

# La pollution atmosphérique par l'ozone au Québec :

## Aspects de la problématique

Ministère de l'Environnement du Québec

Août 1992

242. EN 92411

Centre de Documentation Reçu le
OCT 16 1992
Environnement - Québec

DAV

# La pollution atmosphérique par l'ozone au Québec :

## Aspects de la problématique

Ministère de l'Environnement du Québec

Août 1992

242. EN 92411

Centre de Documentation Reçu le
OCT 16 1992
Environnement - Québec

DAI:V

# La pollution atmosphérique par l'ozone au Québec :

## Aspects de la problématique

### Table des matières

<b>Préface</b>	<b>5</b>	<b>Chapitre IV. Le contrôle de l'ozone et de ses précurseurs</b>	
<b>Chapitre premier. L'état de la situation</b>		Stratégie de réduction des niveaux d'ozone dans le nord-est des États-Unis	<b>115</b>
Réseau de mesure d'ozone au Québec M. Bisson	<b>9</b>	M. Bradley	
La pollution par l'ozone au Québec R. Leduc, C. Gagnon	<b>15</b>	Protocole international sur les composés organiques volatils	<b>121</b>
Concentrations d'ozone sur le Québec méridional de 1989 à 1991 A. Robichaud	<b>41</b>	J.-P. Gauthier	
Transport à grande distance de l'ozone et de ses précurseurs dans le corridor Windsor-Québec D. Yap, D. Mignacca, D. Fraser	<b>60</b>	Contrôle des émissions de composés organiques volatils sur le territoire de la Communauté urbaine de Montréal	<b>125</b>
		Y. Bourassa	
<b>Chapitre II. Les effets de la pollution par l'ozone</b>		Impact des initiatives du Plan de gestion du CCME en matière de réduction des NOx et des COV sur l'industrie canadienne du raffinage et de la distribution du pétrole	<b>141</b>
Pollution de l'air par l'ozone et la santé P. Lajoie	<b>71</b>	R. Lafleur	
Un aperçu des risques de l'ozone pour la végétation au Québec B. Maltais	<b>77</b>	Participation d'Hydro-Québec au programme de gestion du Conseil canadien des ministres de l'Environnement (CCME) des émissions d'oxydes d'azote	<b>151</b>
L'ozone, un ennemi silencieux : ses effets sur l'allocation des ressources et la résistance au froid et aux insectes de l'érable à sucre J.-P. Renaud, Y. Maufette, G. Allard, C. Boulais, M. Constantin, M. Fortin, A. Minero-Amador	<b>83</b>	L. Varfalvy	
		Élaboration d'une stratégie d'intervention pour la lutte contre la pollution par l'ozone au Québec	<b>155</b>
		A. Marsan, L. Lapointe, R. Brulotte	
<b>Chapitre III. Les polluants précurseurs</b>			
Inventaire des émissions de NOx et de COV au Québec C. Chhem, R. Brulotte	<b>97</b>		
Mesure des hydrocarbures biogéniques volatils à Duchesnay (Québec) B. Clément, V. Simon, L. Torres, M. Baril, R. Leduc	<b>107</b>		

## Préface

À l'occasion du IX<sup>e</sup> Congrès mondial sur l'air pur, le ministère de l'Environnement du Québec (MENVIQ) a tenu à présenter aux congressistes un document sur le problème de la pollution atmosphérique par l'ozone au Québec. On trouvera donc dans ce recueil un ensemble de textes qui touchent aux divers aspects de cette problématique.

Le chapitre premier a pour objectif de préciser l'état de la situation en ce qui concerne la pollution atmosphérique par l'ozone au Québec. M. Bisson présente en premier lieu le réseau de mesure de l'ozone. On y constatera qu'il y a eu une rapide évolution du réseau au cours des dernières années suite aux nombreuses interrogations suscitées par le problème du dépérissement des érables au Québec. La préoccupation pour le problème de l'ozone, centrée initialement sur le milieu urbain, s'est donc étendue pour couvrir l'ensemble des écosystèmes. On peut toutefois se réjouir que le Québec, grâce aux efforts consentis dans ce domaine, dispose maintenant d'un réseau de tout premier ordre.

M.M. Leduc et Gagnon présentent des statistiques sur les niveaux d'exposition de la population et des écosystèmes en milieu urbain, alors que le milieu extra-urbain est traité par M. Robichaud. Les nombreuses stations récemment mises en place en milieu rural permettent maintenant de mieux cerner l'étendue du problème d'ozone dans le Québec méridional. On constate que le milieu rural est exposé à des niveaux d'ozone élevés, et que de fortes valeurs subsistent toujours en milieu urbain, très dépendantes du site. Compte tenu de la micro-localisation des postes en milieu urbanisé, il y aurait lieu de s'interroger sur la représentativité des mesures qui y sont effectuées eu égard à l'interaction de l'ozone et des oxydes d'azote ou des COV. Comme le mentionne M. Bisson, l'optimisation des réseaux est une préoccupation constante du ministère de l'Environnement. Ainsi, dans le futur, on peut s'attendre à ce que le réseau du MENVIQ fournisse des mesures d'une qualité croissante, afin de mieux évaluer à la fois l'exposition de la population et celle des écosystèmes à ce polluant nocif qu'est l'ozone au sol.

M. Yap et al. et M. Robichaud insistent beaucoup sur le fait que les fortes concentrations d'ozone sont étroitement reliées aux conditions météorologiques. Pour ces deux auteurs et leurs collaborateurs, le transport à grande distance est un facteur prédominant dans les épisodes de pollution par l'ozone. Ceci ne doit cependant pas empêcher d'analyser l'effet des émissions des grandes régions urbaines (Montréal, Ottawa-Hull, Québec) sur les niveaux d'ozone rencontrés sous le vent de ces villes. Une modélisation photochimique à l'échelle adéquate est essentielle en ce sens.

Les questions d'impact sur la santé humaine et sur les écosystèmes sont discutées au chapitre II par

M.M. Lajoie, Maltais et M. Renaud et al. Les points de vue sont nettement différents, mais convergent vers un constat essentiel : l'ozone au sol au Québec est une nuisance qui a des répercussions sur l'ensemble des écosystèmes et sur la santé humaine. M. Lajoie considère plausible l'hypothèse d'un lien entre la pollution par l'ozone et l'augmentation observée (dans les pays industrialisés) de la fréquence de l'asthme. Un suivi adéquat et représentatif de l'exposition de la population s'avère donc primordial. Les travaux de M.M. Maltais et de Renaud et al. démontrent par ailleurs clairement que les régions agricoles et les érablières du sud du Québec sont affectées par l'ozone. La valeur économique des pertes encourues reste encore cependant à évaluer de façon précise.

Contrairement aux autres polluants, l'ozone au sol n'est pas émis en quantités importantes par des sources, mais résulte bien d'un ensemble de réactions photochimiques complexes entre des polluants précurseurs (COV, NOx) lors de conditions météorologiques favorables. Ce mécanisme force à s'occuper étroitement de ces polluants précurseurs, c'est-à-dire, en connaître la nature, les émissions, les réactivités, etc. Le chapitre III présente donc des données relatives aux émissions anthropiques et aux émissions naturelles des précurseurs. M.M. Chhem et Brulotte discutent du système informatisé dont dispose le ministère de l'Environnement et donnent les émissions de NOx et COV pour 1985 et 1990. En ce qui concerne les émissions naturelles, signalons que les mesures effectuées par M. Clément et al. sur les hydrocarbures volatils biogéniques sont les premières du genre faites au Québec et au Canada. Bien que l'on ait identifié dans ce travail des composés d'intérêt, beaucoup de recherches restent à faire, afin de mieux connaître les autres composés réactifs et les processus atmosphériques auxquels ils participent.

La question des inventaires des émissions est évidemment primordiale, lorsqu'on doit envisager des mesures de contrôle. Le chapitre IV est entièrement consacré aux problèmes reliés à l'élaboration de stratégies de contrôle des précurseurs efficaces et équitables.

Le problème de l'ozone préoccupe grandement nos voisins des États du nord-est des États-Unis qui envisagent des mesures exhaustives de contrôle des précurseurs lesquelles sont décrites par M. Bradley. Diverses mesures pour les sources fixes et les sources mobiles sont envisagées et, puisque les véhicules automobiles sont une source majeure de NOx et de COV, on y plantera tout un train de contrôles les visant particulièrement. Au plan international, M. Gauthier présente les engagements du Canada dans le contrôle des COV, engagements qui ont nécessité des négociations difficiles. Le Canada a fait preuve d'innovation en introduisant un nouveau concept appelé « zones de gestion de l'ozone troposphérique ».

Dans ce concept, chaque nation réduit ses émissions de COV de 30 % dans toutes les régions qui contribuent à augmenter la teneur en ozone des États voisins.

Au plan local, la Communauté urbaine de Montréal (CUM) est déjà très engagée dans le domaine du contrôle des COV sur son territoire comme en discute M. Bourassa. On constatera à la lecture du texte et à la consultation des tableaux que des investissements majeurs ont été consentis pour réduire les émissions de précurseurs sur le territoire de la CUM. Des diminutions importantes dans les émissions de COV ont donc été obtenues sur l'île de Montréal. Le problème de la gestion des précurseurs préoccupe grandement les industries, particulièrement celles reliées au secteur du pétrole, comme en fait foi le texte de M. Lafleur. Ainsi l'Institut canadien des produits pétroliers reconnaît la nécessité d'adopter des mesures de contrôle pour réduire les niveaux d'ozone dans les régions à problème et appuie les mesures qui peuvent être mises en oeuvre. Cependant, selon l'ICPP, de telles mesures doivent être efficaces d'un point de vue économique et doivent s'accompagner de progrès réels. Cette préoccupation des coûts est justifiée, car, comme on peut le constater en consultant le texte de M. Lafleur, les investissements demandés seront majeurs.

La question environnementale s'est imposée jusque dans l'entreprise, comme en fait foi Hydro-Québec. Comme en discute M. Varfalvy, des mesures particulières sont déjà prises pour réduire les émissions des centrales qui utilisent du carburant fossile. Là aussi, des investissements sont nécessaires.

Ce recueil se termine par une présentation de la stratégie d'intervention du Québec laquelle est abondamment décrite par M. Marsan et al. Ces auteurs discutent en profondeur des diverses étapes nécessaires à une lutte contre la pollution par l'ozone. L'approche privilégiée est progressive et procède par étapes. De plus, elle prend en compte le phénomène de transport de l'ozone et des précurseurs.

On constate, à la lecture de ces textes, que les moyens technologiques de contrôle existent. Le coût des programmes de contrôle des précurseurs est cependant majeur pour les entreprises, les consommateurs et, finalement, la société. De là l'importance de bien cerner le problème de la pollution par l'ozone, non seulement en ce qui concerne sa formation et son transport mais également son impact sur la santé et les écosystèmes. De plus, l'ozone constitue en fait un polluant trace qui sert à évaluer l'activité photochimique d'une masse d'air polluée par le smog et qui comporte quantité d'autres polluants dont les effets sont aussi néfastes. Il reste encore à faire de nombreuses et très complexes recherches dans ces domaines.

Richard Leduc, Ph.D.  
météorologiste  
Direction de l'expertise scientifique  
Ministère de l'Environnement

**Chapitre 1**  
**L'ÉTAT DE LA SITUATION**

# Réseau de mesure d'ozone au Québec

## Résumé

Le réseau de surveillance de la qualité de l'atmosphère du ministère de l'Environnement du Québec gère, entre autres, 35 postes de mesure d'ozone. Ce réseau d'échantillonnage a subi de profondes modifications depuis sa création en 1979, tant au niveau des objectifs qu'à celui des techniques de mesure, de collecte ou de compilation des données. Les objectifs ont été remaniés au cours de l'histoire du réseau en fonction des connaissances acquises sur le comportement de l'ozone en ce qui concerne son mode de formation et celui de transport. Les transformations d'ordre technologique apportées au réseau se sont orientées essentiellement vers l'automatisation et la normalisation des méthodes de mesure. Un effort particulier a été consacré à la vérification régulière des appareils et à l'assurance de qualité des résultats. La qualité reconnue des données d'ozone du Québec permet une collaboration avec d'autres réseaux et l'élaboration de projets dans d'autres disciplines telles l'agriculture et la foresterie.

## Abstract

*Within its atmospheric quality monitoring network, the Quebec Ministry of the Environment operates 35 ozone monitoring stations. This ozone sampling network has experienced many changes since its beginning in 1979. Objectives, sampling, instrumentation, data acquisition and computing methods have all been modified during this time period. As well, there have been improvements in knowledge of ozone reactions, origins, and pathways. Most of the technological efforts have been directed towards automation and sampling method standardization. Special attention has been dedicated to equipment calibration and quality assurance. The validity and quality of Quebec's ozone data allows collaboration with other networks and leads to projects on various topics such as agriculture and forestry.*

## 1. Introduction

Le ministère de l'Environnement du Québec, par l'entremise de la Direction des réseaux atmosphériques, est chargé de surveiller la qualité de l'atmosphère. Parmi les polluants échantillonnés, l'ozone troposphérique s'inscrit comme une préoccupation depuis plus de 10 ans. La connaissance accrue des mécanismes de transformation et de transport de l'ozone a permis d'ajuster au fil des ans les objectifs de surveillance en milieu urbain du réseau et, par conséquent, le nombre et la distribution spatiale des postes de mesure. Les méthodes d'échantillonnage ont elles-mêmes évolué au cours de l'histoire du réseau pour tendre vers des standards reconnus et des systèmes automatisés de transmission et de gestion des données. De plus, les contrôles de qualité aux étapes de collecte et de traitement se sont raffinés. La fiabilité des résultats permet de mieux cerner la problématique de l'ozone au Québec à diverses échelles de temps et d'espace. Elle permet également le rapprochement avec les données des autres réseaux de mesure hors Québec.

Les paragraphes qui suivent décrivent l'évolution des objectifs du réseau de mesure de l'ozone, l'expansion qu'il a subie au cours des dernières années, les progrès technologiques réalisés concernant les modes de collecte, d'analyse, de télétransmission et de traitement, la méthodologie développée pour s'assurer de la qualité des données et, finalement, les projets de recherche en cours ou prévus pour les prochaines années.

## 2. Historique

Les premières mesures d'ozone datent de 1979. On comptait alors 12 postes répartis dans les centres urbains d'importance. À l'origine, le programme de surveillance de la qualité de l'atmosphère au Québec était davantage orienté vers les régions sources où, croyait-on, les risques d'exposition de la population étaient les plus élevés. La préoccupation du ministère de l'Environnement pour ce qui est de la qualité de l'air se résumait principalement à la protection de la santé et du bien-être humains. Les industries locales étaient alors pointées comme les principales causes des épisodes d'ozone. Les objectifs du réseau d'échantillonnage de l'ozone à l'époque s'énonçaient comme suit :

- a) mesurer de façon représentative la qualité de l'atmosphère et dégager son évolution à long terme;
- b) qualifier la pollution atmosphérique en regard de la réglementation en vigueur au Québec;
- c) évaluer la portée des politiques concernant la qualité de l'atmosphère;
- d) promouvoir et évaluer les programmes d'assainissement de l'air.

Depuis, les objectifs du réseau de surveillance, en particulier pour l'ozone, se sont étendus pour tenir compte des contaminants précurseurs, de la contribution du transport à grande distance et des impacts potentiels sur les autres éléments sensibles de l'environnement. Les connaissances acquises récemment telles que la corrélation ozone-température et ozone-rayonnement, les interactions avec les NOx et les COV, les trajectoires, les sources naturelles, etc., ont permis d'optimiser la distribution et le nombre de postes du réseau. Les objectifs de ce dernier ont donc été mis à jour pour prendre en considération la nouvelle problématique :

- a) suivre l'évolution spatiale et temporelle des concentrations de fond (niveau naturel) ainsi que celles soumises à l'influence de sources locales de pollution, et ce, par rapport à la réglementation applicable;
- b) évaluer l'importance et l'étendue de la pollution provenant du transport à longue distance;
- c) étudier les cycles et les transformations chimiques des contaminants atmosphériques en relation avec les dommages observés dans l'environnement;
- d) évaluer la portée des politiques concernant la qualité de l'atmosphère;
- e) promouvoir et évaluer les programmes d'assainissement de l'air.

Ainsi, à partir de 1988, les mesures d'ozone se sont étendues au milieu rural par la mise sur pied du Réseau de mesure des polluants atmosphériques en milieux forestier et agricole (Leduc, 1989). Une partie de ce programme d'échantillonnage visait alors l'établissement de l'origine du dépérissement des érablières. Le nombre total de postes, qui était de 17 en 1988, est passé à 25 dès l'année suivante, puis a atteint successivement 32, 37 et 39 postes entre 1990 et 1992 (Tableau 1). On constate que, depuis 1988, sur les 24 postes ajoutés, 16 ont été implantés en milieu forestier, 7 dans des régions agricoles et un seul en milieu urbain.

Les régions ciblées pour le suivi du patron de distribution de l'ozone s'orientent surtout le long du fleuve, soit en aval des sources principales de contaminants précurseurs par rapport aux vents dominants. On compte toutefois quelques stations isolées à l'intérieur des terres à titre de témoins des concentrations naturelles. La figure 1 présente la carte des postes de mesure actuels.

Toujours dans l'optique de mieux comprendre les mécanismes de formation et de transport de l'ozone, certains postes de mesure ont été équipés en 1991 d'un échantillonneur d'oxydes d'azote. Le projet a dû cependant être abandonné en raison des faibles niveaux mesurés. En effet, la précision des appareils ne permettait pas de mesurer des concentrations de l'ordre de parties par trillion.

L'analyse des épisodes d'ozone est habituellement associée à celle des situations météorologiques. Ainsi, la plupart des postes de mesure d'ozone du réseau sont situés à proximité de stations météorologiques. Les postes situés loin des grands centres sont eux-mêmes pourvus d'appareils mesurant les paramètres météorologi-

ques pertinents: vitesse et direction du vent, température, humidité, rayonnement solaire, etc.

### 3. Méthodes d'échantillonnage et d'analyse

La concentration d'ozone est déterminée par une mesure directe et en continu. Les composantes électroniques convertissent proportionnellement une réaction photochimique en un signal électrique. Les méthodes d'échantillonnage et d'analyse ainsi que les appareils choisis sont normalisés et reconnus. Anciennement enregistré sur du papier graphique, le signal est aujourd'hui régi par un système d'acquisition informatisé relié au réseau. Les données sont donc transmises en temps réel au centre de traitement de la Direction des réseaux atmosphériques.

#### 3.1 Appareils de mesure

Quatre échantillonneurs différents ont été employés depuis 1979.

##### a) L'échantillonneur Monitor Lab modèle 8810

Le Monitor Lab détermine la quantité d'ozone dans l'air ambiant en mesurant l'absorption de lumière ultraviolette (254 nm) de l'échantillon. On évalue d'abord l'intensité de la lumière UV de référence dans un volume d'air épuré de son ozone. On compare ensuite cette valeur avec l'intensité résultant de l'absorption par l'échantillon d'air ambiant. Le gaz exempt d'ozone est produit en transformant l'ozone en oxygène à l'aide d'un convertisseur catalytique (« scrubber »). La lecture de l'intensité lumineuse est mesurée 4 fois pour l'échantillon exempt d'ozone et 4 fois pour l'air ambiant. L'ensemble de l'opération est effectué dans un délai inférieur à 15 secondes.

Cet appareil est de loin le plus répandu à travers le réseau de mesure d'ozone du Québec. Il est reconnu parmi les méthodes équivalentes de l'EPA (Numéro de référence EQ0A-0881-053). Sa précision est de l'ordre de 2 ppb. Il est équipé de systèmes d'autovérification du zéro et de la valeur étalon. Le premier est généré à l'aide du convertisseur catalytique cité plus haut. La valeur étalon est produite en éclairant un échantillon d'air avec une lampe ultra-violette au mercure (185 nm) favorisant la transformation de l'oxygène en ozone à un taux connu. Les raccords avec la pompe extérieure d'amenée d'air ambiant sont en téflon.

La mesure de l'ozone dans l'atmosphère est effectuée en tenant compte du volume de l'air qui dépend de la pression et de la température. Une correction est appliquée à cet effet pour garder constant le volume à analyser.

##### b) L'échantillonneur Teco modèle 49

Le Teco 49 détecte directement les concentrations d'ozone à l'aide d'un analyseur photométrique. Ce dernier mesure à l'aide d'une cellule photosensible l'atténuation de la longueur d'onde 254 nm absorbée par l'ozone.

L'appareil applique automatiquement une correction pour tout changement de température ou de pression et est précis à 2 ppb près. Admis dans les standards de l'EPA comme méthode équivalente (Numéro EQ0A-0880-7), le Teco a un délai de réponse de 20 secondes et peut fonctionner selon deux échelles : 0-0,5 ppm ou 0-1 ppm.

Contrairement aux autres appareils en circulation, le modèle 49 requiert l'ajout d'une pompe externe pour l'amenée d'air ambiant. L'appareil n'intègre pas plus de système autonome de calibration (vérification du zéro et de la valeur étalon). Le Teco n'est utilisé que dans 3 postes de mesure au Québec, car il commande des vérifications manuelles fréquentes. On le retrouve donc en milieu urbain seulement (Montréal, Pointe-aux-Trembles et Québec).

