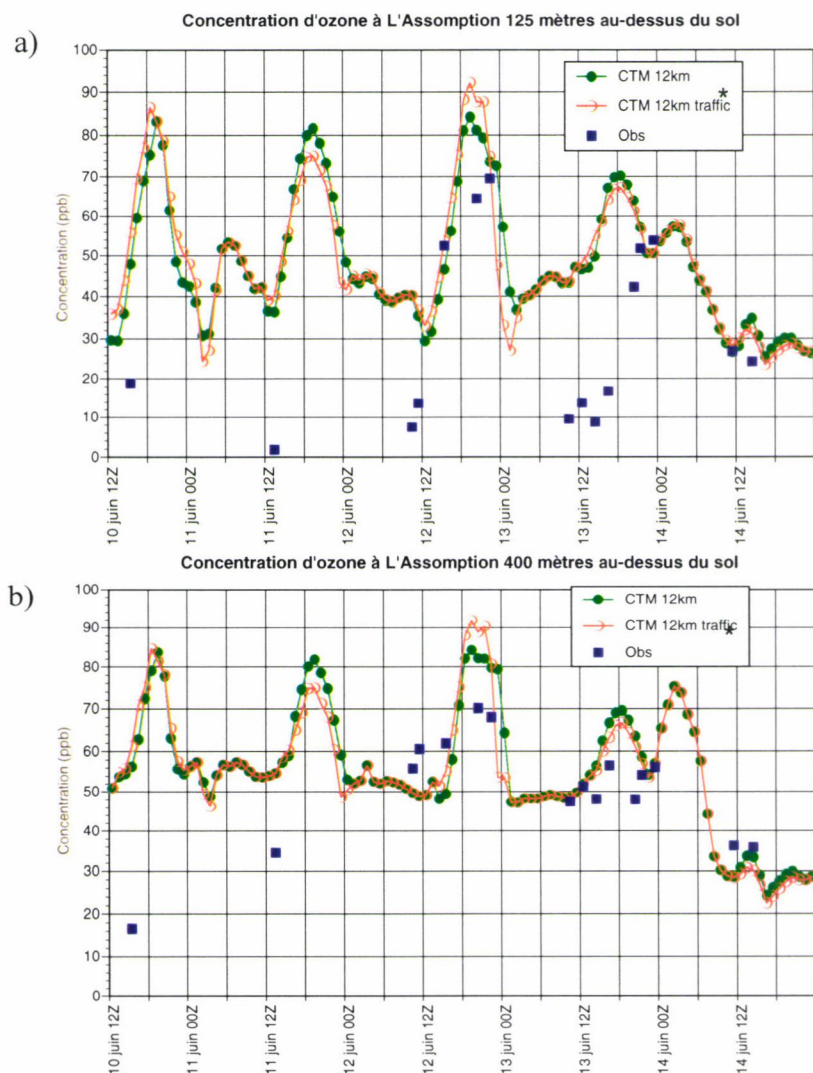


**Figure 6** Séries temporelles de la concentration d’ozone de surface d’après les observations et les deux simulations de CHRONOS à 4 stations de la région de Montréal. La période couverte est du 8 au 14 juin 1996.

\* L’étiquette « trafic » indique la simulation de CHRONOS faite en utilisant les émissions mobiles modifiées.

## 5.2 Comparaison des séries temporelles en altitude à L'Assomption

Nous comparons sur les figures 7a et 7b les observations d'ozone en altitude prises par ballons captifs à L'Assomption à 125 et 400 mètres avec les solutions du modèle. On constate une différence de l'ordre de 10 pour cent dans le pic d'après-midi entre les deux simulations, différence qui est analogue aux séries en surface. Le 12 juin en après-midi, la solution du modèle avec les émissions originales est plus près des observations à 125 et 400 mètres. Il faut cependant se garder de conclure trop rapidement en raison des facteurs mentionnés ci-dessus.



**Figure 7** Séries temporelles de la concentration d'ozone à L'Assomption

a) À 125 mètres au-dessus du sol; b) À 400 mètres au-dessus du sol. La période couverte est du 10 au 14 juin 1996, période où des sondages en altitude disponibles;

\* L'étiquette « trafic » indique la simulation de CHRONOS faite en utilisant les émissions mobiles modifiées.