### c) L'échantillonneur Bendix modèle 8002

Cet analyseur d'ozone classé parmi les méthodes de référence de l'EPA (Numéro RFOA-0176-007) fonctionne selon le principe de la détection photométrique de la chimi-luminescence qui résulte de la réaction gazeuse sans flamme entre l'ozone et l'éthylène. Préalablement filtré afin d'y enlever toute impureté, l'éthylène tiré d'une bonbonne extérieure alimente l'analyseur en circulant dans une tuyauterie en acier inoxydable. Un dispositif photomultiplicateur détecte les photons émis lors de la réaction chimique entre l'ozone et l'éthylène, et, par amplifications successives, fournit un courant dont l'intensité dépend de la concentration d'ozone. Le dispositif photomultiplicateur fonctionne en obscurité totale et est constamment refroidi (température de 5°C), afin d'améliorer sa sensibilité et sa stabilité à long terme. Les lectures de l'appareil se font sur une échelle de 0 à 0,5 ppm.

En plus de la mesure de la concentration ambiante d'ozone, le Bendix fonctionne selon 2 autres modes : le zéro et la calibration par comparaison avec une concentration étalon. Le premier mode utilise un filtre chimique qui élimine l'ozone, les poussières et l'humidité de l'air extérieur avant de l'acheminer à la chambre de réaction. On s'attend alors à un signal nul de l'appareil. Dans le mode de calibration, une lampe à rayons ultra-violet génère une quantité connue d'ozone qu'on ajoute à de l'air épuré avant de diriger le tout à la chambre de réaction. La mesure de l'appareil est ensuite comparée à la concentration étalon.

Le Bendix est en opération à 5 endroits seulement au Québec : 4 postes de la CUM et Duchesnay. Les dangers associés à l'éthylène sous pression limitent son utilisation.

### d) L'échantillonneur Dasibi modèle 1003AH

Absent du réseau depuis 1988, le modèle AH mesurait automatiquement l'ozone par absorption du rayonnement ultra-violet de longueur d'onde 254 nm. Le principe de mesure consistait à comparer l'absorption d'un échantillon d'air épuré (exempt d'ozone) avec celle d'un échantillon d'air ambiant. L'épuration de l'air s'effectuait à l'aide d'un convertisseur catalytique (oxyde de manganèse sur des grilles de cuivre) transformant l'ozone en oxygène. L'air épuré était acheminé vers la chambre d'absorption

du rayonnement ultra-violet pour faire place ensuite à l'échantillon d'air ambiant. Entre les deux mesures, l'appareil gardait en mémoire le voltage enregistré pour l'étalon. Une pompe interne assurait l'alimentation en air qui circulait dans une tuyauterie en téflon (non réactif à l'ozone).

La correction automatique de la dérive du zéro et de la valeur étalon était assurée par un contrôle permanent de l'intensité lumineuse émise par la lampe à rayons ultra-violet, par un contrôle du vieillissement des détecteurs et par un contrôle de la transmittance des éléments optiques. Le modèle 1003AH possédait deux plages de fonctionnement : 0-0,5 ppm et 0-1 ppm.

Le Dasibi 1003AH, reconnu comme méthode équivalente par l'EPA (Numéro de référence EQ0A-0577-019), a toutefois été remplacé progressivement par le Monitor Lab 8810 en raison de son imprécision dans la plage des faibles concentrations.

## 3.2 Systèmes d'acquisition, de transfert et de traitement de données

L'ozone est échantillonné de manière continue. À toutes les 4 minutes, une lecture du signal électrique (voltage ou code binaire de 0 à 256) est prélevée et mémorisée par le système d'acquisition. La transmission à l'ordinateur central (HP-1000) est réalisée sur une base quotidienne par modem (300 ou 1200 bauds). Les mesures sont alors converties en concentrations. Le système de collecte de la Communauté urbaine de Montréal (CUM) est indépendant et le transfert à l'ordinateur central de Montréal est effectué une fois par heure. Les données des postes de la CUM sont vérifiées, compilées, transformées en concentrations et intégrées sur une base horaire avant d'être réexpédiées par modem à Québec où leur analyse est complétée. Pour tous les postes, la concentration évaluée entre l'heure h et l'heure h+1 est rapportée à l'heure h+1 en parties par cent millions avec une précision au ppb.

Il existe dans le réseau actuel 4 types de système d'acquisition : SUM-X 645, HANDAR-570, SUTRON-8004C et Satellite. Ce dernier est un système maison conçu par la CUM. Ces appareils conservent jusqu'à 48 heures de données. L'ordinateur reçoit ainsi les relevés des jours j et j-1. La même journée de données est donc enregistrée deux fois au central dans un intervalle de 24 heures ce qui permet de comparer les relevés en principe identiques et de déceler toute anomalie de transmission.

## 4. Contrôle et assurance de qualité

L'étalonnage des appareils de mesure fait l'objet d'un soin particulier tous les 6 mois. Entre deux étalonnages, une vérification automatisée quotidienne est effectuée. Pendant celle-ci, les échantillonneurs d'ozone analysent à heure fixe un « zéro » de même qu'une valeur étalon connue. On s'assure ainsi de la précision et de la stabilité de l'appareil. Un écart de 10 % par rapport aux réponses attendues entraîne une vérification plus poussée.

Outre les instruments, les données d'ozone subissent également plusieurs contrôles de qualité. Les anomalies les plus évidentes sont décelées lors d'un premier examen

visuel. Puis, par ordinateur, des tests et des comparaisons sont réalisés entre stations, entre réseaux, d'heure en heure et d'une année à l'autre. Enfin, les niveaux d'ozone sont examinés en parallèle avec ceux des oxydes d'azote.

Suite à cette validation, on effectue l'analyse statistique des données conformément à d'autres critères d'assurance de qualité. Les moyennes mobiles sur 24 heures ne sont retenues qu'en présence d'au moins 75 % de données horaires valides. Ces dernières ne sont elles-mêmes acceptables qu'avec 75 % des relevés aux 4 minutes. Les moyennes mensuelles sont admises si on dispose d'au moins 50 % des valeurs journalières. Pour le calcul des moyennes annuelles, chaque trimestre doit compter au moins deux mois ayant une moyenne mensuelle valide. De plus, l'ensemble de l'année doit contenir plus de 50 % de données horaires valables. Toutes les données horaires valides servent au calcul de la moyenne annuelle.

La qualité des données est à l'origine de certaines conclusions importantes concernant le transport à grande distance de l'ozone. En effet, la fiabilité des résultats permet une comparaison des valeurs de base avec celles mesurées hors Québec. De cette manière, on met en parallèle les niveaux d'ozone obtenus en aval des Grands Lacs et de la Nouvelle-Angleterre (le long du corridor Windsor-Québec), les concentrations de contaminants précurseurs à la source et les situations météorologiques favorables au transport et aux transformations chimiques.

## 5. Prospectives

Un effort constant d'optimisation est déployé à la Direction des réseaux atmosphériques. Une étude récente a en effet permis de constater des lacunes et des redondances dans la répartition des postes de mesure d'ozone. Par exemple, deux stations de Laval produisent des résultats très similaires, alors que la région de Repentigny n'est pas représentée. Cette dernière constituerait le reflet de la contribution des sources de Montréal aux concentrations mesurées en aval de l'agglomération urbaine. La procédure pour remédier à ces faiblesses du réseau est en marche.

Outre la rationalisation des postes, on vise à optimiser l'utilisation des données existantes. Les relevés d'ozone soulèvent un intérêt en foresterie et en agriculture. On y a déjà étudié l'écotoxicologie de l'ozone et on vise à quantifier les dommages foliaires associés aux doses chroniques ou aiguës d'ozone. La productivité, le taux de croissance et la reproduction face à l'action de l'ozone seul ou en conjonction avec d'autres polluants pourraient faire l'objet d'études dans un avenir rapproché. Ces recherches pourraient viser les plantes ornementales, les érablières, le bois d'oeuvre, les cultures fourragères ou potagères.

Finalement, une des priorités à moyen terme de la Direction des réseaux atmosphériques serait de mettre les données d'ozone à la disposition des usagers dans un délai beaucoup plus court pour permettre des interventions rapides en matière de contrôle des émissions et des politiques de gestion des ressources. Malgré ce délai, les produits actuels de la Direction contribuent à l'analyse

des tendances à long terme des concentrations ambiantes, ce qui rejoint plusieurs des objectifs de planification

## 6. Conclusion

Le réseau de mesure d'ozone du ministère de l'Environnement du Québec a pris une expansion considérable depuis sa conception en 1979. Les objectifs de départ ont été largement remodelés pour tenir compte des nouvelles composantes de la problématique de l'ozone. Les résultats obtenus permettent de comprendre davantage les comportements chimique et physique du polluant et, par conséquent, de limiter l'étendue des régions cibles. Les efforts entrepris pour augmenter la fiabilité des résultats et pour rester à la pointe de la technologie d'automatisation ont placé la Direction des réseaux atmosphériques parmi les organismes cités en exemple pour la surveillance de niveaux d'ozone. Bien que l'intervention concrète en matière de réduction des concentrations au sol soit encore à l'étape d'ébauche, le réseau actuel trouve sa justification dans d'autres domaines tout aussi importants comme la prévision, l'agriculture, la foresterie et l'étude à long terme des tendances.

## 7. Références

Leduc, R., 1989 : *Le réseau de mesure des polluants atmosphériques en milieux agricole et forestier à Québec*. Compte rendu, Séminaire sur le problème contemporain des oxydants, 27-28 février 1989 Vancouver.

U.S. Environmental Protection Agency, 1991 : *List of Designated Reference and Equivalent Methods*. Office of Research and Development, Atmospheric Research and Exposure Assessment Laboratory, Quality Assurance Division. North Carolina, É.-U., 34 p.

Michel Bisson  
géographe  
Direction des réseaux atmosphériques  
Ministère de l'Environnement

Tableau 1

## Évolution du réseau de mesure de l'ozone au Québec entre 1979 et 1992

Nom du poste	Type *	Numéro	1979-85	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992
Aclair	F	01810	-	-	-	-	-	X	X	X
Quimet	F	01820	-	-	-	-	-	X	X	X
Causapscal	F	01830	-	-	-	-	-	-	X	X
Rivière Éternité	F	02600	-	-	-	-	-	X	X	X
La Doré	F	02610	-	-	-	-	-	X	X	X
Gomin	U	03017	X	X	X	X	X	X	X	X
Saint-Ange	U	03023	-	-	-	-	-	-	X	X
Cartier-Brébeuf	U	03056	X	X	X	X	X	X	X	X
Deschambault	A	03200	-	-	-	-	-	-	X	X
Duchesnay	F	03700	-	-	X	X	X	X	X	X
Saint-François	A	03712	-	-	-	-	X	X	X	X
Notre-Dame-du-Rosaire	F	03720	-	-	-	-	X	X	X	X
Saint-Hilaire-de-Dorset	F	03730	-	-	-	-	X	X	X	X
Saint-Zéphirin	A	04711	-	-	-	X	X	X	X	X
Tingwick	A	04730	-	-	-	-	X	X	X	X
Charette	F	04740	-	-	-	X	X	X	X	X
Lac-Édouard	F	04750	-	-	-	-	-	X	X	X
Stukely	F	05800	-	-	-	-	X	X	X	X
La Patrie	F	05810	-	-	-	-	-	-	X	X
Jardin botanique	U	06001	X	X	X	X	X	X	X	X
Pointe-aux-Trembles	U	06003	X	X	X	X	X	X	X	X
Ontario	U	06012	X	X	X	X	X	X	X	X
Duncan & Décarie	U	06028	-	X	X	X	X	X	X	X
Parc Pilon	U	06029	X	X	X	X	X	X	X	X
Dorval	U	06049	X	X	X	X	X	X	X	X
Roxboro	U	06060	-	X	X	X	X	X	X	X
Maisonneuve	U	06061	X	X	X	X	X	X	X	X
Verdun	U	06068	X	X	X	X	X	X	X	X
Pont-Viau	U	06201	X	X	X	X	X	X	X	X
Chomedey	U	06205	X	X	X	X	X	X	X	X
Saint-Faustin	F	06501	-	-	-	-	-	X	X	X
Longueuil	U	06600	X	X	X	X	X	X	X	X
Saint-Simon	A	06641	-	-	-	-	X	X	X	X
Saint-Rémi	A	06802	-	-	-	-	X	X	X	X
Gamelin	U	07001	-	-	-	-	-	X	X	X
Ferme-Neuve	F	07200	-	-	-	-	-	-	X	X
La Pêche	F	07400	-	-	-	-	X	X	X	X
Senneterre	F	08450	-	-	-	-	-	-	-	X
Forestville	F	09350	-	-	-	-	-	-	-	X
<b>Nombre de postes</b>			<b>12</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>17</b>	<b>25</b>	<b>32</b>	<b>37</b>	<b>39</b>

\* A : milieu agricole F : milieu forestier U : milieu urbain

# La pollution par l'ozone au Québec

## Résumé

Les concentrations d'ozone dans le corridor Windsor-Québec atteignent souvent des niveaux élevés lors de conditions propices. L'objectif de ce texte est de donner un aperçu des niveaux d'ozone rencontrés au Québec depuis 1980. On discute tout d'abord des variations annuelles (tendance à long terme), mensuelles et horaires tout en comparant les niveaux d'ozone avec ceux du monoxyde d'azote à certains postes de mesure. On présente ensuite des résultats concernant la fréquence des dépassements de la norme horaire et des seuils quotidiens et annuels, puis on discute de certaines relations entre les concentrations d'ozone et les conditions météorologiques.

## Abstract

*Ozone concentrations in the Windsor-Québec City corridor often reach high levels when conditions are appropriate. The objective of this paper is to give an overview of ozone levels in the province of Québec since 1980. Annual (long-term tendency), monthly and hourly variations are discussed, and a comparison of ozone and NO concentrations is made for some stations. Frequency of exceedences of hourly standard and daily and annual guideline values are presented, and relations between ozone concentrations and meteorological conditions are discussed.*

## 1. Introduction

Les divers polluants précurseurs à la formation de l'ozone sont émis en quantités suffisantes en milieu urbanisé et on a d'abord associé le smog photochimique aux villes importantes, ce qui est souvent le cas. On s'intéresse aussi au transport de l'ozone et à celui des divers autres composés hors de la zone urbaine et allant vers les milieux récepteurs situés en zone agricole ou forestière. À cet effet, un réseau extensif de mesures a été mis sur pied au Québec dernièrement (Leduc, 1989).

L'échantillonnage en continu des polluants gazeux dans l'air ambiant s'effectue depuis le début des années 1970 un peu partout au Québec. La mesure de l'ozone a cependant posé des problèmes particuliers au niveau de l'étalonnage des appareils de mesure. Par conséquent, ce n'est qu'à partir de 1979 que l'on dispose d'observations suffisamment fiables.

Le réseau québécois de mesure d'ozone dans l'air ambiant comprend des postes en milieu urbain dont neuf postes sur le territoire de la CUM et qui sont opérés par le Service de l'environnement de la CUM. On retrouve de plus deux postes à Laval, un à Longueuil, deux à Québec, un à Hull (ceux-ci sont opérés par le MENVIQ) et plusieurs postes en milieu extra-urbain qui font partie du réseau REMPFAQ (Réseau d'échantillonnage de mesure des polluants atmosphériques en milieux forestiers et agricoles du Québec). Ces derniers n'opèrent cependant que depuis un ou deux ans. Douze de ces postes font partie du réseau SNAP (Surveillance nationale de la pollution atmosphérique) pour lequel les procédures d'étalonnage et de validation sont normalisées.

Les instruments employés pour la mesure de l'ozone sont presque tous maintenant des appareils qui mesurent l'ozone par absorption dans l'ultra-violet. Un étalonnage complet de chaque appareil de mesure est effectué à tous les six mois ou plus souvent si nécessaire. Une calibration quotidienne du zéro et de l'étalon est aussi effectuée pour s'assurer de la précision des mesures.

Seules les données horaires obtenues à partir des données aux 4 minutes sont conservées dans la banque de données. À la CUM, toutes les données horaires sont conservées à moins qu'un dépassement de la norme quotidienne ne soit occasionné par moins de 12 valeurs horaires. Les données horaires validées de la CUM sont transférées au MENVIQ qui les valide en utilisant les procédures d'Environnement Canada. À cet effet, il faut un minimum de 75 % des observations horaires pour une journée et, pour les moyennes annuelles ou mensuelles, que 50 % des observations horaires soient disponibles. De plus, l'année ne doit pas compter plus d'un trimestre manquant et chaque trimestre doit compter au moins deux mois valides. Si tel n'est pas le cas, les données ne

sont pas utilisées pour le calcul des moyennes respectives.

Peu d'études offrant une rétrospective générale ont été effectuées à l'aide des données des réseaux d'échantillonnage du Québec. Mentionnons celle de Leduc et al. (1990), mais celle-ci ne couvrait que la période de 1979 à 1985 pour l'ozone.

L'objectif du présent rapport est de présenter les niveaux d'exposition à l'ozone pour l'ensemble du réseau d'échantillonnage pour la période allant de 1979 à 1990 en décrivant les niveaux moyens et les fréquences de dépassements des normes. De plus, compte tenu du lien important entre les conditions météorologiques et les concentrations d'ozone, on présente les caractéristiques de l'exposition en fonction de certaines variables météorologiques.

Le tableau 1 (Voir aussi figures 1, 2 et 3) donne la liste des stations employées. Cette liste ne comprend pas nécessairement toutes les stations qui ont fonctionné durant la période de 1979 à 1990, car certaines ont été éliminées à cause de leur trop courte période d'échantillonnage ou de leur trop grand nombre de données manquantes. Dans le texte qui suit, on insiste davantage sur les sites en milieu urbain compte tenu de la longueur de la période disponible et de l'importance de caractériser l'exposition de la population.

## 2. Exposition

### 2.1 Moyennes

À Montréal, les concentrations moyennes varient entre environ 7 ppb et 20 ppb. Les postes situés dans l'ouest de l'île (06049 à Dorval et 06060 à Roxboro) ainsi que ceux qui sont très peu influencés par les activités urbaines (06205 à Chomedey et 06600 à Longueuil) ont les concentrations globales d'ozone les plus élevées, alors qu'elles sont les plus basses là où la circulation automobile est intense (fig. 1 et 4). Le même phénomène s'observe à Québec (fig. 2 et 4) avec des concentrations de 12 ppb et 20 ppb aux deux sites de mesures. En milieu extra-urbain (fig. 3 et 4), tous les postes ont des moyennes globales plus élevées que celles des postes en milieu urbain (jusqu'à 33 ppb).

Les moyennes annuelles dans la région de Montréal pour les postes (06001, 06049, 06061; fig. 5) représentant les trois groupes définis précédemment de même qu'un lissage des moyennes de chaque mois de la période considérée (fig. 6), montrent une situation sans tendance très marquée depuis le début des années 80 (situation qui dépend aussi du poste). Le même phénomène s'observe à Québec (fig. 5), bien que les données soient plus limitées. Ainsi, pour l'ensemble des stations de la région de Montréal, le pourcentage moyen d'augmentation entre 1980 et 1990 est de 6,5 %. À sept postes, les moyennes annuelles ont augmenté (de 0 % à 33 %), alors que trois autres montrent une baisse (de 7 % à 27 %, selon le site). Parmi ces derniers, les postes 06061 et 06028 sont situés à des endroits où les concentrations très hautes de NO ont aussi connu une baisse de 40 % depuis les 10 dernières

années. À Québec, le seul poste disponible entre 1980 et 1990 indique une augmentation de 38 %.

À Montréal (fig. 7), on observe qu'à tous les postes, le maximum mensuel se situe en juin ou en juillet, alors que les minimums se retrouvent généralement d'octobre à janvier. Par contre, à Québec et en milieu extra-urbain (fig. 7), la moyenne mensuelle maximale se situe au mois de mai alors que les moyennes de juin et de juillet sont même inférieures à celles de mars, avril et mai.

La variation saisonnière de l'ozone et du NO au poste 06061 (centre-ville) montre à nouveau la relation entre ces deux polluants (fig. 8). La moyenne mensuelle minimale de NO se situe en mai, juin et juillet, alors que la moyenne mensuelle d'ozone est à son maximum. À cet endroit, la concentration de NO est jusqu'à environ 10 fois supérieure à la concentration d'ozone. En été, alors que le maximum de 13 ppb d'ozone est atteint, la concentration mensuelle de NO atteint sa valeur minimale de 50 ppb, soit 4 fois le niveau d'ozone. Au poste 06205, la concentration mensuelle moyenne de NO et d'ozone est comparable à celle du NO (fig. 8) et le même genre de variation est observé. La période de concentration maximale d'ozone s'étend durant les mois de mai, juin et juillet, alors que la concentration de NO est à son minimum. Dans ce cas-ci, le minimum de NO de 4 ppb est 7 fois plus faible que le maximum d'ozone de 28 ppb.

Aux postes urbains, le cycle diurne (fig. 9) comprend deux maximums qui démontrent l'interaction entre l'ozone et le NO. La lente augmentation qui s'amorce dès le début de la journée est ralentie par l'heure de pointe matinale (5 h à 7 h) sauf au centre-ville où elle se prolonge jusqu'à 9 h environ. Le maximum est atteint entre 12 h et 14 h environ. Aux postes extra-urbains, le cycle diurne comprend qu'un seul maximum journalier.

### 2.2 Dépassements de la norme

Dans la région de Montréal, la fréquence des dépassements de la norme horaire (Tableau 1, fig. 10) varie de 0,54 % à 0,02 %, soit d'environ 47 heures à 2 heures par année. Aux deux sites fortement influencés par la circulation automobile (06061 et 06028), les dépassements de la norme horaire sont les moins fréquents. À Québec, ce poste ne connaît pas de dépassements de la norme horaire, alors que la fréquence de celui qui est situé dans la banlieue ouest atteint 0,18 %. En milieu extra-urbain, les dépassements de la norme horaire se manifestent aussi de manière fréquente (0,27 % à Charette).

Sur l'ensemble du réseau de la région de Montréal, la fréquence des dépassements de la norme horaire a connu des fluctuations relativement importantes depuis 1980 (fig. 11). L'année 1988 a été l'année la plus remarquable à Montréal en ce qui concerne les dépassements de la norme, avec une moyenne de 0,94 % pour l'ensemble du réseau. Dans la région de Montréal, la fréquence de dépassements atteint 1,4 % (fig. 11) en juin et les fréquences sont nulles ou très faibles d'octobre à avril inclusivement. Les mois de juin et juillet constituent en fait les deux mois de l'année où la grande majorité des dépassements horaires est observée. À Québec, la pl.

des dépassements se manifestent aussi en période estivale, mais, semble-t-il, de manière plus hâtive. Généralement, les dépassements sont plus fréquents en après-midi (fig. 12), mais, à Montréal, on a observé un nombre important de dépassements nocturnes.

Dans la région métropolitaine de Montréal, les stations 06049 et 06060 ont une fréquence de dépassements de la norme quotidienne de 29,1 % et de 28,5 %, soit les plus hautes valeurs sur l'ensemble du réseau (Tableau 1, fig. 13). À Québec, la station du centre-ville (03056) a une fréquence de 3,8 %, alors que celle située dans la banlieue ouest atteint 31,3 %. Aux stations du réseau extra-urbain, les fréquences sont plus grandes qu'en milieu urbain. Par exemple, à Saint-Faustin, au nord de Montréal, elle atteint 70,5 % et elle est de 72,9 % dans les Cantons de l'Est (05800, Stuckeley). La répartition, au cours des années, de la fréquence des dépassements de la norme quotidienne (fig. 14) montre peu de variabilité dans la région de Montréal. Ainsi, pour l'ensemble des postes et à l'exception de 1988 principalement, on note des fréquences qui, en moyenne, se situent entre 13 % et 15 % environ. À Québec (03017), la fréquence la plus élevée est celle de 1986 avec une valeur de 59,1 %. À l'autre site (03056), l'année 1987 a été l'année la plus basse avec une fréquence de 0,3 % et 1990, la plus élevée avec une fréquence de 6,7 %. À Montréal, on observe (fig. 14) des fréquences mensuelles élevées en juin et juillet (32,5 % et 34,8 % respectivement). À Québec, à la station de banlieue, le maximum est atteint en avril et mai avec des valeurs de 64,6 % et 69,5 %.

Le seuil annuel est généralement dépassé de manière très fréquente à chacun des postes (Tableau 1, fig. 15).

### 2.3 Météorologie

Dans la région de Montréal (fig. 16), on constate que la concentration moyenne est maximale pour une direction sud-ouest (19,5 ppb) puis sud (17,7 ppb). La concentration moyenne la plus basse, 7 ppb, est celle par vent calme, ce qui indique soit un phénomène de transport soit un phénomène de destruction de l'ozone par les émissions locales de NO. Le même phénomène s'observe à Québec (fig. 16) et en milieu extra-urbain (fig. 17). Les dépassements de la norme horaire sont aussi dépendants de la direction du vent (fig. 12). Ainsi, à la station 06049, la grande majorité des dépassements se manifeste par vent sud ou sud-ouest avec des fréquences de 0,71 % et de 0,78 % respectivement. À plusieurs sites, on note une augmentation de la concentration avec la vitesse (fig. 19), augmentation qui est moins grande à mesure que la vitesse augmente, de sorte que la courbe tend asymptotiquement vers un maximum qui dépend de la localisation.

À deux sites, on a constaté que la concentration ne dépend pas (ou très peu) de la température, lorsque cette dernière est inférieure à environ 15-20°C (fig. 18). À partir de 20°C environ, la concentration augmente rapidement avec la température (d'une manière qui semble linéaire) et à un taux d'environ 4 ppb/°C au-dessus de 22°C. Les

dépassements horaires sont très rares à des températures inférieures à 18-20°C (fig. 20). De plus, la très grande majorité des dépassements s'est produite lorsque la température était supérieure à 25°C environ. À Québec, la dépendance de la concentration d'ozone sur la température montre un comportement semblable.

À trois endroits, on a aussi noté une augmentation linéaire de la concentration moyenne avec le rayonnement et à un taux qui dépend du site. On note une augmentation linéaire de la concentration moyenne avec le rayonnement à un taux de 9,8 ppb/(MJ/m<sup>2</sup>) aux postes 06001 et 06201 et 8,3 ppb/(MJ/m<sup>2</sup>) au poste 06049.

### 2.4 Épisodes

L'examen des épisodes sur l'ensemble du réseau de la région de Montréal montre qu'ils ont tendance à se manifester à plusieurs stations en même temps, puisque la vaste majorité des épisodes s'est produite à au moins la moitié du réseau simultanément. Si on étend le réseau pour inclure les stations extra-urbaines et celles de Québec, l'étendue maximale (% du réseau) passe de 90 % à environ 55 % (Tableau 2).

L'analyse d'un épisode particulier (Leduc et Gagnon, 1992) a permis de montrer que de grandes portions du sud du Québec peuvent être affectées par des concentrations d'ozone supérieures à la norme horaire. Les seules données météorologiques ne sont cependant pas suffisantes pour expliquer l'évolution des concentrations à chaque station.

### 3. Conclusion

Les concentrations d'ozone dans la vallée du Saint-Laurent peuvent parfois atteindre des niveaux qui dépassent largement les normes. Les concentrations peuvent fluctuer d'une année à l'autre de manière appréciable, principalement en ce qui concerne les épisodes de pollution. Cette fluctuation est liée à la variation des conditions météorologiques propices au transport des précurseurs et à leur transformation photochimique. À cet effet, seul un contrôle rationnel sur les précurseurs permettra d'envisager une réduction possible de l'ozone.

Depuis quelques années, on observe une augmentation du niveau de fond de l'ozone dans l'hémisphère Nord (Low et al., 1990). De plus, si on considère que la formation de l'ozone est reliée à la température, toute tendance à l'augmentation de cette dernière favorisera l'accroissement de l'ozone troposphérique dont une propriété importante est d'être un gaz radiatif (rétroaction possible).

Vu la non-linéarité de la formation de l'ozone et dans le but de définir les meilleures stratégies de contrôle des polluants précurseurs, il est nécessaire de procéder à des études à l'aide de modèles incorporant la photochimie et l'advection de manière explicite. Les simples relations empiriques démontrées ici ne servent que dans le but d'identifier les variables qui jouent un rôle dans la formation de l'ozone. L'acquisition de données en milieux urbain et extra-urbain est nécessaire à plusieurs points de vue: caractérisation des niveaux d'ozone rencontrés au Québec,

établissement des fréquences de dépassements des normes, suivi des niveaux de fond, calage des modèles, etc. Ces données sont cependant totalement inadéquates pour l'établissement des plans de contrôle des précurseurs et, de plus, il est nécessaire de les compléter par des mesures effectuées sur d'autres produits réactionnels propres aux épisodes photochimiques.

#### 4. Références

Leduc, R., 1989 : *Le réseau de mesure des polluants atmosphériques en milieux forestier et agricole au Québec*. Compte rendu, Séminaire sur le problème contemporain des oxydants, 27-28 février 1989, Vancouver.

Leduc, R., Lamothe, A.-M. et Vincent, R., 1990 : *Évolution de la qualité de l'air en milieu urbain au Québec 1975-1985*. Direction de la qualité de l'atmosphère, MENVIQ, Envirodoq EN 900187, 84 p.

Leduc, R. et Gagnon, C., 1992 : *L'ozone au Québec*. Sous presse, *Pollution atmosphérique*, Paris, France.

Low, P.S., Davies, T.D., Kelly, P.M. et Farmer, G., 1990 : *Trends in surface ozone at Hohenpeissenberg and Arkona*. JGR, 95, D13, 22441-22453.

Richard Leduc, Ph.D.  
météorologiste  
Direction de l'expertise scientifique  
Ministère de l'Environnement du Québec

Claude Gagnon, M.Sc.  
chimiste  
Service de l'environnement  
Communauté urbaine de Montréal

---

Texte présenté au Colloque sur les précipitations acides et sur la pollution par l'ozone (smog), Montréal, 4-5 novembre 1991.

Tableau 1  
Résultats globaux par station

Station	Type	Numéro	Période	N	03	F1	F2	F3	N°
Au clair	EU	01810	1990	5483	29	0,05	64,1	i	
Côte Ouimet	EU	01820	1990	3105	27	0	53,6	i	
Maison Gomin	U	03017	1980-90*	65612	20	0,18	31,3	77,8	
Cartier-Brébeuf	U	03056	1986-90	37585	12	0	3,8	0	17
St-François (IO)	EU	03712	1989-90	13026	28	0,14	56,8	i	
ND Rosaire	EU	03720	1989-90	9507	30	0	63,3	i	
Tingwick	EU	04730	1989-90	11003	30	0,5	54,0	i	
St-Zéphyrin	EU	04711	1990	8150	27	0,10	53,3	i	
Charette	EU	04740	1989-90	14931	27	0,27	54,7	i	
Stukeley	EU	05800	1989-90	6271	33	0,03	72,9	i	
Jardin Botanique	U	06001	1979-90	85418	13	0,19	12,5	27,3	23
St-J-Baptiste	U	06003	1979-90	78868	16	0,19	14,2	36,4	18
Ontario	U	06012	1979-90	91980	13	0,19	10,0	18,2	37
Parc Pilon	U	06028	1980-90	54041	9	0,06	2,6	10,0	76
Décarie	U	06029	1981-90	66979	14	0,36	13,7	33,3	32
Lilac	U	06049	1979-90	77005	21	0,30	29,1	88,9	
Sunnydale	U	06060	1982-90	55380	19	0,54	28,5	75,0	15
Peel	U	06061	1979-90	75465	7	0,02	1,9	0	76
St-Joseph	U	06068	1979-90	89555	15	0,34	15,0	27,3	21
Pont-Viau	U	06201	1979-90	78820	17	0,37	17,3	66,7	18
Chomedey	U	06205	1979-90	82017	18	0,43	23,7	90,9	14
St-Faustin	EU	06501	1989-90	9130	31	0,10	70,5	i	
Longueuil	U	06600	1982-90	60189	17	0,14	18,1	77,8	13
St-Simon	EU	06641	1989-90	12459	24	0,06	37,4	i	
St-Rémi	EU	06802	1989-90	8434	29	0,17	58,1	i	
La Pêche	EU	07400	1989-90	10447	29	0,10	57,4	i	

U = urbain EU = extra-urbain \* sauf 1987-88 i = insuffisant

N : nombre d'observations 03 : moyenne ozone, ppb

F1 : fréquence (%) valeurs horaires >80 ppb F2 : fréquence (%) moyennes quotidiennes >25 ppb

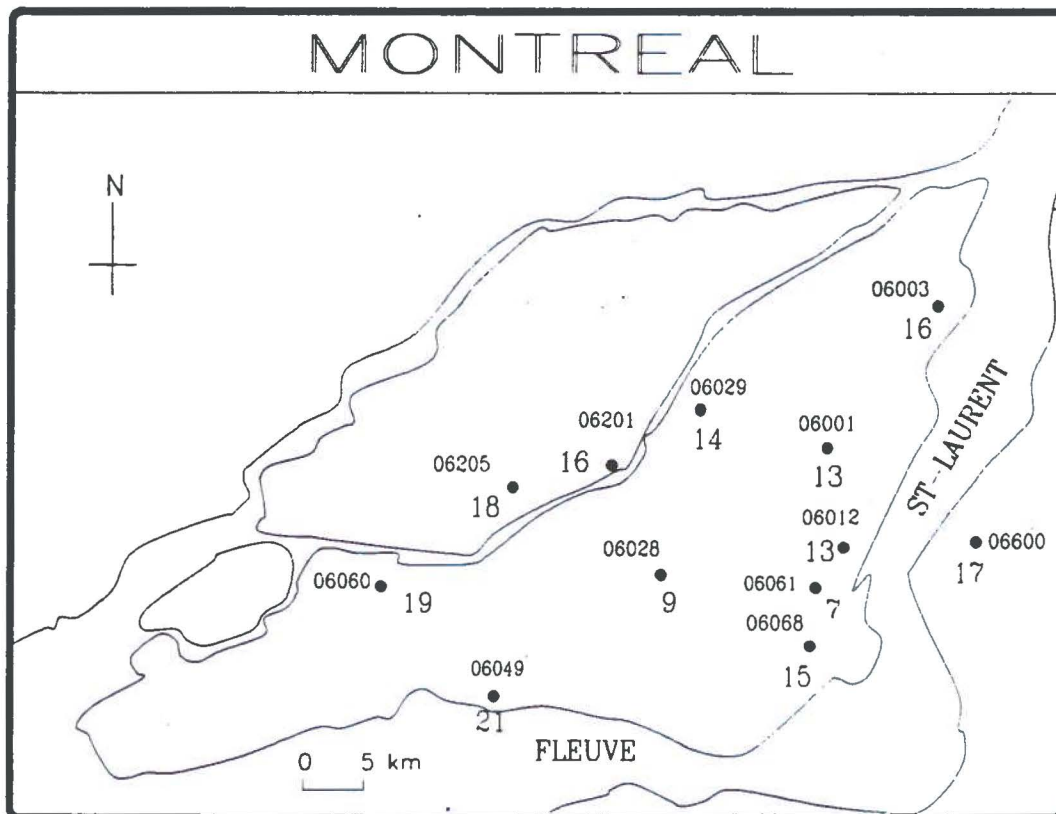
F3 : fréquence (%) moyennes annuelles >15 ppb

N° : moyenne N°, ppb

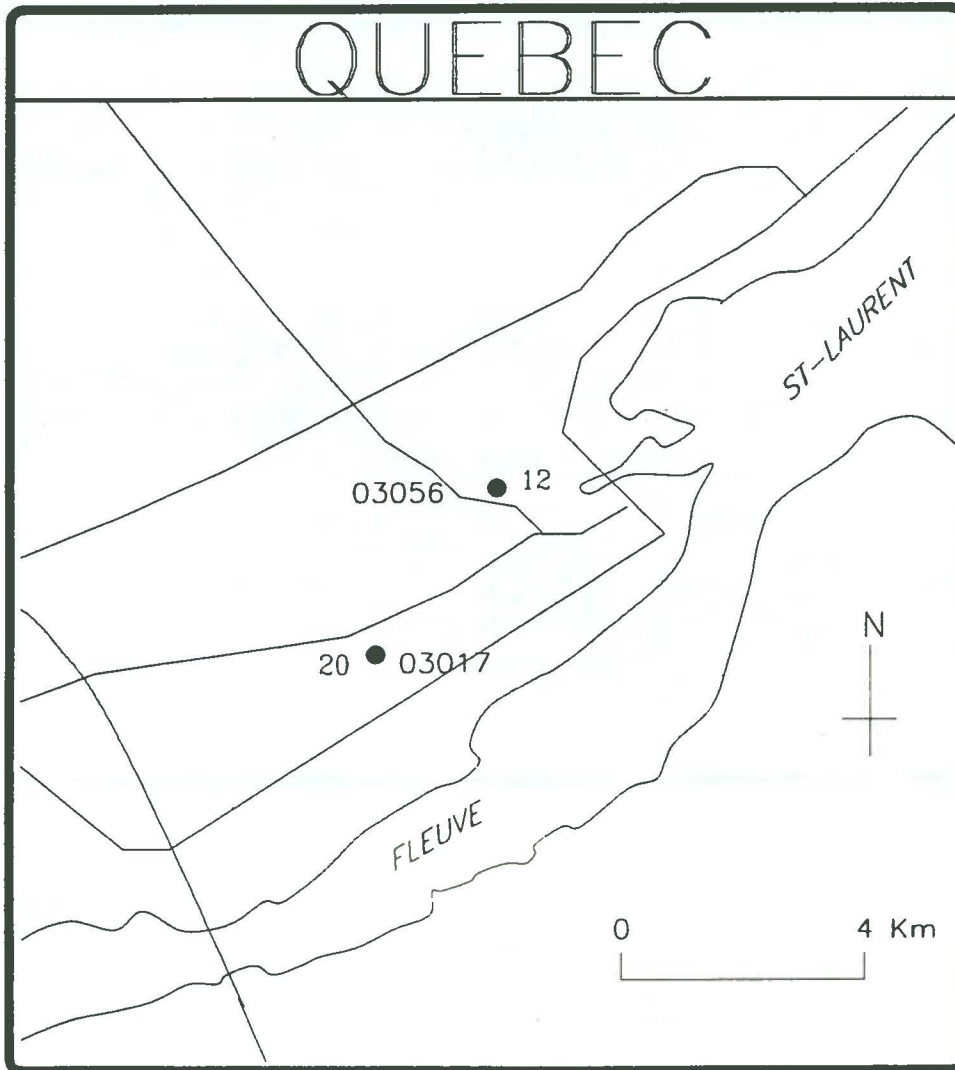
Tableau 2  
Étendue des épisodes d'ozone, région de Montréal (sauf 06028 et 06061)

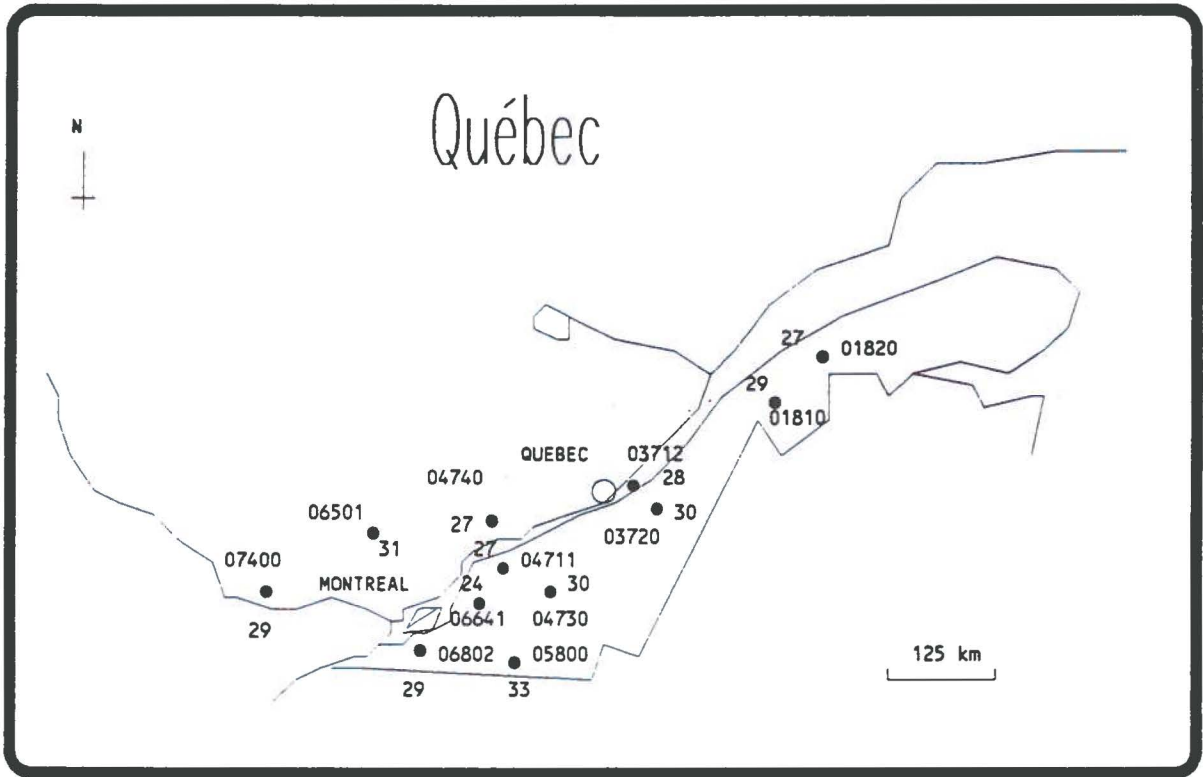
Nombre de stations	N	% du réseau	cumulatif (%)
1	186	10	24,3
2	64	20	57,1
3	36	30	70,5
4	33	50	88,4
5	27	70	97,4
6	16	90	100,0
7	16		
8	7		
9	2		
<b>Total</b>	<b>971</b>		