### 5.3 Comparaisons entre le modèle et les observations de surface

Nous avons à notre disposition 20 stations de mesure d'ozone de surface dans le sud du Québec pour évaluer les solutions du modèle. Ces stations sont divisées en 3 sous-régions, dont 2 rurales (sud-ouest et nord-est de Montréal) et une urbaine. La sous-région sud-ouest contient 3 stations (Saint-Anicet, Saint-Rémi et Dorval), la sous-région nord-est en contient 7 (L'Assomption, Varennes, Saint-Simon, Saint-Zéphirin, Charette, Tingwick et Sainte-Françoise), tandis que la sous-région urbaine regroupe les 10 autres stations. Nous utilisons ici exactement la même méthodologie de comparaison que dans Morneau et Benjamin (1998). Nous allons calculer le biais du modèle (valeur du modèle moins observation) et l'erreur absolue des simulations avec les émissions modifiées et comparer le résultat avec ceux obtenus avec les simulations originales sur les grilles de 12 et 35 km de l'étude de 1998. La période étudiée pour ces statistiques est du 8 juin au 14 juin 1996, et toutes les observations et données de modèle disponibles d'heure en heure ont servi dans le calcul.

Les figures 8a et 8b illustrent le biais et l'erreur absolue du modèle par sous-région pour les intégrations sur la grille de 12 km et de 35 km. Les deux intégrations sur la grille fine sont celles utilisant le champ d'émissions original et le champ d'émissions modifié. On constate que le champ d'émissions modifié donne de meilleurs résultats que le champ original dans la zone urbaine, similairement aux conclusions tirées de l'examen de la série temporelle de la station Décarie-Duncan. L'erreur du modèle dans la sous-région du nord-est est supérieure quand le nouveau champ d'émissions est utilisé, à l'instar des séries temporelles de L'Assomption, ce qui laisse présumer que le panache de pollution du modèle est trop fort ou qu'il est mal positionné. Nous allons analyser plus en détail les caractéristiques du panache des 11 et 12 juin 1996 au prochain paragraphe.

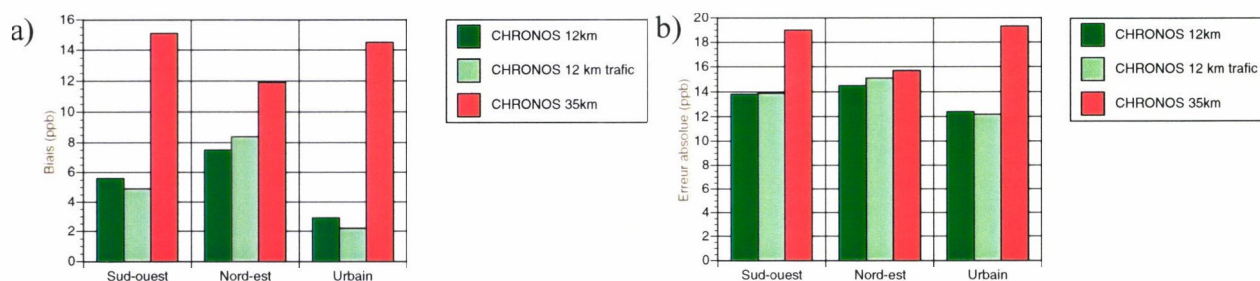


Figure 8 Statistiques de comparaison entre les observations horaires d'ozone de surface et les deux simulations de CHRONOS pour la période du 8 au 14 juin 1996.

a) Le biais du modèle; b) L'erreur absolue du modèle

Une comparaison similaire a été faite pour évaluer l'habileté du modèle à prédire le maximum quotidien par sous-région, pour les deux sous-régions rurales seulement. Les résultats sont illustrés sur les figures 9a et 9b. Les nouvelles émissions améliorent les résultats pour le sud-ouest, ce qui est causé par une meilleure performance à la station de Dorval qui est la seule à être affectée par le changement de ce champ. Nous avons vu en effet que les séries temporelles à Saint-Anicet sont pratiquement identiques selon l'un ou l'autre des champs d'émissions parce que la station ne s'est pas trouvée sous le vent de la zone formée par la sous-grille modifiée. À l'instar des résultats de la comparaison d'heure en heure illustrés sur les figures 8, le nouveau champ d'émissions mobiles ne donne pas de meilleurs résultats que le champ original pour la sous-région au nord-est de Montréal.