N = nombre d'épisodes



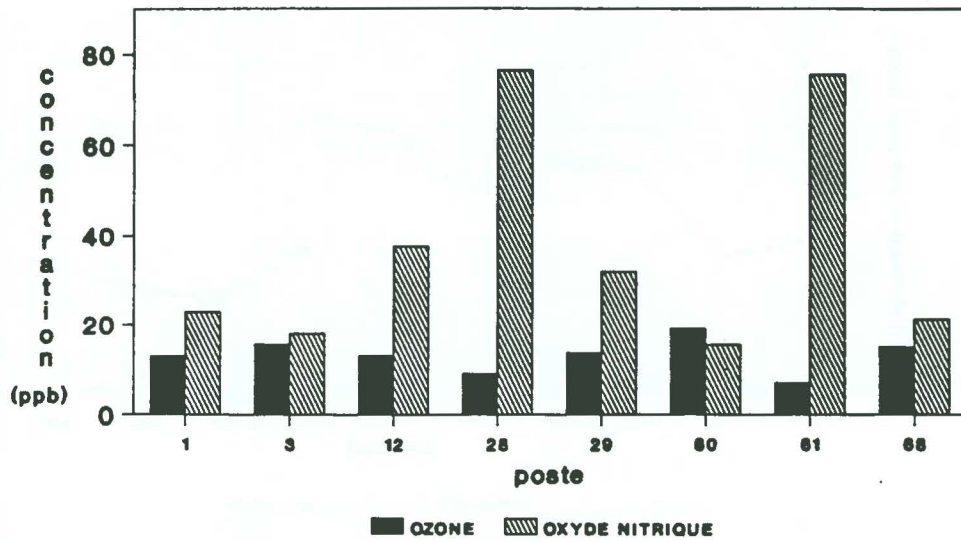
# QUEBEC





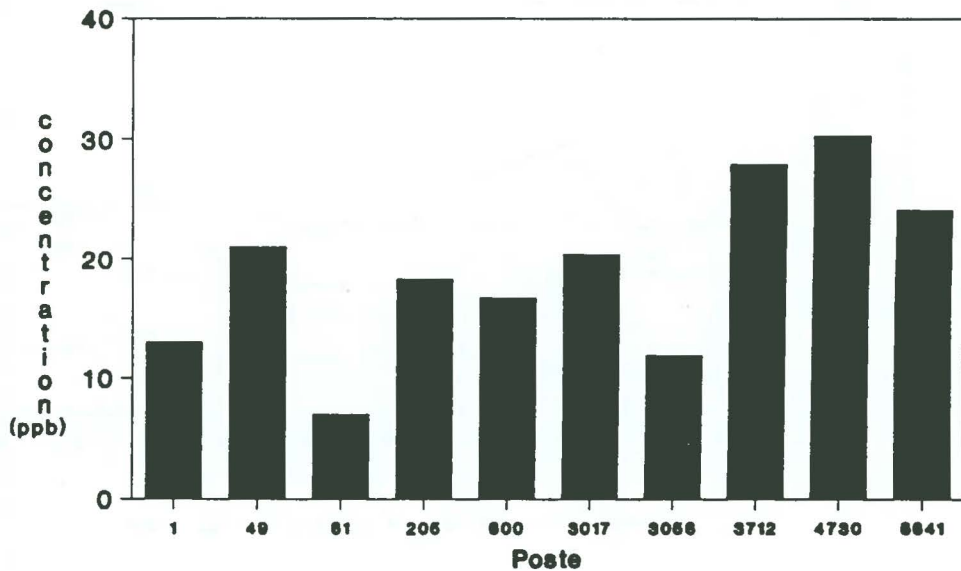
## Moyenne globale d'ozone et de NO

### Région de Montréal (CUM)



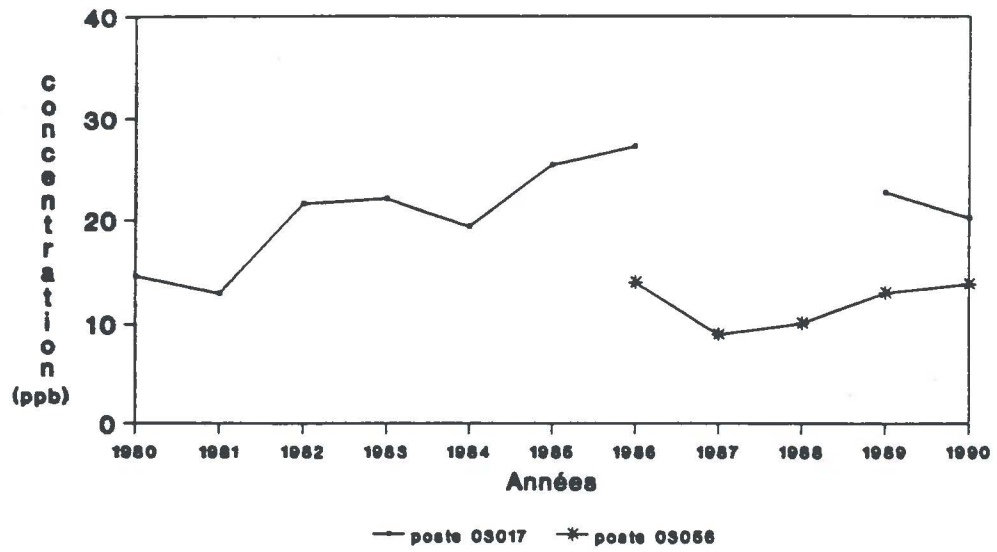
## Moyenne globale d'ozone

### Postes urbains et extra-urbains



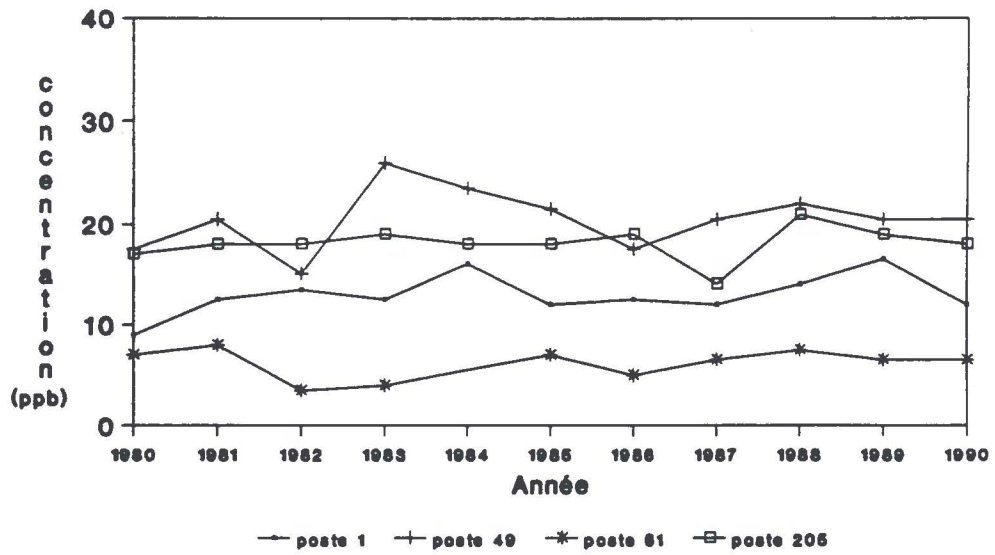
## Variation annuelle d'ozone

Région de Québec



## Variation annuelle d'ozone

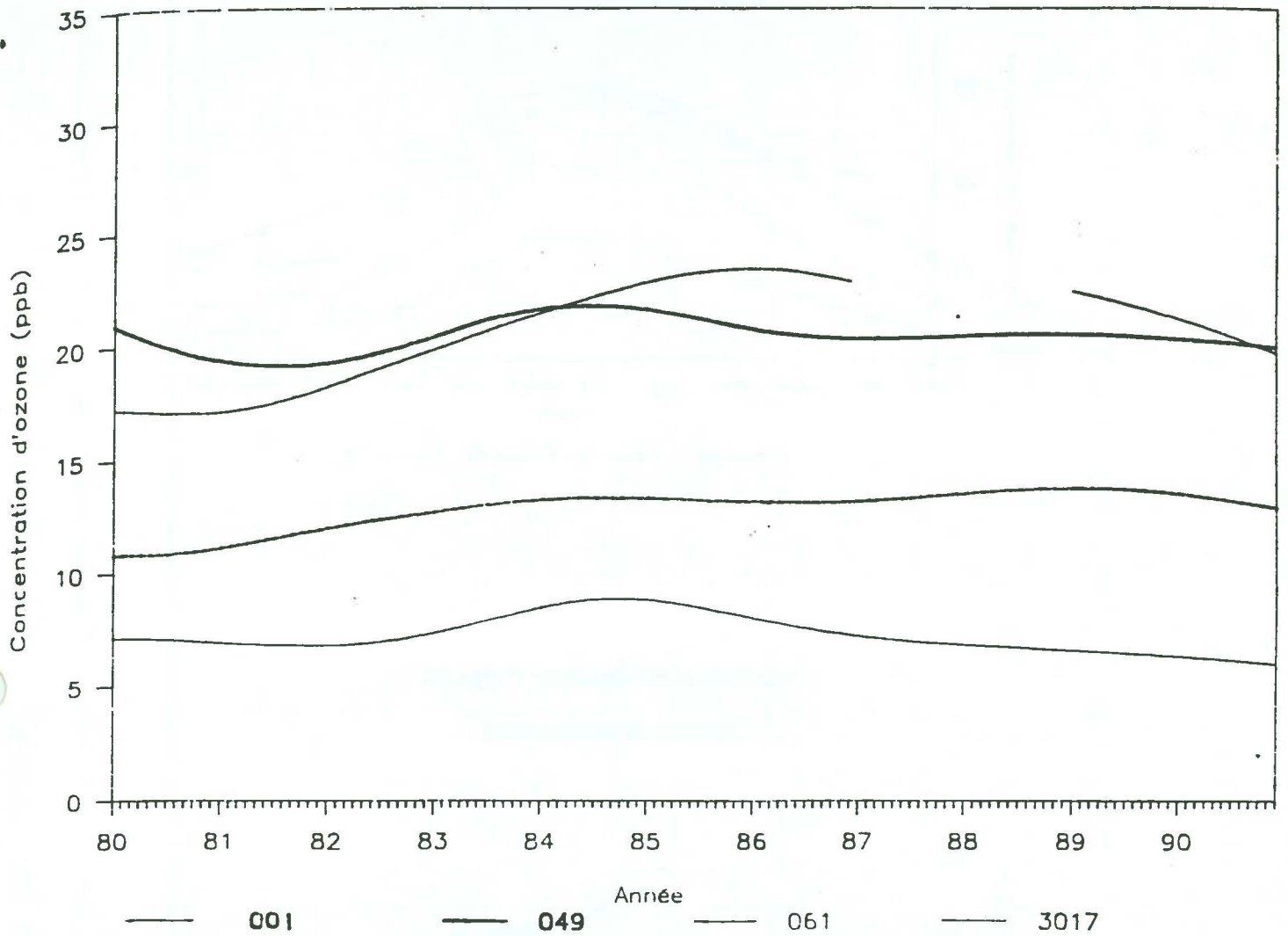
Région de Montréal



Concentration d'ozone (ppb)

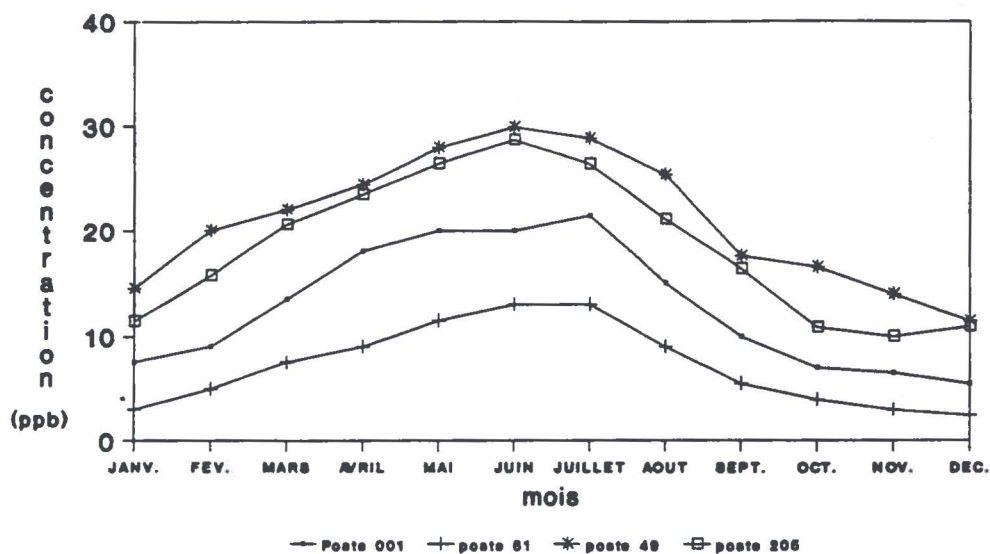
# Variation annuelle d'ozone

Tendance — Région de Montréal et Québec



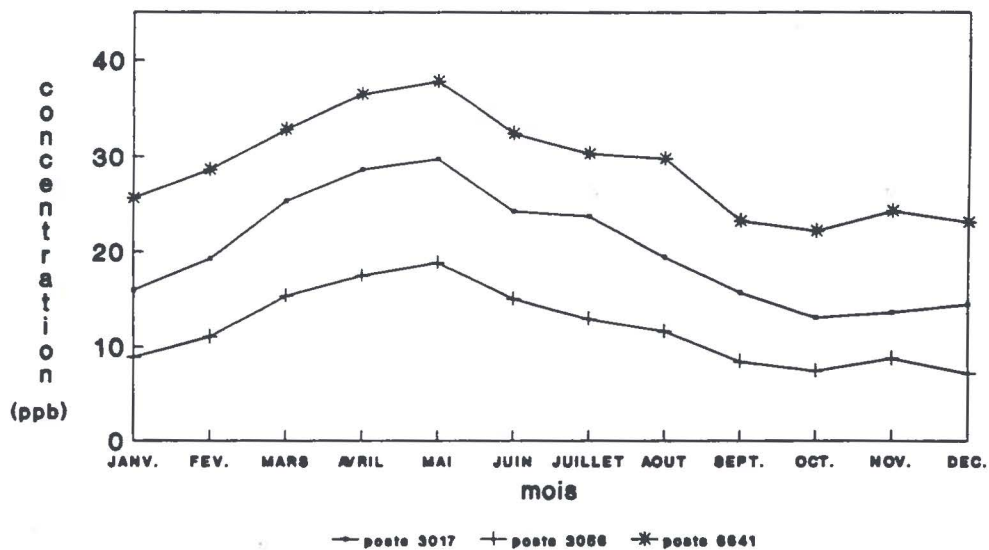
## Variation mensuelle d'ozone

### Région de Montréal



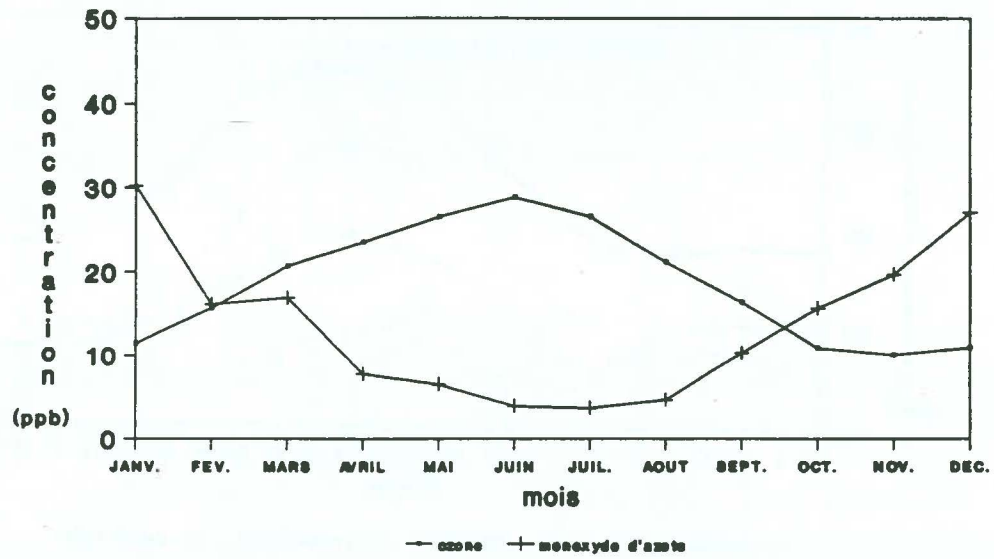
## Variation mensuelle d'ozone

### Québec et extra-urbain



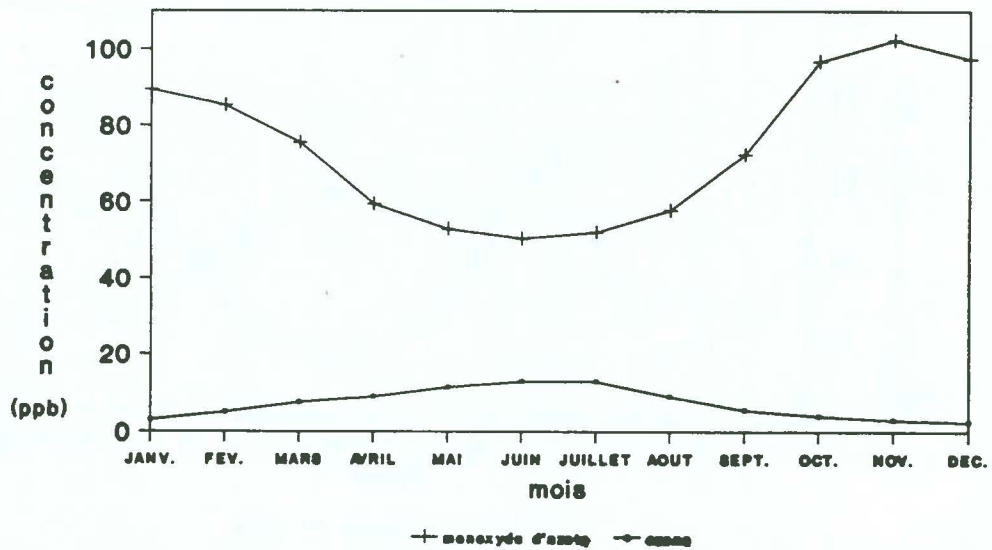
## Variation mensuelle d'ozone et de NO

Poste 205-Laval Chomedey



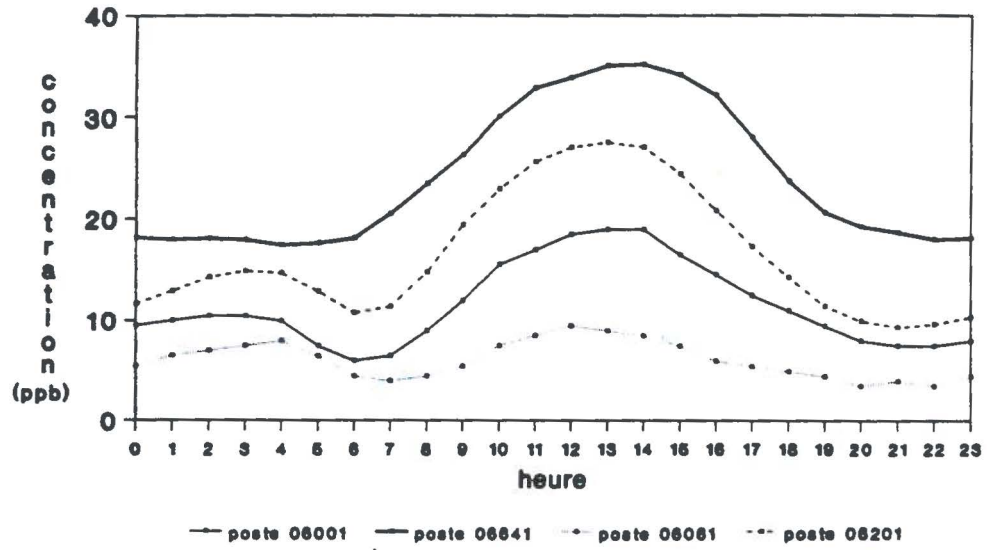
## Variation mensuelle d'ozone et de NO

Poste 061-Montréal centre-ville



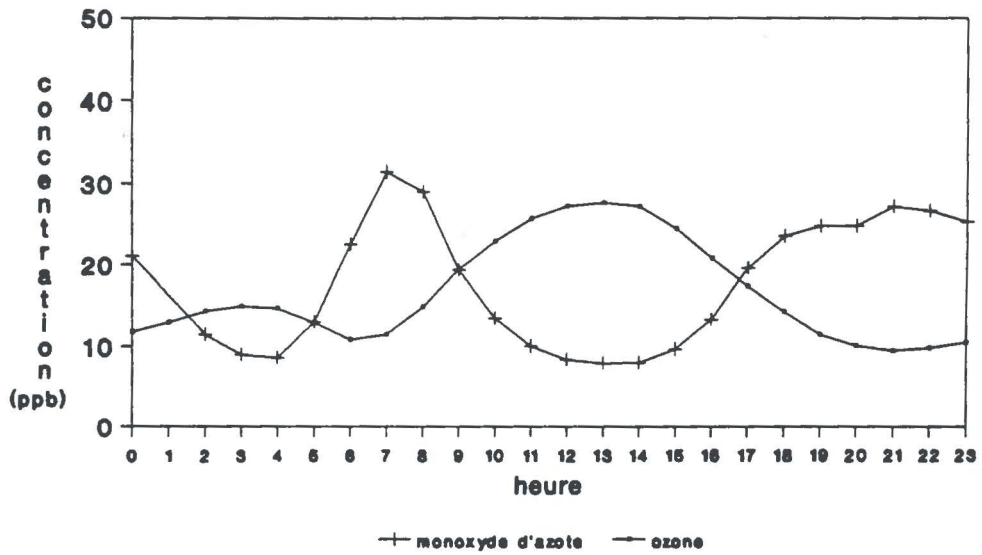
## Variation horaire d'ozone

Région de Montréal et extra-urbaine



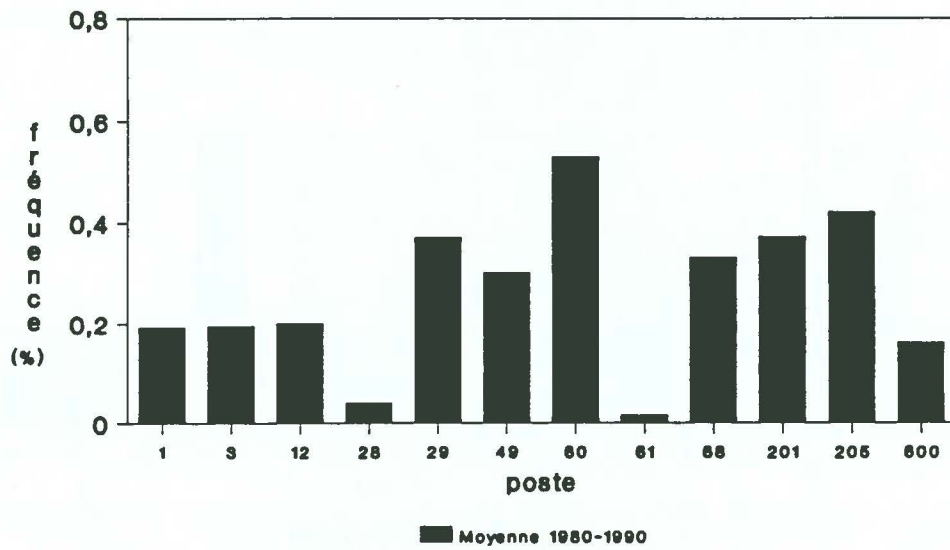
## Variation horaire d'ozone et de NO

Poste 201-Laval Pont-Viau



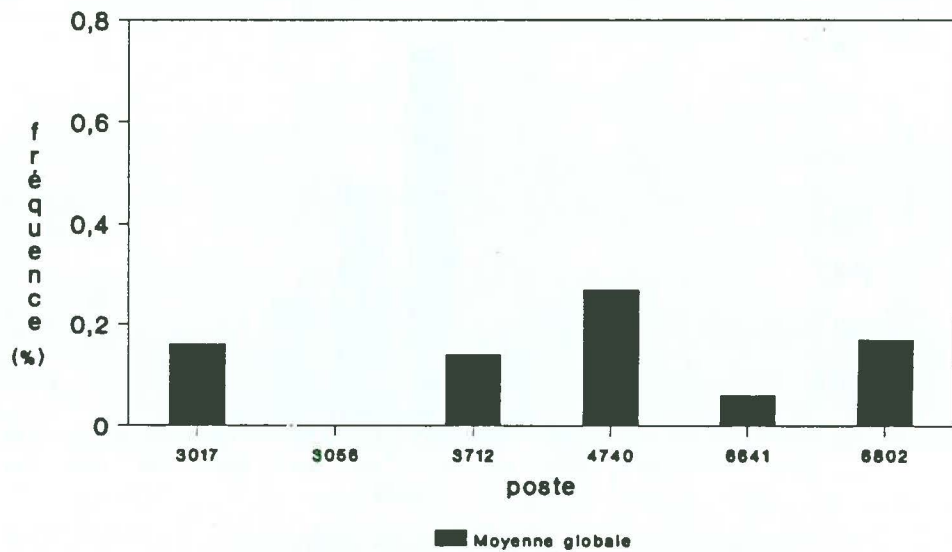
## Dépassement de la norme horaire d'ozone

### Région de Montréal



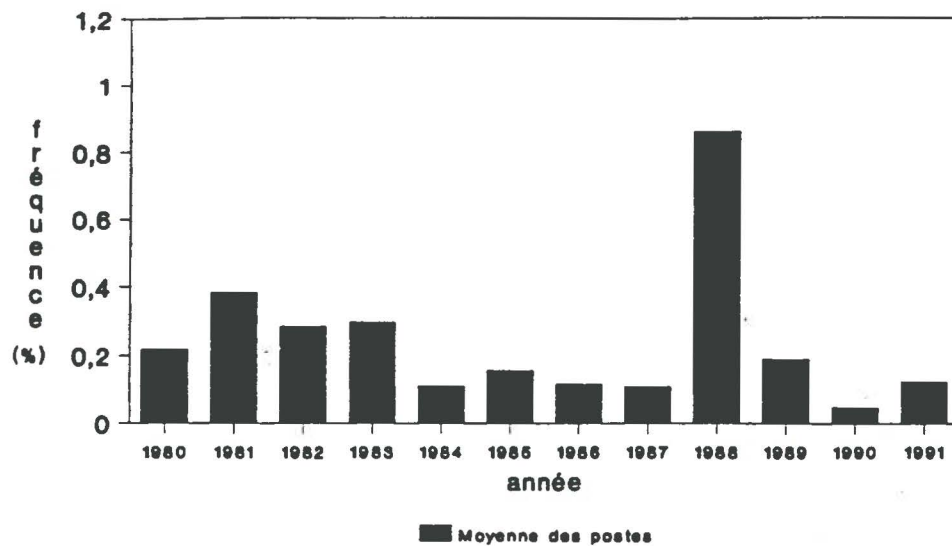
## Dépassement de la norme horaire d'ozone

### Région de Québec et extra-urbaine



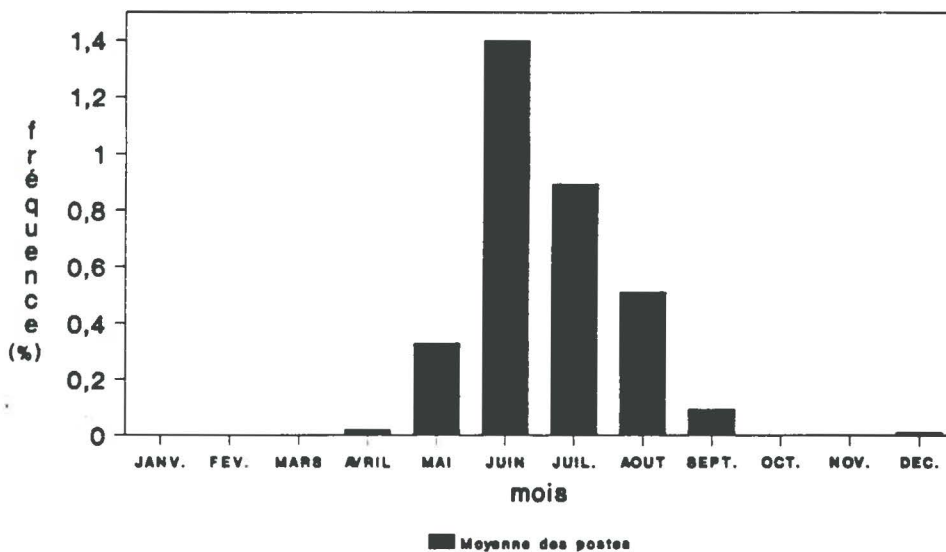
## Dépassement de la norme horaire d'ozone

Région de Montréal



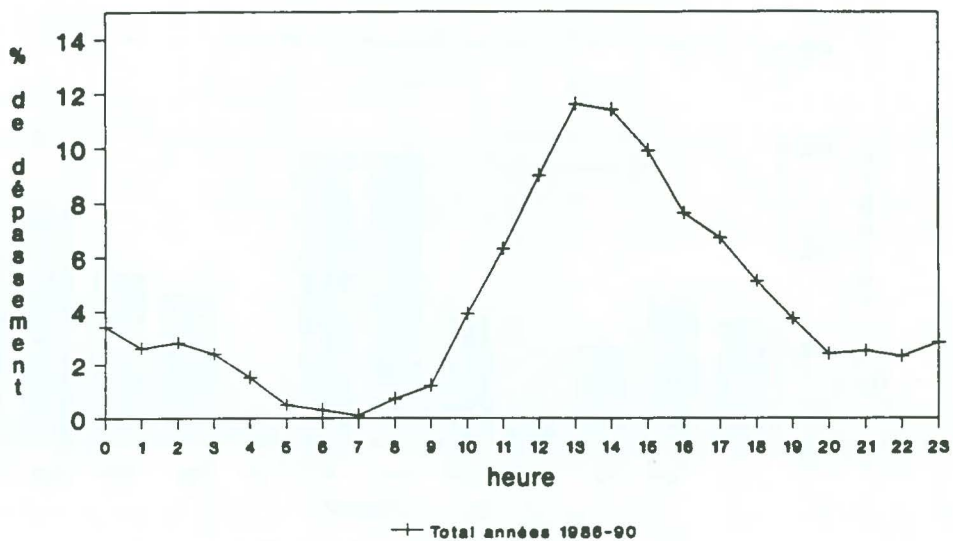
## Dépassement de la norme horaire d'ozone

Région de Montréal



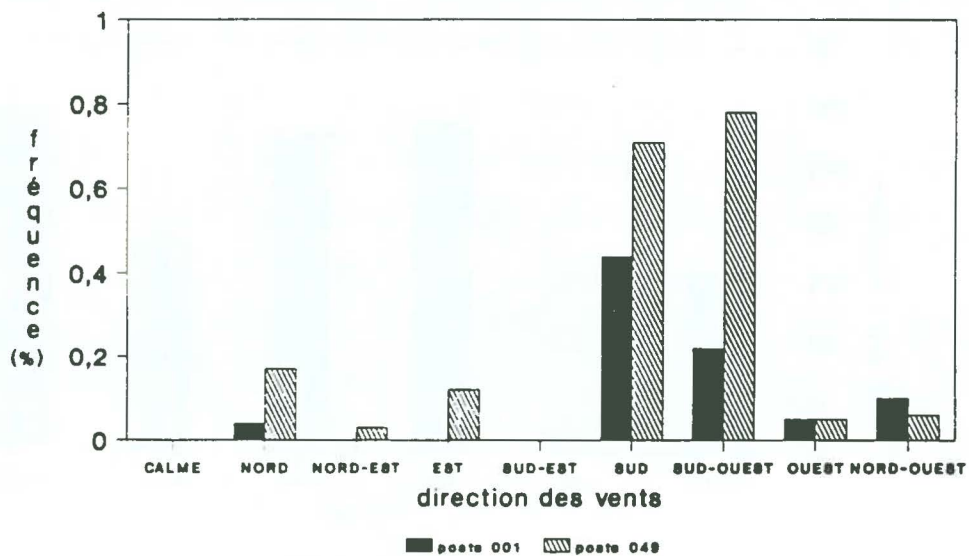
## Dépassement de la norme horaire d'ozone

Région de Montréal



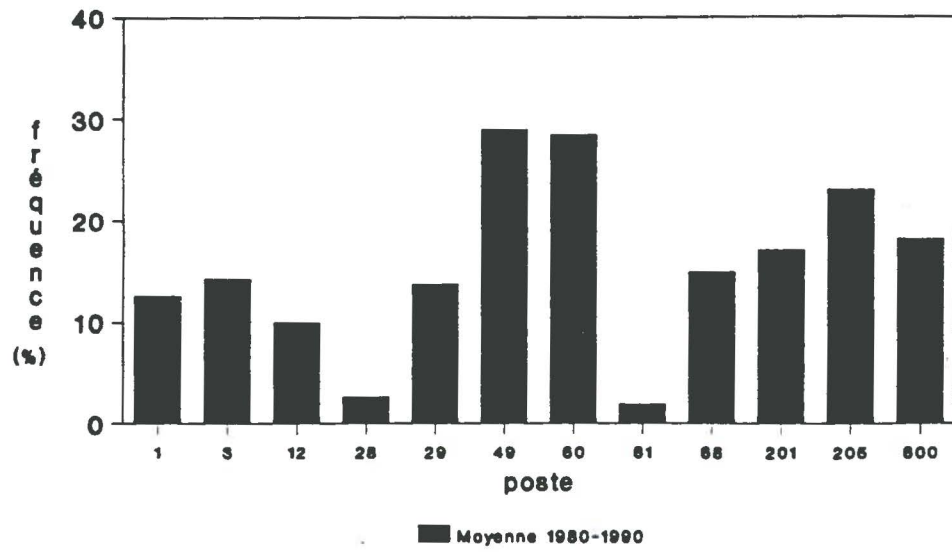
## Dépassement horaire d'ozone vs vent

Région de Montréal



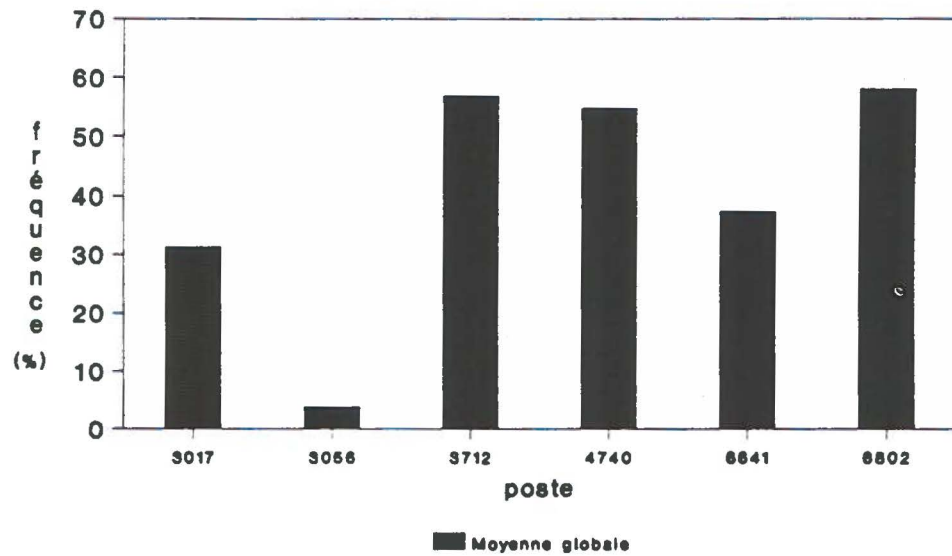
## Dépassement-norme quotidienne d'ozone

### Région de Montréal



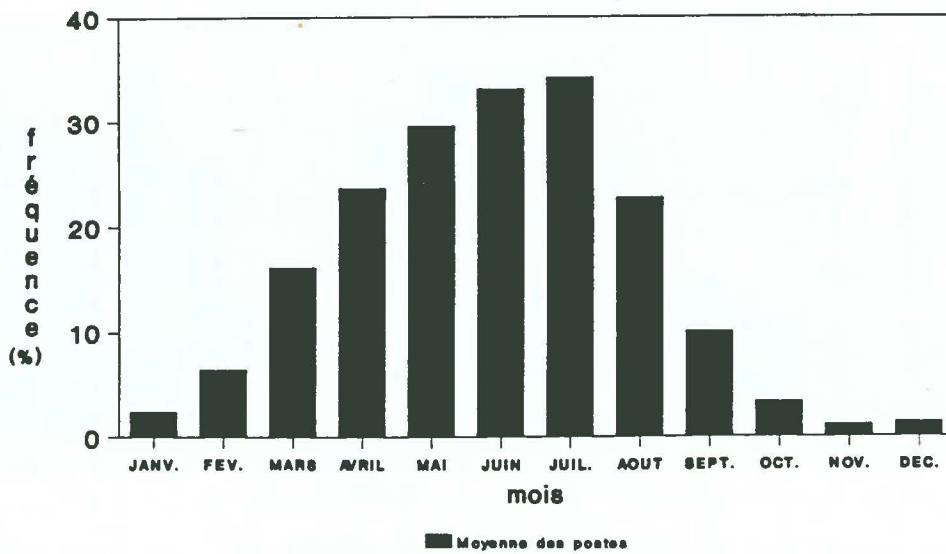
## Dépassement-norme quotidienne d'ozone

### Région de Québec et extra-urbaine



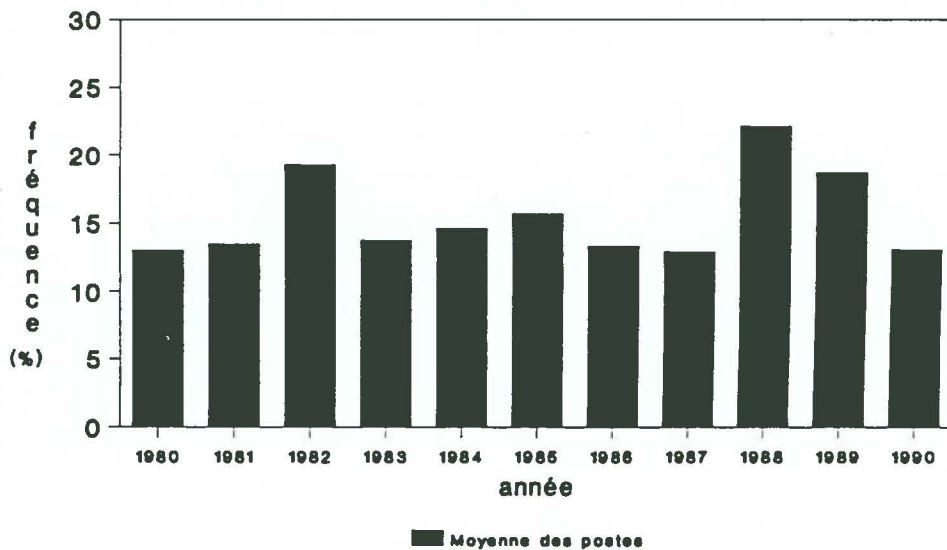
## Dépassement-norme quotidienne d'ozone

Région de Montréal



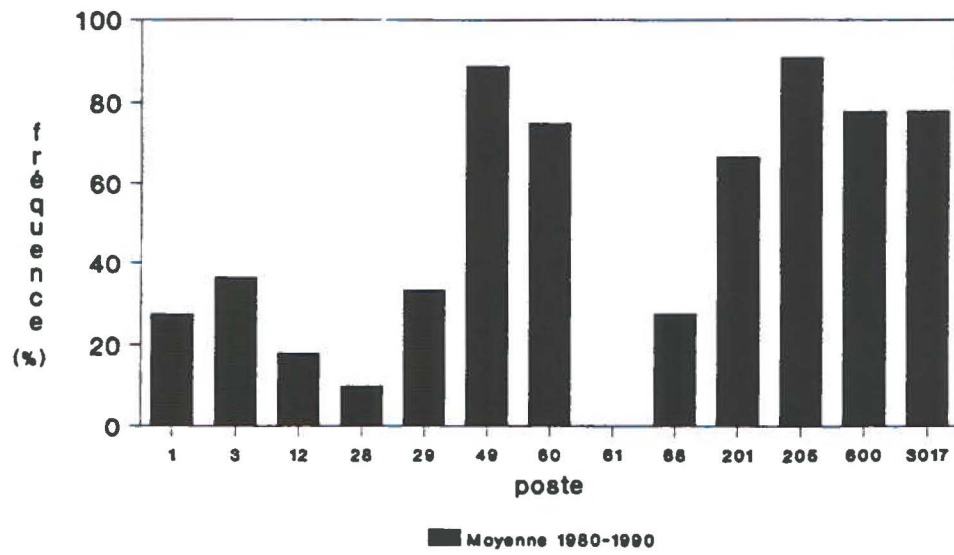
## Dépassement-norme quotidienne d'ozone