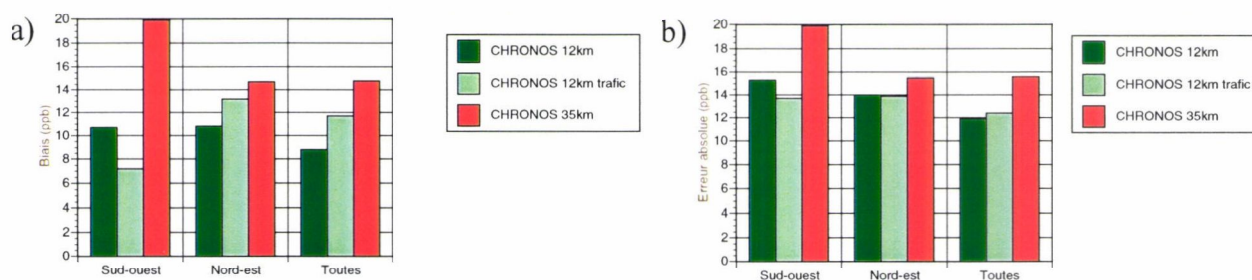


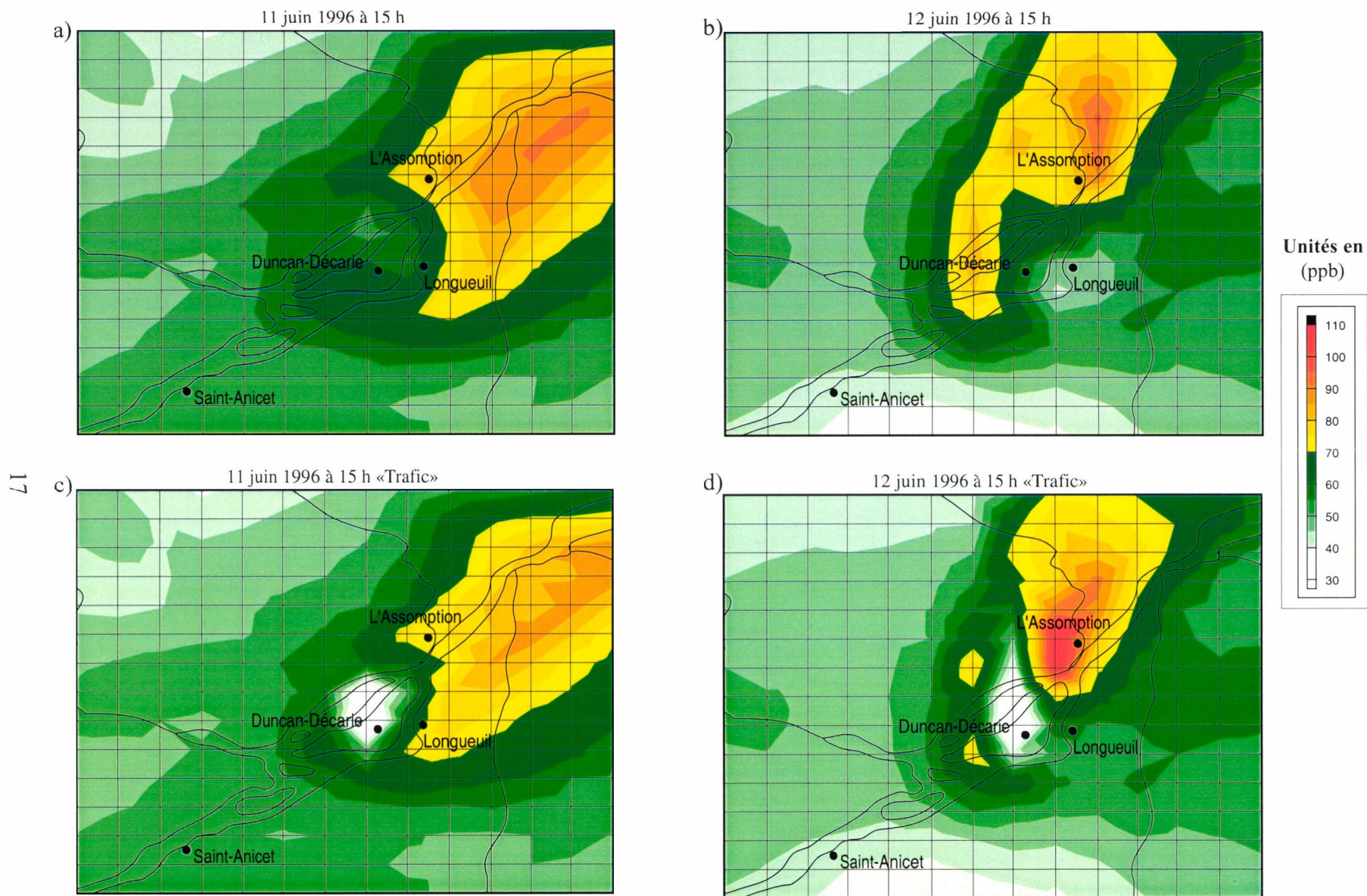
Figure 9 Statistiques de comparaison entre le maximum quotidien d'ozone observé et les valeurs prédites par le modèle entre le 8 et le 14 juin 1996.

a) Le biais du modèle pour chaque sous-région rurale; b) L'erreur absolue

#### 5.4 Comparaisons spatiales

Nous allons comparer les champs de concentrations d'ozone en surface produits par chacun des scénarios d'émissions mobiles. Nous avons sélectionné les cas du 11 et 12 juin 1996 à 15 h, qui sont deux journées caractérisées par un temps généralement ensoleillé accompagné de concentrations d'ozone supérieures au seuil de 82 ppb par endroits. L'heure sélectionnée correspond à la période de la journée où l'activité photochimique est élevée et durant laquelle les concentrations d'ozone ont atteint leur maximum. On trouvera sur la figure 10 les résultats du modèle pour chacun des scénarios d'émissions pour les deux jours à analyser.

Le 11 juin à 15 h, les vents étaient du sud-ouest dans la couche limite sur toute la région couverte par la figure 10. Les simulations de CHRONOS montrent un panache de concentrations élevées d'ozone s'étirant vers le nord-est à partir de Montréal. La simulation utilisant les émissions mobiles modifiées donne des concentrations plus faibles à la fois ci-dessus de Montréal et dans le panache en aval. On observe un minimum dans les concentrations d'ozone sur Montréal, dans la zone correspondant au maximum des émissions d'oxyde d'azote, maximum qui est beaucoup plus fort dans le champ modifié que dans le champ original. Même si les émissions de  $\text{NO}_x$  sont plus intenses sur Montréal dans le champ modifié, les concentrations d'ozone en aval sont plus faibles que dans le scénario original. À L'Assomption, la valeur du modèle avec les émissions originales est de 78 ppb,



**Figure 10** Concentrations d’ozone prévues par le modèle les 11 et 12 juin 1996 à 15 h selon les deux simulations.

ce qui est plus près de l'observation de 86,6 ppb qu'en utilisant le scénario modifié qui donne une concentration de 74 ppb. Par contre, les concentrations maximales dans le panache à l'est de L'Assomption sont trop élevées dans les deux simulations, celle utilisant les émissions modifiées étant légèrement plus près des observations. Aucune station de mesure n'est située près du maximum prévu, mais en périphérie du maximum, notons que Saint-Simon rapporte 43 ppb alors que les valeurs prévues sont 70 ppb (champ modifié) et 73 ppb (champ original); Saint-Zéphirin, qui observe 48 ppb, a des valeurs prévues de 81 ppb (champ modifié) et 83 ppb (champ original). Dans les régions non affectées par la modification du champ des émissions, à l'ouest et au sud de la région de Montréal, les deux simulations sont semblables.

Le 12 juin à 15 h, les vents dans les bas niveaux de l'atmosphère étaient en général du sud sur la région analysée. On note sur Montréal (figure 10) une zone de faible concentration d'ozone correspondant au maximum d'émissions de  $\text{NO}_x$ . Cette zone est plus accentuée avec des gradients plus élevés dans la simulation utilisant le champ d'émissions modifié. Les concentrations maximales d'ozone en surface sont situées en périphérie de la zone urbaine vers l'ouest, le nord et le nord-est. Examinons d'abord le maximum sur l'ouest de l'île de Montréal. La station de Roxboro a rapporté une concentration d'ozone de 65 ppb à 15 h. La simulation avec émissions originales indique 78 ppb tandis que celle avec le champ modifié donne 65 ppb, semblable à la valeur mesurée. Le maximum principal au nord-est de Montréal prévu dans les deux simulations est situé soit à l'ouest de L'Assomption (champ modifié), soit à l'est (champ original). Si on se réfère à la figure 6d, la valeur observée à L'Assomption de 82 ppb est mieux captée par la simulation avec champ original qui donne 81 ppb que par la simulation utilisant les émissions modifiées qui, elles, donne 92 ppb. À l'examen de la figure 10, on note toutefois que le gradient de concentrations d'ozone est très élevé dans cette région de sorte que la valeur des concentrations varie beaucoup dans le voisinage de la station. Il est difficile de conclure lequel des deux maximums représente le mieux la réalité, malgré qu'avec les mesures disponibles à L'Assomption, les résultats de la simulation avec émissions originales semblent être plus réalistes. Les résultats du modèle nous indiquent néanmoins que des stations de mesure additionnelles devraient être déployées dans la périphérie nord et nord-est de Montréal, L'Assomption étant la seule station dans cette région.