Région de Montréal



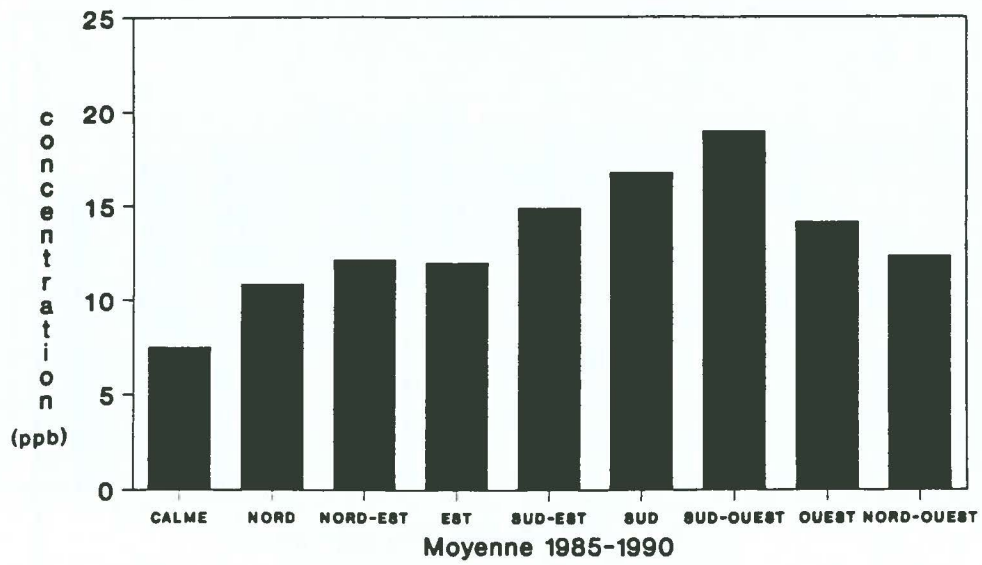
# Dépassement-norme quotidienne d'ozone

Région de Montréal et de Québec



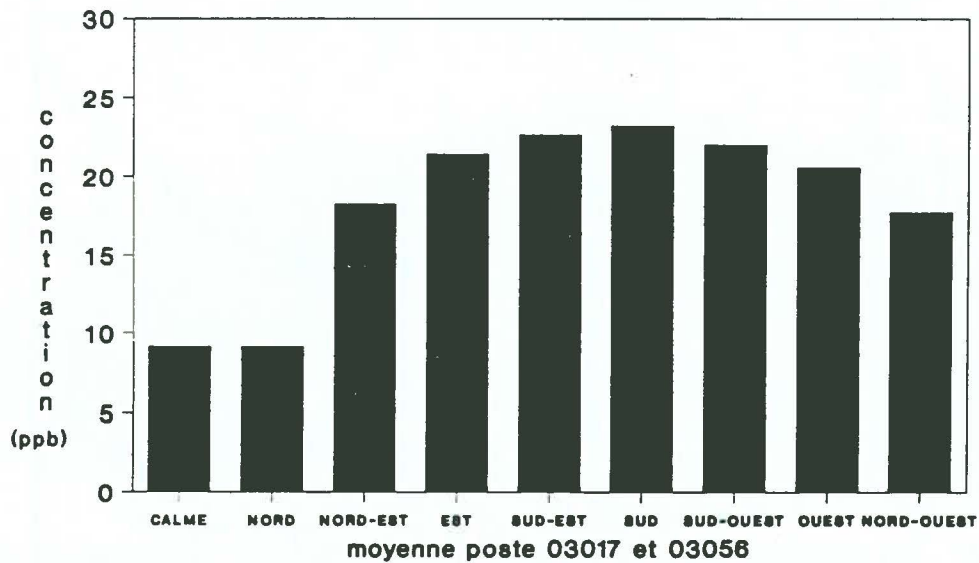
## Ozone vs direction des vents

Moyenne des postes de la CUM



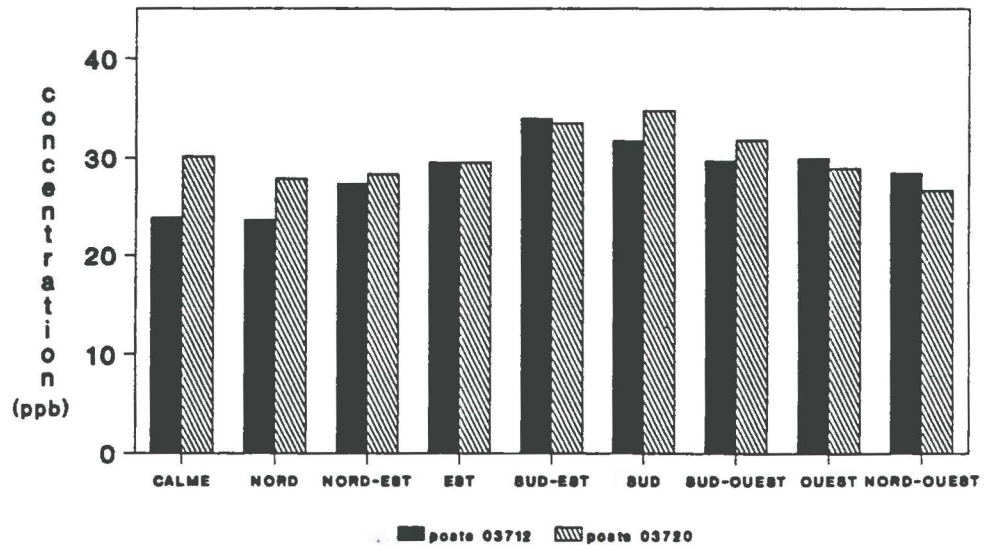
## Ozone vs direction des vents

Région de Québec



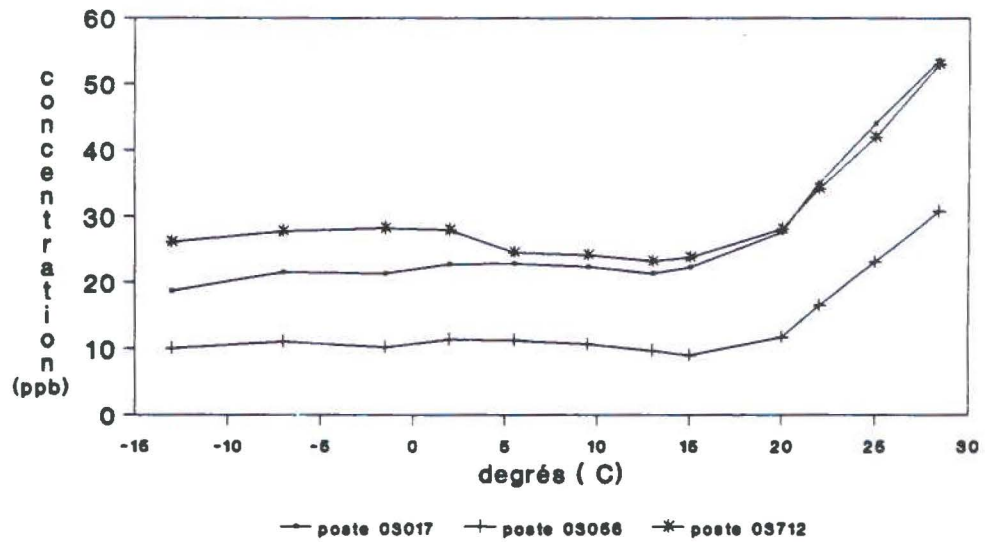
## Ozone vs direction des vents

### Extra-urbain



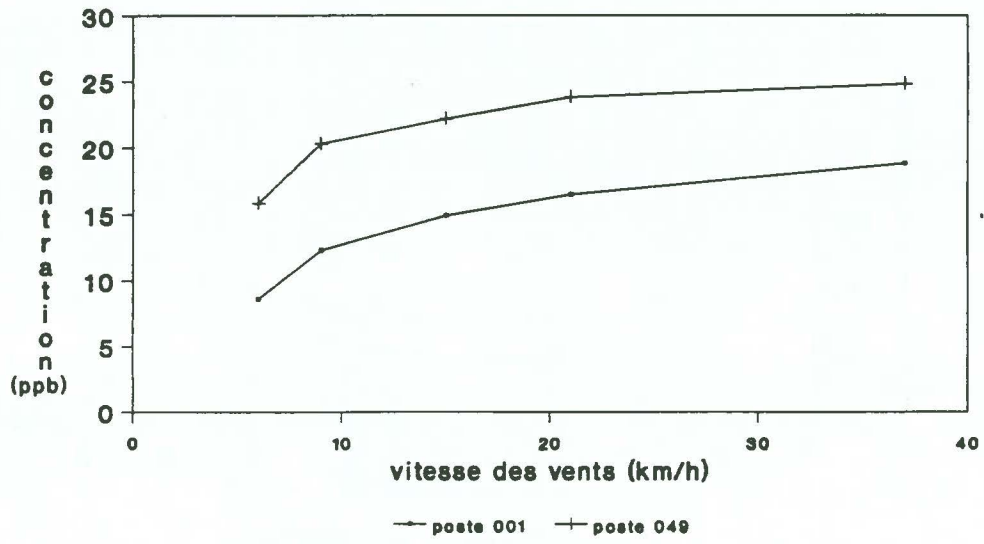
## Ozone vs température

### Région de Québec et extra-urbaine



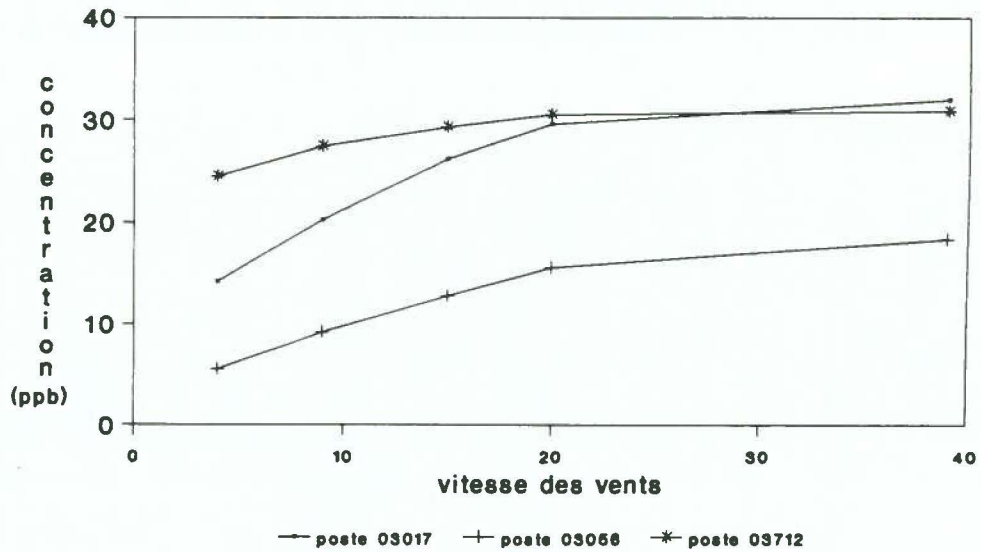
### Ozone vs vents

Région de Montréal



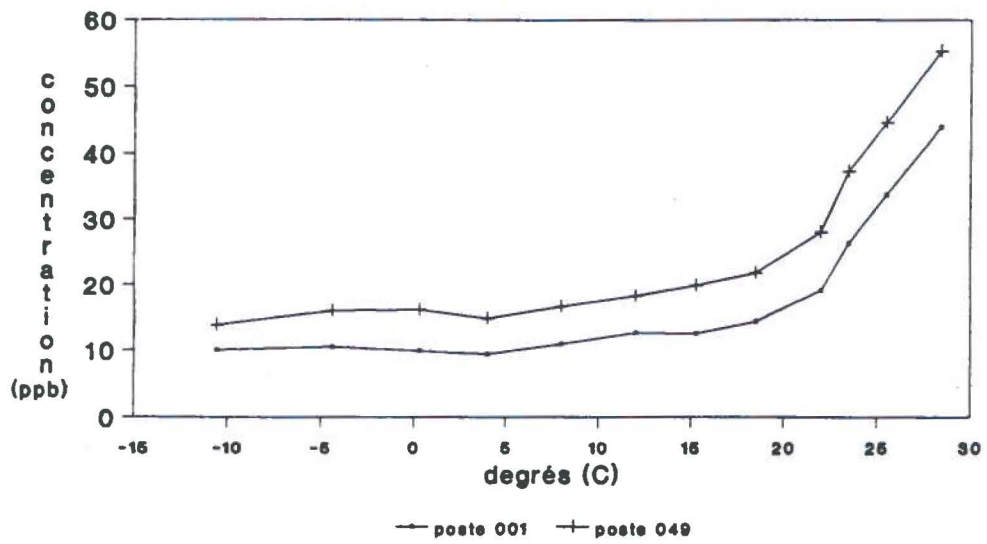
### Ozone vs vents

Région de Québec et extra-urbaine



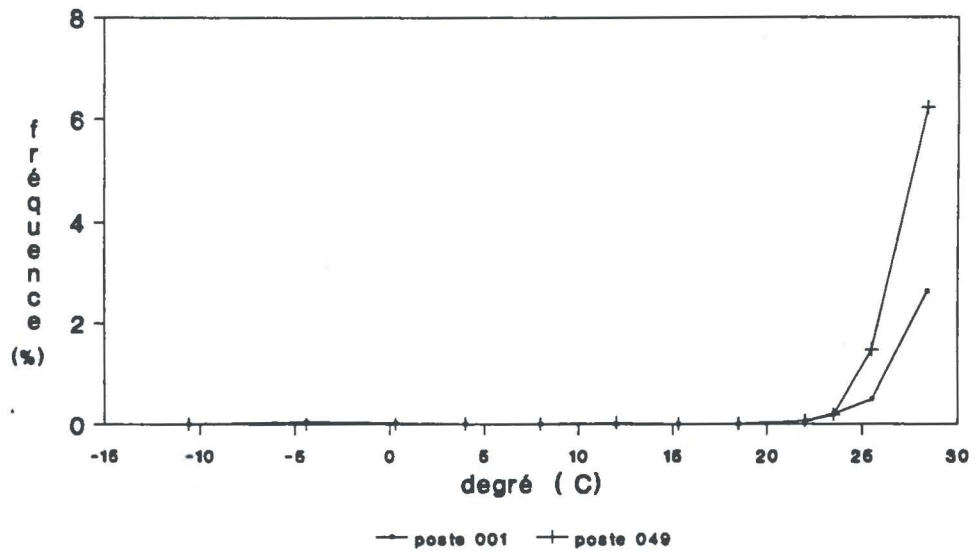
# Ozone vs température

Région de Montréal



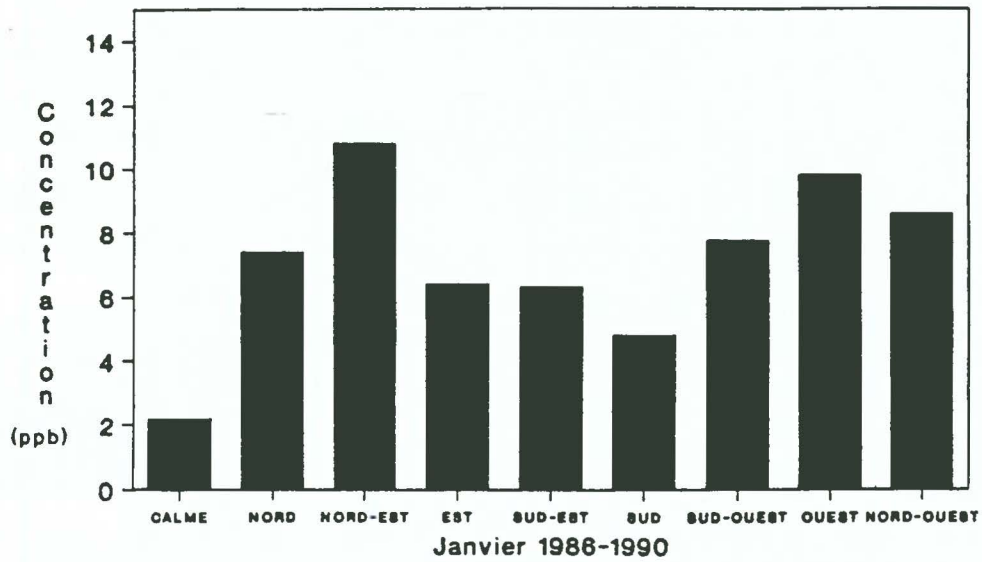
# Dépassement horaire 03 vs température

Région de Montréal



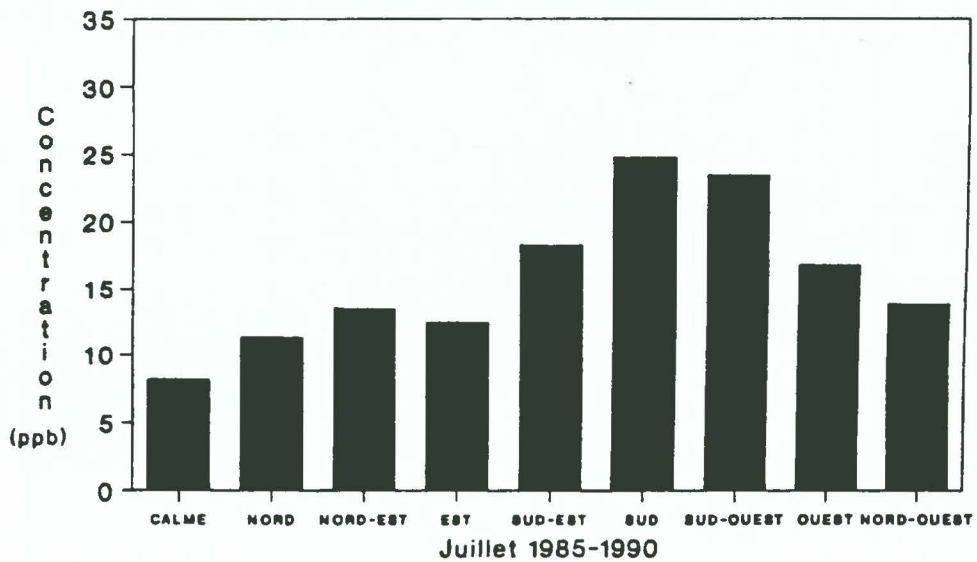
## Ozone vs direction des vents

Poste 001-Jardin Botanique



## Ozone vs direction des vents

Poste 001-Jardin Botanique



# Concentrations d'ozone sur le Québec méridional de 1989 à 1991

## Résumé

Dans ce rapport, on effectue une analyse sommaire des concentrations d'ozone mesurées en milieu extra-urbain au Québec et une comparaison avec les niveaux en milieu urbain. On montre que les niveaux d'ozone au sol en milieu extra-urbain sont souvent nettement plus élevés qu'en milieu urbain. Le coefficient de corrélation (simple ou multiple) entre les concentrations moyennes horaires d'ozone, celles des différents polluants d'intérêt ( $\text{NO}_x$ , COV) et certaines variables météorologiques ne peut que rarement expliquer plus de la moitié de la variance. Un indice de stress (pour les écosystèmes) dû à l'ozone montre que les niveaux les plus élevés, pour ce qui est de la dose cumulée, sont localisés sur l'extrême sud du Québec et non seulement sur la vallée du Saint-Laurent. Les résultats de l'étude appuient l'hypothèse voulant que les fluctuations interannuelles d'ozone soient déterminées largement par les fluctuations météorologiques, et que les valeurs élevées des concentrations d'ozone soient souvent attribuables au transport à longue distance.

## Abstract

*In this paper, a brief analysis of ozone concentrations in non-urban areas of Québec is made along with a comparison of values obtained in urban areas. It is shown that ground-level ozone in non-urban areas is often in much higher concentration than in urban areas. Correlations (simple or multiple) between mean hourly ozone and concentrations of other pollutants ( $\text{NO}_x$  and COV) and meteorological variables explain at most 50 % of the variance. An ozone stress index for vegetation shows that, in terms of cumulated dose, higher levels are located in the extreme south of Québec and not only in the St. Lawrence River valley. The results obtained support the hypothesis that interannual ozone fluctuations are largely dependent on meteorological fluctuations and that long-range transport is often responsible for high ozone values.*

## 1. Introduction

Le réseau d'échantillonnage REMPFAQ (Réseau de mesure des polluants atmosphériques en milieux forestier et agricole au Québec) collecte des données depuis 1989 (Leduc, 1989). L'objectif de ce travail est de présenter et analyser sommairement les concentrations d'ozone mesurées sur ce réseau et effectuer une comparaison avec les niveaux en milieu urbain. Les stations utilisées pour cette analyse sont listées au tableau 1. Leur localisation est montrée aux figures 1 et 2. Les analyses sont effectuées pour les données des années 1989 à 1991 lorsque disponibles et, dans certains cas, uniquement pour la saison de croissance (mai à septembre inclusivement).

## 2. Niveaux moyens et maximums

Les niveaux d'ozone sont, de façon générale, inférieurs dans les centres urbains à cause d'une élimination de l'ozone par le monoxyde d'azote (circulation automobile). On retrouve donc les niveaux moyens minimums au Québec dans le centre-ville de Montréal (fig. 1 et 2).

En milieu péri-urbain, comme le montre le tableau 2 (par exemple la station 201 Pont-Viau, fig. 1), les pointes des niveaux d'ozone peuvent être élevées en dépit de la faible moyenne annuelle (1,8 ppcm). D'autre part, en milieu typiquement extra-urbain (par exemple la station 03720 Notre-Dame-du-Rosaire, fig. 2), les niveaux maximums (sur 1 h et 24 h) sont plus faibles que ceux de la station de Pont-Viau, mais le nombre de dépassements du seuil quotidien de 2,5 ppcm, la moyenne annuelle et la médiane sont nettement plus élevés lorsque comparés aux postes en milieu urbain ou péri-urbain (Tableau 2) ce qui implique des doses chroniques plus élevées en milieu rural (Voir section 5).

## 3. Cycle diurne d'ozone et altitude

Pour les stations du réseau REMPFAQ, le coefficient de corrélation entre l'amplitude du cycle diurne (calculée comme  $[\text{maximum} - \text{minimum}] / \text{moyenne}$ ) et l'altitude de la station est de -0,83. Ceci s'explique par une plus forte dépression nocturne des niveaux d'ozone en terrain plat de faible altitude (Toupance, 1988). En effet, ces endroits sont plus souvent localisés en dessous de l'inversion nocturne et donc découplés du réservoir troposphérique d'ozone. Ceci contribue à diminuer de façon appréciable les niveaux durant la nuit et, par conséquent, l'amplitude du cycle diurne. Ce résultat est en accord avec celui de Singh et al. (1978) qui notent que la variation diurne d'ozone dans la troposphère libre est inexistante.

L'épaisseur plus grande de la couche de mélange typiquement observée en après-midi contribue à augmenter les concentrations d'ozone au sol en favorisant une

pénétration plus importante de la couche de mélange dans le réservoir d'ozone et un rabattement plus efficace au sol. Ce réservoir d'ozone troposphérique, situé au-dessus de la couche limite atmosphérique, est alimenté, en grande partie, par le transport à longue distance de l'ozone et de ses précurseurs et possiblement par les processus photochimiques locaux et les intrusions stratosphériques. En milieu rural au Québec, les variations horaires des niveaux d'ozone (fig. 3) peuvent donc être associées aux variations horaires de la hauteur de la couche de mélange. Toutefois, en milieu urbain, la variation des niveaux de NOx influence grandement les niveaux d'ozone (Leduc et al., 1990).

#### 4. Concentrations d'ozone et classe météorologique.

Pour la période 1989-1991, les situations météorologiques ont été classifiées à partir des cartes synoptiques de surface en 9 classes météorologiques différentes en se basant sur la classification proposée par Heidorn et Yap (1984).

La figure 4 présente, pour chaque classe, les concentrations moyennes diurnes (8 h 00 à 19 h 59) durant la saison de croissance (de mai à septembre inclusivement), le nombre et la fréquence des dépassements de la norme horaire (8 ppcm) pour l'ensemble des stations des réseaux REMPAFAQ et urbain (30 stations). On note une variation appréciable des niveaux d'ozone en fonction de la classe météorologique. En effet, les classes I à III, associées aux masses d'air venant du sud et survolant les zones industrielles autour des Grands Lacs et du nord-est des États-Unis, sont celles où les niveaux d'ozone et les fréquences des dépassements sont les plus élevés. Les systèmes météorologiques amenant des masses d'air de l'ouest ou du nord-ouest (classes météorologiques V à VII) ont des niveaux d'ozone et des fréquences de dépassements relativement bas en dépit des conditions de ciel dégagé et de fort ensoleillement souvent associées à ces classes (fig. 4). Ces résultats montrent le lien important existant entre la situation météorologique et les concentrations d'ozone au Québec. Ils suggèrent également qu'un ensoleillement élevé n'est pas suffisant pour créer des épisodes d'ozone et que la présence de masses d'air drainant les polluants des zones industrielles est requise. Ces résultats sont similaires à ceux obtenus par Chung (1977) pour l'Ontario et par Clarke et Ching (1983) pour le nord-est des États-Unis.