Nous avons extrait des figures 10 quelques statistiques sur la distribution de l'ozone de surface produite par chacune des simulations de CHRONOS. Il s'agit de la valeur du minimum urbain de Montréal, du maximum observé en aval et de la superficie de la région dont la concentration est supérieure à 80 ppb. Les résultats sont indiqués au tableau I. Il ressort que le minimum urbain de Montréal par la simulation utilisant les émissions mobiles modifiées est plus représentatif des stations du centre-ville et le long des autoroutes. Les valeurs produites par la simulation originale sont nettement trop élevées dans les deux cas. La concentration maximale en aval de Montréal n'a pas de tendance claire selon le scénario, c'est-à-dire que tantôt la simulation originale donne une valeur supérieure au scénario « trafic », tantôt c'est l'inverse. L'étude nécessitera plus de cas pour être concluante. Le panache de pollution produit par le champ d'émissions modifiées est plus étroit que celui de la simulation originale. En effet, la superficie couverte par des concentrations supérieures à 80 ppb est plus grande dans le scénario original par un facteur de deux approximativement.

Même s'il s'agit d'une expérience portant sur deux cas seulement, elle indique une certaine tendance du modèle à montrer une sensibilité non négligeable à la modification du champ d'émissions, à la fois localement dans la région de la modification et en aval de Montréal.

**Tableau I**

Comparaison des caractéristiques spatiales des champs de concentration d'ozone de surface obtenus avec les 2 scénarios de CHRONOS pour les 11 et 12 juin 1996 à 15 h.

| Date         | Scénario | Minimum urbain<br>(ppb) | Concentration<br>maximale<br>(ppb) | Superficie [O <sub>3</sub> ] > 80 ppb<br>(km <sup>2</sup> ) |
|--------------|----------|-------------------------|------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| 11 juin 15 h | Original | 53,3                    | 92,3                               | 228                                                         |
|              | Trafic   | 19,3                    | 89,9                               | 144                                                         |
| 12 juin 15 h | Original | 44,1                    | 96,9                               | 132                                                         |
|              | Trafic   | 20,0                    | 107,8                              | 72                                                          |

•

•

•

•

•

•

•

•

•

•

•

•

•

## 6. CONCLUSION

L'objectif de cette étude était de déterminer comment une meilleure définition spatiale des champs d'émissions de sources mobiles dans la région de Montréal modifierait les simulations d'un modèle de qualité de l'air appliqué à haute résolution sur le sud du Québec. Les champs d'émissions mobiles présentement disponibles à basse résolution ont été modifiés tenant compte de l'achalandage routier et de la distribution de la population pour en arriver à des champs à haute résolution de 12 km. Les nouveaux champs sont caractérisés par des sources de polluants beaucoup plus localisées dans la région du centre-ville de Montréal que celles des champs originaux, avec une intensité maximale trois à quatre fois plus élevée pour balancer la diminution d'étendue spatiale. Le modèle CHRONOS a été utilisé pour simuler la qualité de l'air du 8 au 14 juin 1996 sur le sud du Québec et les résultats du modèle ont été comparés avec les observations prises lors de ESOM 1996 ainsi qu'avec les simulations du même modèle mais basées sur les taux d'émissions mobiles originaux.

La simulation basée sur les émissions mobiles à haute résolution diffère de la simulation de base dans la région où les émissions ont été modifiées et sous le vent de cette région. La concentration d'ozone en milieu urbain à Montréal est mieux représentée par cette simulation que par la simulation utilisant les émissions originales à plus basse résolution. Par contre, l'erreur du modèle pour la prédiction des valeurs horaires est augmentée d'environ 10 pour cent dans la région sous le vent au nord-est de Montréal. Pour ce qui est de la prédiction du maximum quotidien d'ozone à l'extérieur de la zone urbaine, on observe une amélioration du modèle sur le sud-ouest de Montréal, ce qui est dû à une meilleure représentation à la station de Dorval qui est située à la limite entre la région rurale et la région urbaine. À l'instar de la comparaison des valeurs horaires, aucune amélioration n'est observée dans la région nord-est lorsque le nouveau champ d'émissions est utilisé. Nous avons aussi comparé la distribution spatiale d'ozone en surface aux heures de concentrations maximales. Le panache en aval de Montréal est plus étroit dans la simulation basée sur les émissions à haute résolution, et le trou d'ozone urbain est beaucoup plus prononcé, ce qui est plus près des valeurs observées. Il n'est toutefois pas possible de conclure si le panache plus étroit en aval est plus fidèle à la réalité à cause d'un nombre insuffisant de stations de mesure au nord-est de Montréal.



## RÉFÉRENCES

- BENOIT, R., M. DESGAGNÉ, P. PELLERIN, S. PELLERIN, Y. CHARTIER ET S. DESJARDINS. (1997) « The Canadian MC2 : A Semi-Lagrangian, Semi-Implicit Wideband Atmospheric Model Suited for Finescale Process Studies and Simulation ». *Monthly Weather Review*, vol. 125, p. 2382-2415.
- CANADIAN 1996 NO<sub>x</sub>/VOC Science Assessment (1997) « Modelling of ground level ozone in the Windsor-Québec City Corridor and in the Southern Atlantic Region ». Rapport du groupe de travail WQC-SAR Modelling and Measurement, 265 p.
- HANSEN, D. A., K. J. PUCKETT, J. J. JANSEN, M. LUSIS ET J. S. VICKERY. (1990) « The Eulerian Model Evaluation Field Study (EMEFS) ». In *Proc. AMS Seventh joint Conf. Appl. Air Pollution Meteorology with AWMA*, New Orleans, p. 58-62.
- LURMANN, F. W., A. C. LLOYD et R. ATKINSON (1986) « A Chemical Mechanism for Use in Long-Range Transport/Acid Deposition Computer Modeling », *Journal of Geophysical Research*, vol. 91 D10, p. 10905-10936.
- MORNEAU, G. et M. BENJAMIN (1998) « Application de MC2/CTM à haute résolution sur le sud-ouest du Québec et comparaison avec les mesures prises lors de ESOM-MERMOZ en 1996 ». Rapport interne, Environnement Canada, Saint-Laurent, Environnement Canada, 23 p.
- ORTECH CORPORATION (1997) « Canadian Emissions Processing Systems (CEPS 1.0) Users guide ». Rapport no 97-10193 pour Environnement Canada, 26 novembre 1997.
- PHILPOT, S. (1993) « MOBILE5C Users Guide », Ottawa, Environnement Canada, 1993.
- PUDYKIEWICZ, J. A., A. KALLAUR et P. K. SMOLARKIEWICZ (1997) « Semi-Lagrangian modelling of tropospheric ozone ». *Tellus*, vol. 49B, p. 231-248.
- US-EPA (1994) « User's Guide to Mobile5 (Mobile Source Emission Factor Model) ». EPA-AA-AQAB-94-01, North Carolina, U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park

•

•

•

•

•

•

•

•

## **APPENDICES**



## Appendice A

Données du recensement de 1991 par district électoral fédéral de la région de Montréal