#### 5. Indice de stress causé par l'ozone sur les écosystèmes

Contrairement aux statistiques traditionnelles (comme les moyennes annuelles, le nombre et la fréquence de dépassements des normes ou de seuil, etc.), la dose cumulative (concentration multipliée par la durée d'exposition) au-dessus du seuil de 6 ppcm (aussi appelée indice SUM06) durant la période de croissance (de mai à septembre) permet de déterminer avec plus de réalisme les régions critiques pour ce qui est de la dose d'exposition à moyen et à long terme (Lee et al., 1991). Cet indice est calculé pour chaque heure de manière analogue au

degré-jour et le cumul est effectué pour la saison de croissance (de mai à septembre inclusivement). Les résultats (fig. 5) montrent que les postes Stukeley (05810) avec une dose de 471 ppcm-hr, Rémi (06802) avec une dose de 319 ppcm-hr et Hilaire (03730) avec une dose de 273 ppcm-hr enregistrent les niveaux les plus élevés (parmi 30 postes) pour ce qui est de la dose cumulée même si ces postes ne sont pas les premiers au chapitre du nombre de dépassements de la norme horaire. Les valeurs de cet indice sont utiles dans l'établissement d'un facteur de stress sur les écosystèmes agricole et forestier, et dans l'établissement des tendances annuelles des niveaux d'ozone.

#### 6. Dépassements du seuil de 6 ppcm et variation mensuelle des concentrations d'ozone

Selon Tingey et al. (1991), le seuil de 6 ppcm peut être considéré comme un niveau au-dessus duquel les espèces végétales les plus sensibles peuvent être endommagées. Le nombre maximum de dépassements des concentrations moyennes horaires au-dessus de ce seuil survient durant la période estivale. Celui-ci ne coïncide pas nécessairement avec les maximums des concentrations moyennes mensuelles qui ont tendance à survenir au printemps (fig. 6 et 7). D'autre part, l'intégration de tous les dépassements pour les stations montrées suggère une tendance des niveaux d'ozone à la hausse pour 1991 par rapport à 1989 et 1990 (fig. 7).

#### 7. Coefficients de corrélation

En milieu urbain et péri-urbain, les variables indépendantes les mieux corrélées (Tableau 3) avec les concentrations moyennes journalières de l'ozone sont la température maximale, l'ensoleillement et la concentration des NOx. Cependant, comme on le constate au tableau 3, la corrélation multiple ou simple des différentes variables montrées dans cette étude ne peut que rarement expliquer plus de la moitié de la variance, i.e.  $r^2 < 0,5$ .

#### 8. Épisode de pollution par l'ozone

Le tableau 4 montre la répartition des épisodes de pollution pour chacune des journées des mois de l'été 1991. On y constate que les épisodes de pollution par l'ozone ont tendance à survenir simultanément (la même journée) que ce soit en milieu rural ou urbain. Ceci suggère que le phénomène des épisodes de pollution est d'origine régionale et non pas d'origine locale et met en cause le transport à grande distance de l'ozone et de ses précurseurs.

#### 9. Conclusion

Les principales conclusions de cette étude sont les suivantes :

- a) en ce qui a trait aux seuils quotidiens et annuels souhaitables, les objectifs environnementaux de 2,5 ppcm (moyenne de 24 h) et de 1,5 ppcm (moyenne annuelle) apparaissent inadéquats ou à tout le moins inconsistants avec la norme horaire de 8 ppcm;

- b) les concentrations moyennes horaires d'ozone supérieures à 8 ppcm sont plus fréquentes en milieu rural et péri-urbain qu'en milieu fortement urbanisé. De façon générale, les niveaux moyens annuels d'ozone sont plus élevés en milieux rural et péri-urbain qu'en milieu urbain;
- c) on trouve une corrélation élevée entre l'amplitude du cycle diurne et l'altitude pour les stations du réseau REMPAFAQ. Ceci s'explique par une plus forte dépression nocturne des niveaux d'ozone aux postes situés en dessous de l'inversion nocturne typique;
- d) la corrélation entre les concentrations moyennes horaires d'ozone et celles des NOx est de faible à modérée en milieu urbain et semble diminuer en s'éloignant des centres urbains. La corrélation multiple des variables météorologiques et des NOx avec l'ozone ne peut que rarement expliquer plus de la moitié de la variance;
- e) il existe une forte association entre les moyennes saisonnières, la fréquence de dépassements de la norme horaire et la classe météorologique. Ceci suggère que les fluctuations interannuelles d'ozone sont déterminées largement par les fluctuations météorologiques;
- f) les valeurs élevées d'ozone se produisent à l'échelle régionale et sont souvent attribuables au transport à longue distance;
- g) le nombre total de dépassements est nettement supérieur en 1991 (aussi bien en milieu extra-urbain qu'en milieu urbain) lorsque comparé aux deux années antérieures suggérant une hausse des niveaux d'ozone pour l'année 1991 sur le sud du Québec.

## 10. Références

- Chung, Y.S., 1977 : *Ground-level ozone and regional transport of air pollutants*. Journal of Applied Meteorology, 16, 11, 1127-1136.
- Clarke, J.F. et Ching, J.K.S., 1983 : *Aircraft observations of regional transport of ozone in the northeastern United-States*. Atmospheric Environment, 17, 1703-1712.
- Heidorn, K.C. et Yap, D., 1984 : *A synoptic climatology for ozone in southern Ontario, 1976-1981*. Ontario Ministry of the Environment, Air Quality and Meteorology Section, Air Resources Branch.
- Leduc, R., 1989 : *Le réseau de mesure des polluants atmosphériques en milieux forestier et agricole au Québec*. Compte rendu, Séminaire sur le problème contemporain des oxydants, 27-28 février 1989, Vancouver.
- Leduc, R., Lamothe, A.-M. et Vincent, R., 1990 : *Évolution de la qualité de l'air en milieu urbain au Québec, 1975-1985*. Rapport synthèse. Ministère de l'Environnement du Québec.
- Lee, E.H., Hogsett, W.E. et Tingey, D.T., 1991 : *Efficacy of ozone exposure indices in the standard setting process*. Dans Tropospheric ozone and the

environment. Édité par R. Berglund, D.R. Lawson, D.J. McKee. Air and Waste Management Association, 1991, 256-271.

Singh, H.B., Ludwig, F.L. et Johnson, W.B., 1978 : *Tropospheric ozone concentrations and variability in clean remote atmospheres*. Atmospheric Environment, 12, 2185-2196.

Tingey, D.T., Hogsett, W.E., Lee, E.H., Herstrom, A.A. et Azevedo, S.H., 1991 : *An evaluation of various alternative ambient ozone standards based on crop yield loss data*. Dans Tropospheric ozone and the environment. Édité par R. Berglund, D.R. Lawson, D.J. McKee. Air and Waste Management Association, 1991, 272-288.

Toupance, G., 1988 : *L'ozone dans la basse troposphère*. Théorie et pratique. Pollution Atmosphérique, janvier-mars 1988, 32-42.

Alain Robichaud  
météorologiste  
Direction de l'environnement  
Ministère des Forêts

Tableau 1

## Description physique des sites de mesure des réseaux REMPAFAQ et urbain

Poste	Nom	Réseau	Type de terrain	altitude (m)	Période d'échantillonnage (année/mois)	Mesure des NO <sub>x</sub>
01810	Auclair	REMPAFAQ	montagneux et agricole	320	90/05-90/12	non
01820	Côte Ouimet	REMPAFAQ	montagneux et agricole	411	90/06-90/12	non
02600	Cap Éternité	REMPAFAQ	montagneux et forestier	290	90/10-90/12	non
02610	Pémonca	REMPAFAQ	montagneux et forestier	260	90/10-90/12	non
03017	Gomin (Ste-Foy)	urbain (Québec)	urbain	78	89/02-89/07 et 89/10-90/12	non
03056	Cartier-Brébeuf (Québec)	urbain (Québec)	urbain	20	89/01-90/12	oui
03712	François	REMPAFAQ	agricole	61	89/01-90/12	non
03720	N.D. Rosaire	REMPAFAQ	agricole/forêt	419	89/07-90/12	oui
03730	Hilaire	REMPAFAQ	forêt	511	90/08-90/12	non
04711	Zéphirin	REMPAFAQ	agricole	45	90/02-90/12	non
04730	Tingwick	REMPAFAQ	agricole/forêt	294	89/04-90/12	oui
04740	Charette	REMPAFAQ	agricole	116	89/01-90/12	non
05600	Stukeley	REMPAFAQ	forêt	358	89/04-89/08 et 90/03-90/12	non
06001	Jardin Botanique	urbain (MTL)	urbain	64	89/01-90/12	oui
06003	St-Jean-Baptiste	urbain (MTL)	banlieue	15	89/01-90/12	oui
06012	Ontario I	urbain (MTL)	urbain	42	89/01-90/12	oui
06028	Décarie	urbain (MTL)	urbain	45	89/01-90/12	oui
06029	Parc Pilon	urbain (MTL)	urbain	27	89/01-89/03/89/10-90/12	oui
06049	Lilac	urbain (MTL)	banlieue	31	89/01-90/12	non
06060	Sunnydale	urbain (MTL)	banlieue	42	89/01-90/12	oui
06061	Peel	urbain (MTL)	urbain	52	89/05-90/12	oui
06068	St-Joseph	urbain (MTL)	urbain	39	89/01-90/12	oui
06201	Pont-Viau	urbain (MTL)	banlieue	25	89/01-90/12	oui
06205	Chomedey	urbain (MTL)	banlieue	46	89/01-90/12	oui
06501	Faustin	REMPAFAQ	montagneux et forêt	411	89/10-90/12	non
06600	Bourassa	REMPAFAQ	banlieue	30	89/01-90/12	oui
06641	St-Simon	REMPAFAQ	cultures/paturages	38	89/01-90/12	oui
06802	Rémi	REMPAFAQ	cultures/paturages	60	89/04-90/12	oui
07001	Hull	urbain	urbain	?	90/03-90/12	non
07400	La Pêche	REMPAFAQ	forêt	206	89/04-89/08 et 90/03-90/12	oui

Tableau 2  
 Statistiques sur les niveaux d'ozone  
 Milieu rural (réseau REMPAFAQ)

	François	N.-D. du Rosaire	Zéphirin	Charette	St-Simon	Faustin
Moyenne annuelle (PPCM)	2,8	3,0	2,6	2,6	2,4	3,1
Max. sur 1 heure (PPCM)	9,0	8,0	9,0	14,0	9,0	10,0
Médiane (PPCM)	3,0	3,0	2,0	3,0	2,0	3,0
Percentile 95% (PPCM)	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
% dépassements de la norme horaire*	0,1	0,0	0,1	0,3	0,0	0,1
% dépassements du seuil quotidien**	63,4	70,3	50,0	50,7	42,5	72,1
Max. sur 24 heures	7,1	6,7	6,5	6,9	6,6	7,3

\* norme horaire 8 ppcm  
 \*\* objectif quotidien de la CUM : 2,5 ppcm

Tableau 3  
 Milieu urbain

	Gomin	Cartier-Brébeuf	Décarle	Montréal (centre-ville)	Jardin Botanique	Pont-Viau
Moyenne annuelle (PPCM)	2,0	1,4	0,8	0,6	1,4	1,8
Max. sur 1 heure	8,0	7,0	6,0	6,0	9,0	15,0
Médiane (PPCM)	2,0	1,0	1,0	< 0,5	1,0	2,0
Percentile (95%)	4,0	3,0	4,0	2,0	4,0	5,0
% dépassements horaires	0,0	0,0	≈0,0	≈0,0	≈0,0	0,1
% dépassements du seuil quotidien	29,9	7,7	1,7	1,7	9,4	21,3
Max. sur 24 heures	6,5	5,1	4,1	4,5	7,0	7,4

Tableau 4

Coefficients de corrélation entre l'ozone, les NO<sub>x</sub> et les variables météorologiques

Poste	No <sub>2</sub>	No	S	R	CO	T <sub>m</sub>	T	ENS	Rnoco	Rsnoco	Rrnoco	Rnot <sub>m</sub>	Rsnnot <sub>m</sub>	Rrnot <sub>m</sub>	Rnot	Rsnnot	Rrnot	Rnoens	Rсноens
6001	*	-0.40	-0.30	0.30	*	0.46	*	0.48	*	*	*	0.55	*	0.49	*	*	*	*	*
6003	0.13	-0.17	*	0.20	*	0.37	*	0.43	*	*	*	0.39	*	0.40	*	*	*	*	*
6012	*	-0.56	-0.33	0.54	-0.16	0.52	0.10	0.52	0.59	0.34	0.55	0.66	0.62	0.65	0.56	0.26	0.47	0.66	0.54
6028	-0.22	-0.50	-0.46	0.22	-0.38	0.44	0.38	0.42	0.50	0.47	0.41	0.62	*	*	0.59	*	*	*	*
6029	*	-0.61	-0.48	0.31	-0.38	0.28	*	0.48	0.62	0.48	0.44	*	*	0.36	*	*	*	0.68	0.56
6060	-0.15	-0.34	-0.24	0.26	-0.23	0.35	0.18	0.46	0.37	0.29	0.32	*	*	*	*	*	*	0.52	0.50
6061	0.26	-0.61	-0.42	0.28	-0.36	0.48	0.18	0.42	0.62	0.45	0.62	0.69	0.62	0.53	0.62	0.38	*	0.68	0.53
6068	-0.24	-0.40	-0.44	*	*	0.59	0.18	0.51	*	*	*	0.66	0.74	*	0.51	*	*	0.58	0.70
6201	-0.29	-0.49	-0.45	0.37	-0.16	0.40	0.30	0.56	0.49	0.45	0.47	0.59	0.55	*	0.55	0.46	*	0.64	0.68
6205	-0.12	-0.37	-0.21	0.38	-0.17	0.38	0.23	0.56	0.37	0.25	0.48	0.48	0.44	*	0.41	0.20	*	0.59	0.59
6600	-0.19	-0.30	-0.29	0.17	*	0.44	*	0.54	*	*	*	0.51	0.54	*	*	*	*	0.56	0.60
7001	-0.28	-0.41	-0.38	0.63	-0.24	0.54	0.47	0.48	0.42	0.39	0.63	0.60	0.60	0.74	0.56	0.53	0.62	0.54	0.45

## LÉGENDE:

\* corrélation non-significative

NO<sub>2</sub>: dioxyde d'azote

NO: monoxyde d'azote

S: somme des concentrations NO<sub>2</sub> et NOR: rapport des concentrations NO<sub>2</sub> et NO

CO: monoxyde de carbone

T<sub>m</sub>: température maximale à Dorval

T: température moyenne à Dorval

ENS: nombre d'heures d'ensoleillement à Dorval

Rnoco: coeff de corrélation multiple entre ozone et NO et CO.

Rsnoco: coefficient de corrélation multiple entre ozone, somme des No, et monoxyde de carbone.

Rrnoco: coefficient de corrélation multiple entre ozone, rapport des No, et monoxyde de carbone.

Rnot<sub>m</sub>: coefficient de corrélation multiple entre ozone, NO et température maximale.Rsnnot<sub>m</sub>: coefficient de corrélation multiple entre ozone, somme des No, et température maximale.Rrnot<sub>m</sub>: coefficient de corrélation multiple entre ozone, rapport des No, et température maximale.

Rnot: coefficient de corrélation multiple entre ozone, NO et température moyenne.

Rsnnot: coefficient de corrélation multiple entre ozone, somme des No, et température moyenne.

Rrnot: coefficient de corrélation multiple entre ozone, rapport des No, et température moyenne.

Rnoens: coefficient de corrélation multiple entre ozone, NO et nb. d'heures d'ensoleillement.

Rсноens: coefficient de corrélation multiple entre ozone, somme des No, et nb. d'heures d'ensoleillement.

Épisodes de pollution par l'ozone (1991)

Épisodes de pollution par l'ozone (1991)

JOUR -

STATION	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
AUCLAIR							*	*					*																			
FRANÇOIS																									☐							
HILAIRE		*							*							☐						☐			■							
N.-D.-DU-ROSAIRE																									*	*	*	*				
ZÉPHIRIN																	☐								■							
TINGWICK																	☐								☐							
CHARETTE																																
STUKELEY																*	*	*	*	*	*	*	*	*	■							
FAUSTIN																	☐															
ST-SIMON																																
RÉMI																	■								☐							
LA PECHE											☐						■	*	*	*	*	*	*									
GOMIN																									☐							
JARDIN BOTANIQUE																	*	*	*	*	*	*	*									
ONTARIO I																																
PARC PILON																	■								☐		■					
LILAC							■							*	*		☐								☐							
ROXBORO																								*	*	*						
ST-JOSEPH																									☐							
PONT-VIAU																	☐								☐							
CHOMEDEY																	☐								☐							
BOURASSA																									☐							
NULL	*															■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	

LÉGENDE

*	Données manquantes
☐	Moyenne sur 24h. > 6 ppcm
☐	Moyenne sur 12h. > 6 ppcm
■	Moyenne horaire max. > 8 ppcm mais ≤ 10 ppcm.
■	Moyenne horaire max. > 10 ppcm mais ≤ 12 ppcm.
■	Moyenne horaire max. > 12 ppcm.

MAI 1991

## Épisodes de pollution par l'ozone (1991) (suite)

STATION	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
AUCLAIR																				*											
FRANÇOIS										☐																					
HILAIRE										■	■															☐	■	■	■	■	■
N.-D.-DU-ROSAIRE										■	■																				
ZÉPHIRIN										■	■									☐						☐	■	■	■	■	
TINGWICK										*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*							■	■	■	■	■
CHARETTE																															
STUKELY										■	■	■	*	*	*												■	■	■	■	■
FAUSTIN																															
ST-SIMON																															
RÉMI										■	■															☐	■	■	■	■	
LA PECHE										☐																		*	*	*	*
GOMIN																															
JARDIN BOTANIQUE	*									■	■																				
ONTARIO I																												■	■	■	■
PARC PILON																			*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
LILAC										■	■																☐	☐	☐	☐	
ROXBORO																															
ST-JOSEPH					*																					☐	■	■	■	■	*
PONT-VIAU																										☐	■	■	■	■	*
CHOMEDEY																															
BOURASSA																										☐	■	■	■	■	■
HULL																						*	*	*				☐	■	■	■

JUN 1991

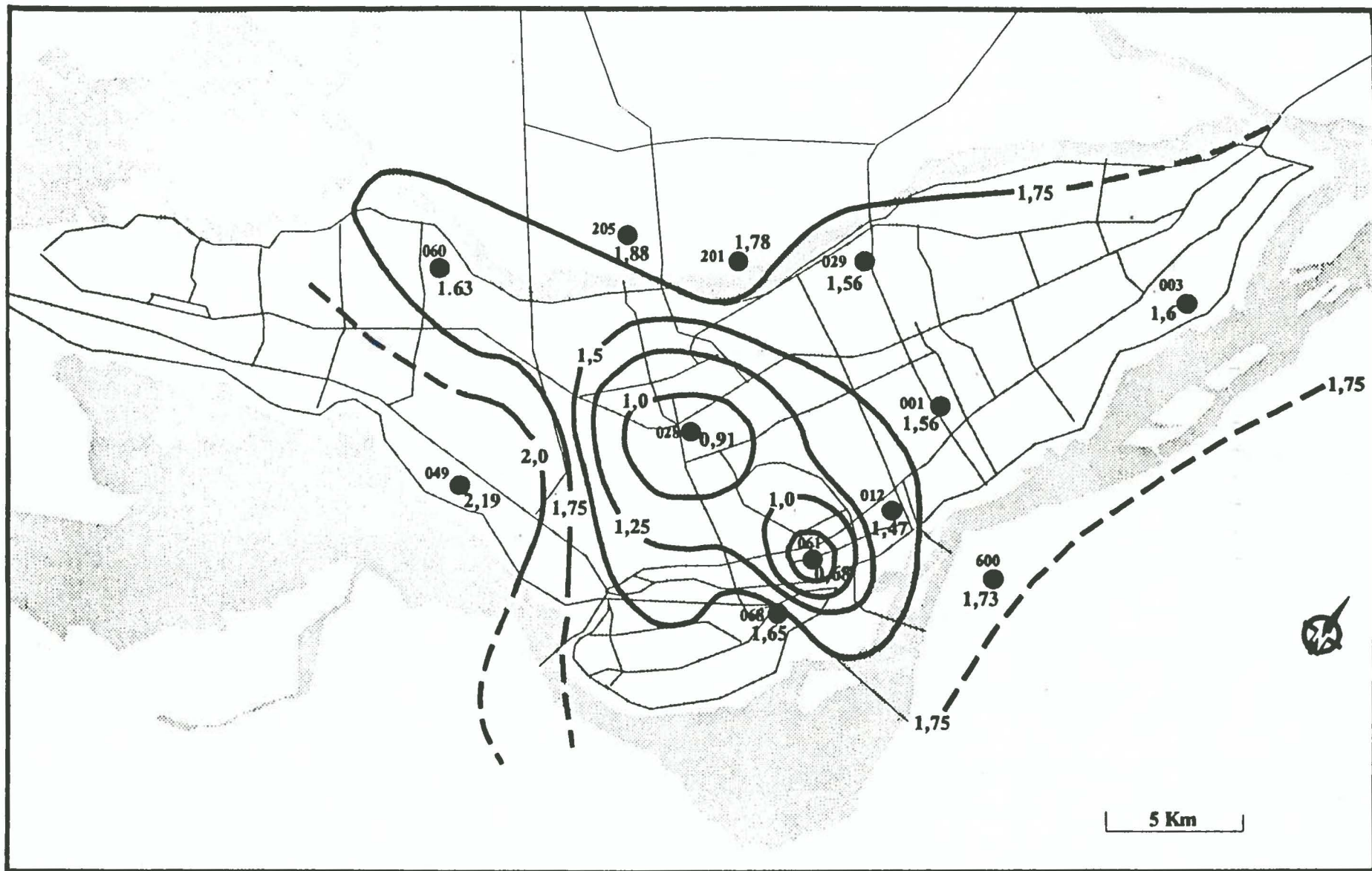
Épisodes de pollution par l'ozone (1991) (suite)