| District                        | Population | Superficie (km <sup>2</sup> ) | Densité de population<br>(hab./km <sup>2</sup> ) |
|---------------------------------|------------|-------------------------------|--------------------------------------------------|
| Ahuntsic                        | 89 954     | 15,26                         | 5 895                                            |
| Anjou/Rivière-des-Prairies      | 111 128    | 36,34                         | 3 058                                            |
| Argenteuil                      | 84 119     | 3 600,00                      | 23                                               |
| Beauharnois                     | 88 024     | 1 600,00                      | 55                                               |
| Blainville/Deux-Montagnes       | 145 292    | 134,00                        | 1 084                                            |
| Bourassa                        | 85 516     | 11,03                         | 7 753                                            |
| Chambly                         | 103 627    | 250,00                        | 415                                              |
| Chateauguay                     | 102 305    | 250,00                        | 409                                              |
| Laval est                       | 103 189    | 80,00                         | 1 290                                            |
| Hochelaga-Maisonneuve           | 83 172     | 15,50                         | 5 366                                            |
| Joliette                        | 111 863    | 250,00                        | 447                                              |
| Lachine/Lac-Saint-Louis         | 99 781     | 67,93                         | 1 469                                            |
| La Prairie                      | 111 771    | 100,00                        | 1 118                                            |
| LaSalle/Émard                   | 93 542     | 16,42                         | 5 697                                            |
| Laurentides                     | 115 667    | 1500,00                       | 77                                               |
| Laurier/Sainte-Marie            | 79 378     | 13,10                         | 6 059                                            |
| Laval ouest                     | 108 671    | 50,00                         | 2 173                                            |
| Laval centre                    | 102 538    | 40,00                         | 2 563                                            |
| Longueuil                       | 111 847    | 30,00                         | 3 728                                            |
| Mercier                         | 100 000    | 43,38                         | 2 305                                            |
| Mont-Royal                      | 94 296     | 22,67                         | 4 160                                            |
| Notre-Dame-de-Grâce             | 78 703     | 12,28                         | 6 409                                            |
| Outremont                       | 94 124     | 11,27                         | 8 352                                            |
| Papineau/Saint-Michel           | 85 440     | 10,30                         | 8 295                                            |
| Pierrefonds/Dollard-des-Ormeaux | 116 085    | 65,66                         | 1 768                                            |
| Rosemont                        | 87 257     | 6,60                          | 13 221                                           |
| Saint-Denis                     | 90 211     | 10,63                         | 8 484                                            |
| Saint-Henri/Westmount           | 84 965     | 11,96                         | 7 104                                            |
| Saint-Hubert                    | 115 118    | 40,00                         | 2 878                                            |
| Saint-Laurent/Cartierville      | 95 015     | 52,07                         | 1 825                                            |
| Saint-Léonard                   | 87 843     | 13,63                         | 6 445                                            |
| Terrebonne                      | 152 721    | 150,00                        | 1 018                                            |
| Vaudreuil                       | 110 838    | 39,93                         | 2 776                                            |
| Verchères                       | 96 594     | 300,00                        | 322                                              |
| Verdun/Saint-Paul               | 86 405     | 15,37                         | 5 622                                            |

## Appendice B

Émissions de NO<sub>x</sub> pour la saison printemps-automne 1991  
Période de pointe du matin - journée de semaine

| Municipalité                    | Émissions totales<br>(kg) | Émissions par unité de surfaces<br>(kg/km <sup>2</sup> ) |
|---------------------------------|---------------------------|----------------------------------------------------------|
| CUM Centre-Ville                | 1 100                     | 76                                                       |
| CUM Centre-Sud                  | 2 300                     | 27                                                       |
| CUM Centre-Est                  | 1 500                     | 31                                                       |
| CUM Centre-Ouest                | 1 900                     | 28                                                       |
| CUM Centre-Nord                 | 2 000                     | 45                                                       |
| CUM Ouest                       | 1 600                     | 11                                                       |
| CUM Est                         | 1 700                     | 19                                                       |
| CUM                             | 12 000                    | 24                                                       |
| Laval Ouest                     | 300                       | 9                                                        |
| Laval Centre                    | 1 500                     | 11                                                       |
| Laval Est                       | 200                       | 3                                                        |
| Laval                           | 2 000                     | 8                                                        |
| MRC Deux-Montagne*              | 200                       | 1                                                        |
| MRC Thérèse-de-Blainville       | 600                       | 5                                                        |
| MRC Les Moulins                 | 600                       | 2                                                        |
| MRC L'Assomption*               | 300                       | 1                                                        |
| Rive-Nord                       | 1 700                     | 2                                                        |
| MRC Champlain                   | 2 400                     | 14                                                       |
| MRC Lajemmerais*                | 600                       | 2                                                        |
| MRC La vallée du Richelieu*     | 600                       | 1                                                        |
| MRC Rousillon                   | 500                       | 1                                                        |
| MRC Les Jardins de Napierville* | 100                       | 0                                                        |
| MRC Vaudreuil-Soulanges*        | 300                       | 2                                                        |
| Rive-Sud                        | 4 600                     | 2                                                        |
| Autres secteurs                 | 1 100                     | 0                                                        |
| Total                           | 41 700                    | 325                                                      |

\* Le territoire de ces MRC n'est pas entièrement couvert par les données