STATION	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31		
AUCLAIR																																	
FRANÇOIS																				☐													
HILAIRE																	☐				☐												
N.-D.-DU-ROSAIRE																											*	*	*	*	*	*	
ZÉPHIRIN																				■	☐												
TINGWICK	*	*						*												*	*	*	*					*					
CHARETTE																																	
STUKELEY	*	*	*	*													☐			☐	☐												
FAUSTIN																							*										
ST-SIMON																																	
RÉMI																	■			■	■												
LA PECHE																																	
GOMIN																																	
JARDIN BOTANIQUE																																	*
ONTARIO I		*	*	*	*															■	■										*		
PARC PILON	*	*																															
LILAC					*			*	*								☐			☐	■												
ROXBORO								*	*	*	*	*	*	*																			
ST-JOSEPH	*														*					■	■												
PONT-VIAU	*	*	*	*								*	*	*	*					☐	☐												
CHONEDEY																				☐	☐												
BOURASSA										*										☐	☐												
HULL	■															■																	

JUILLET 1991

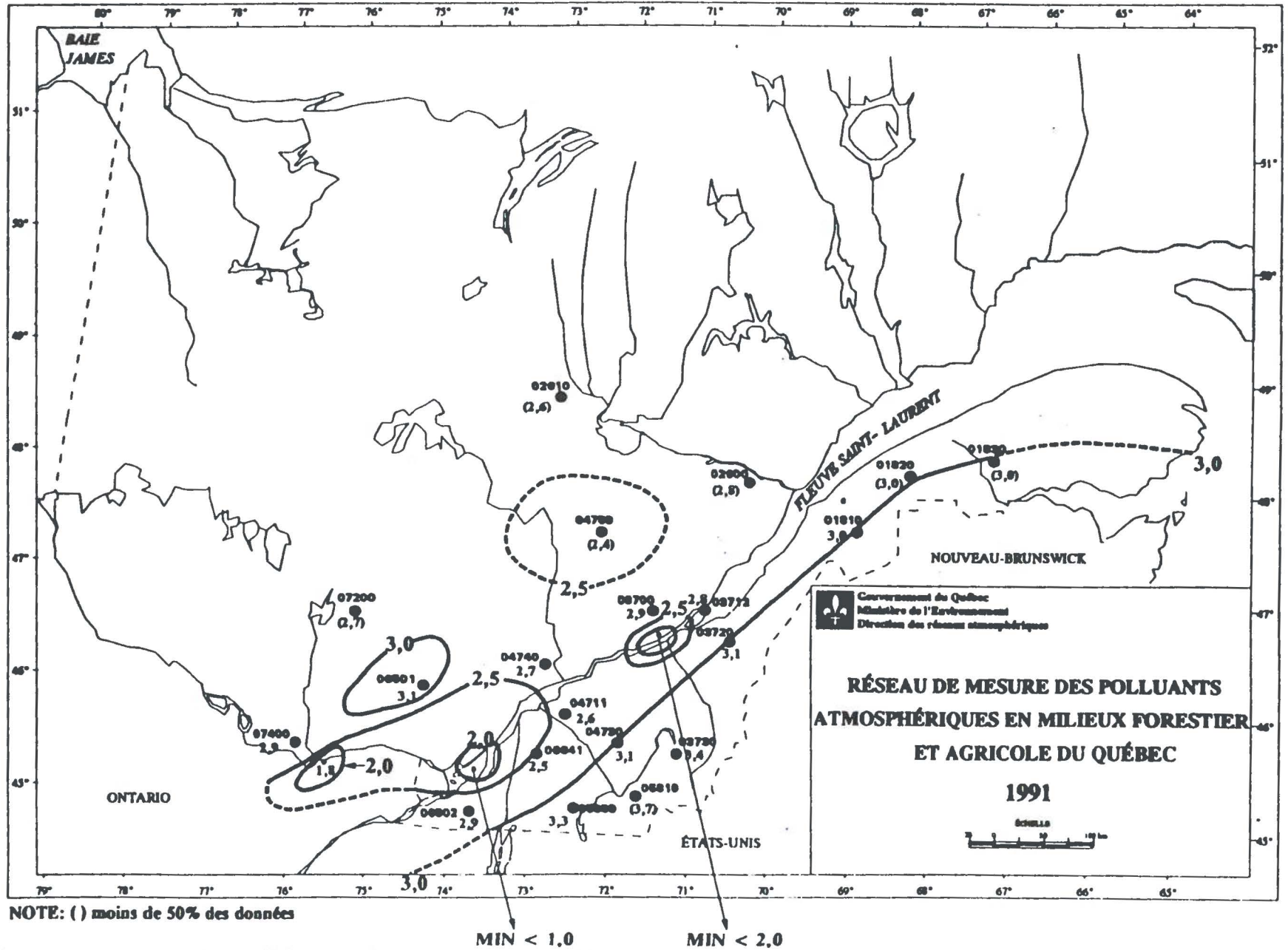


Moyenne annuelle de l'ozone sur le secteur de Montréal  
(1989-1991)



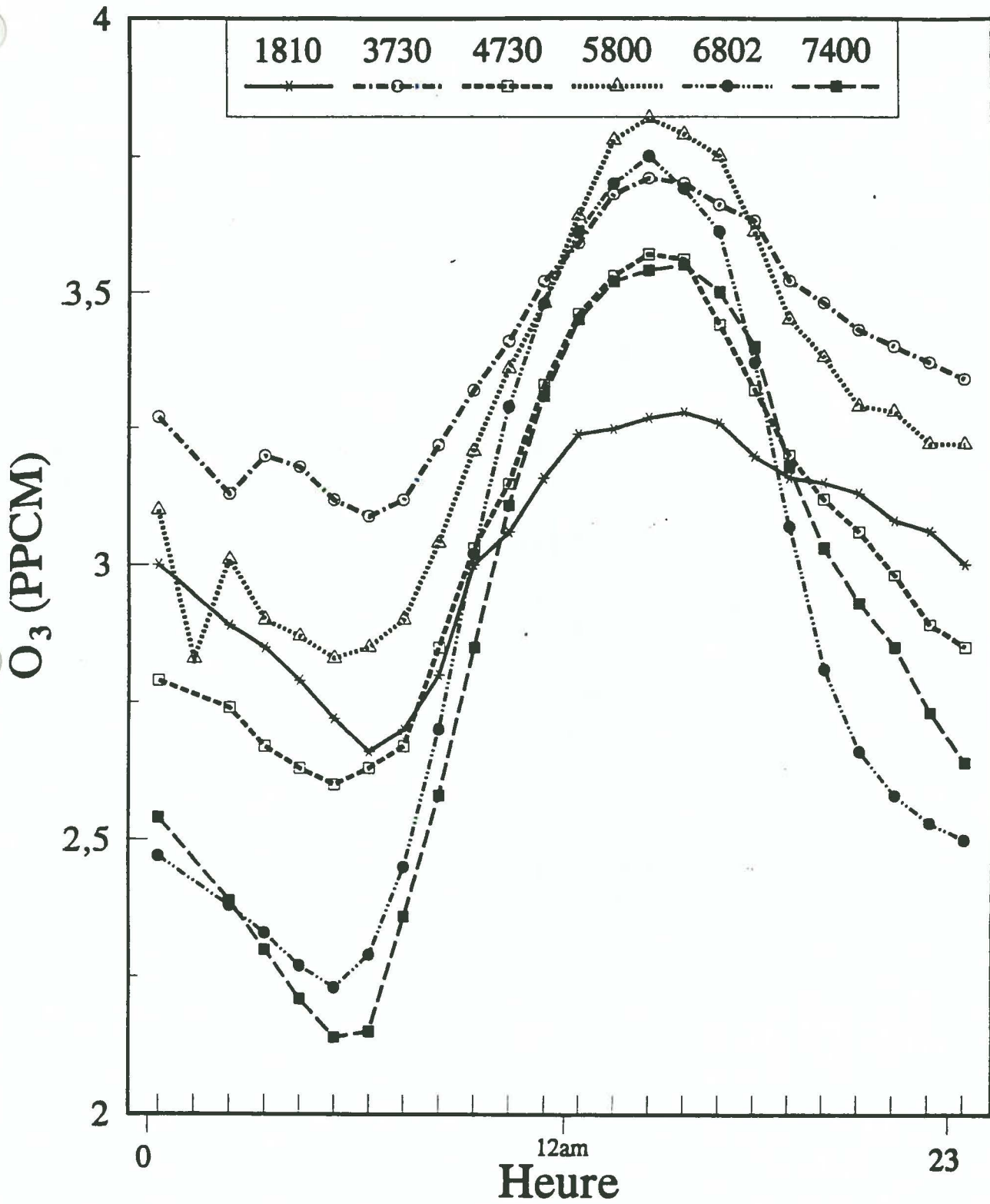
1991

Moyenne annuelle (PPCM) des concentrations d'ozone  
(1989-1991)

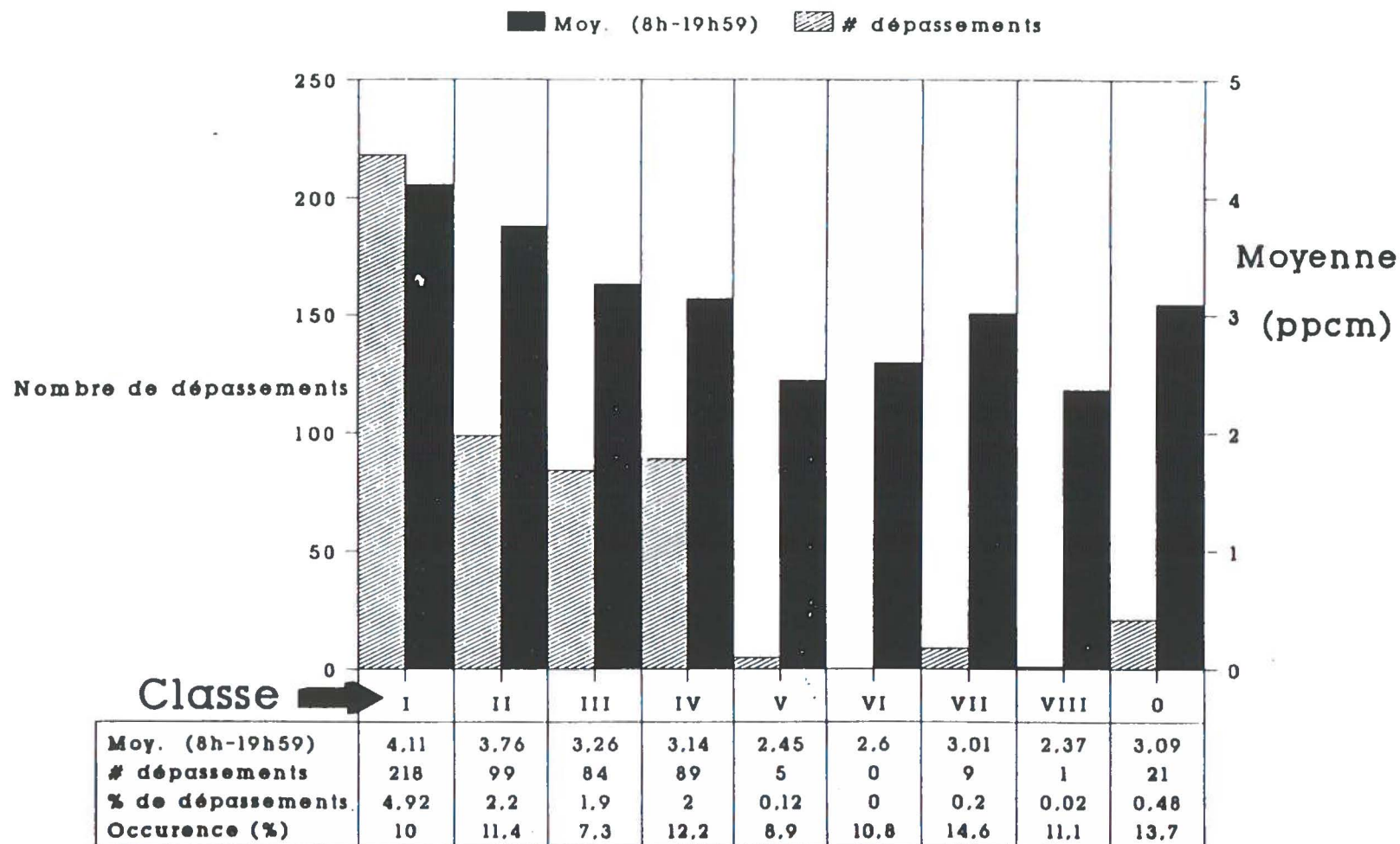


Réseau REMPFAQ 1989-1991

Variation diurne des concentrations horaires



## La fréquence des dépassements en fonction de la classe météorologique (1989-1991); Réseaux REMPFAQ et urbain



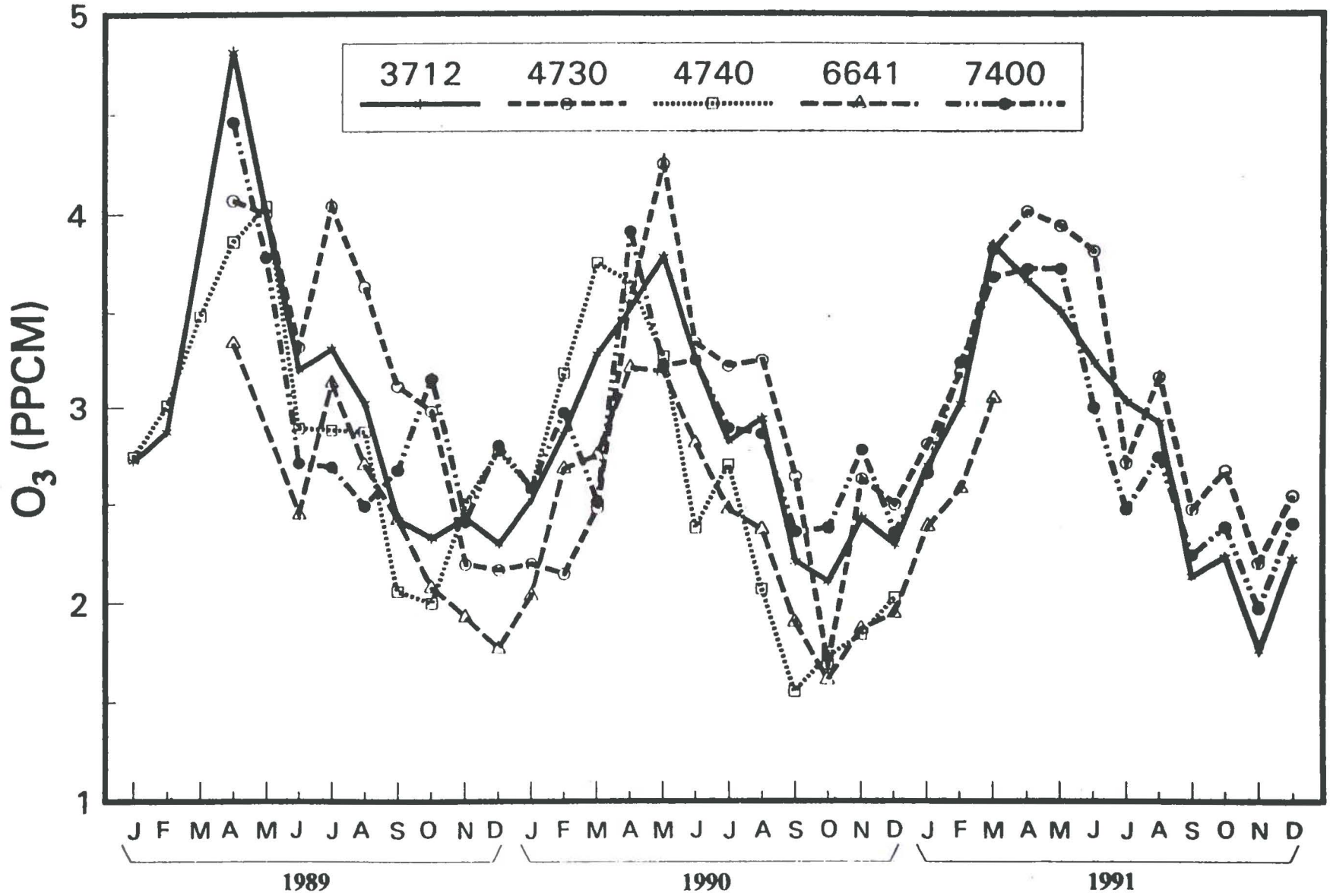
### LÉGENDE DES TYPES DE CLASSES MÉTÉOROLOGIQUES

- I. Arrière d'une zone de haute pression situé sur la côte est des É.U.
- II. Cas de stagnation avec températures élevées.
- III. Secteur chaud d'une basse pression.
- IV. Passage d'un front froid.
- V. Arrière d'un front froid (vents du nord-ouest).
- VI. Avant d'une zone de haute pression (vents du nord-ouest).
- VII. Crête de haute pression.
- VIII. Centre de basse pression avec précipitation.

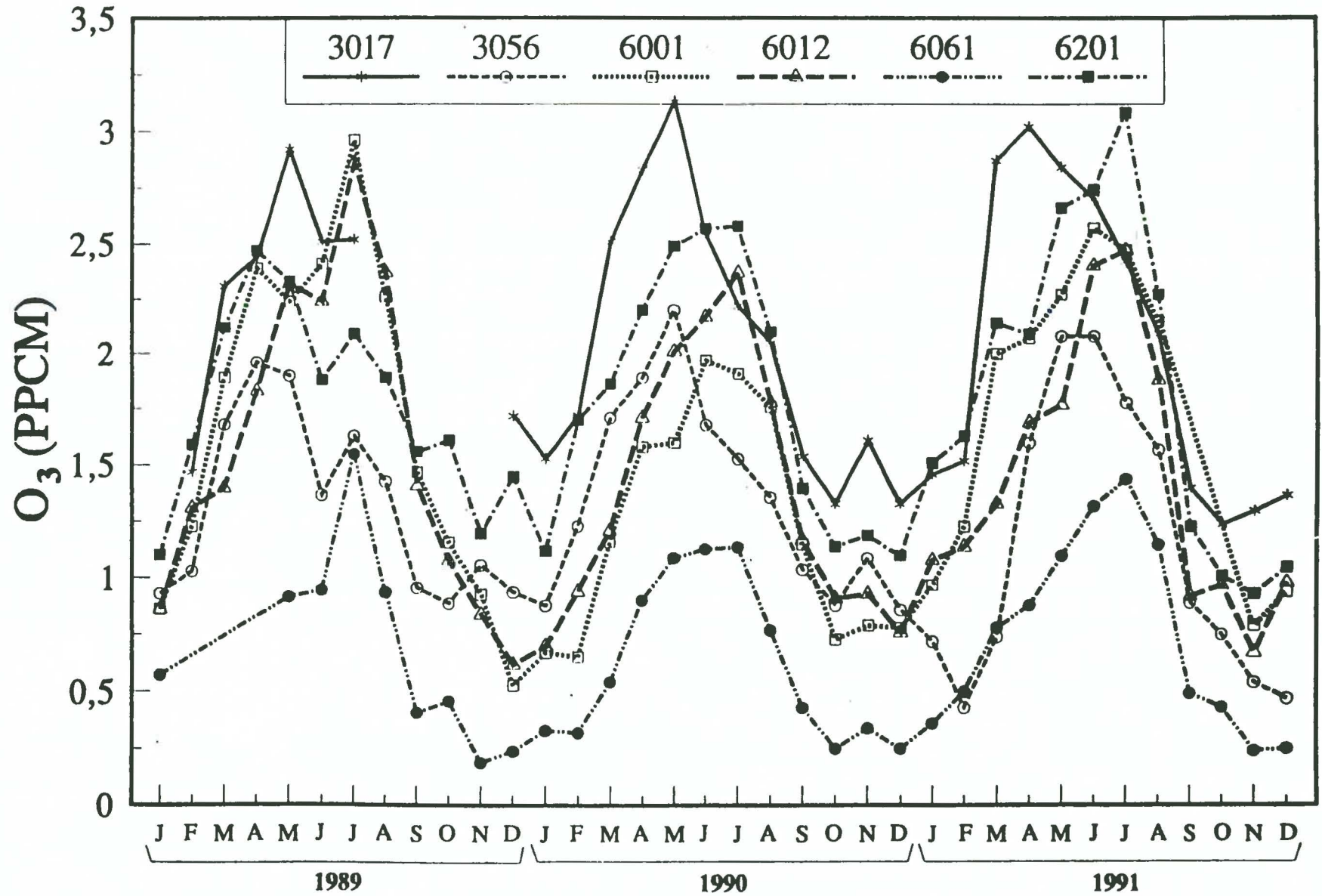
Indice des stress  $I_x^*$  (PPCM) sur les écosystèmes dû à l'ozone  
(1989-1991)



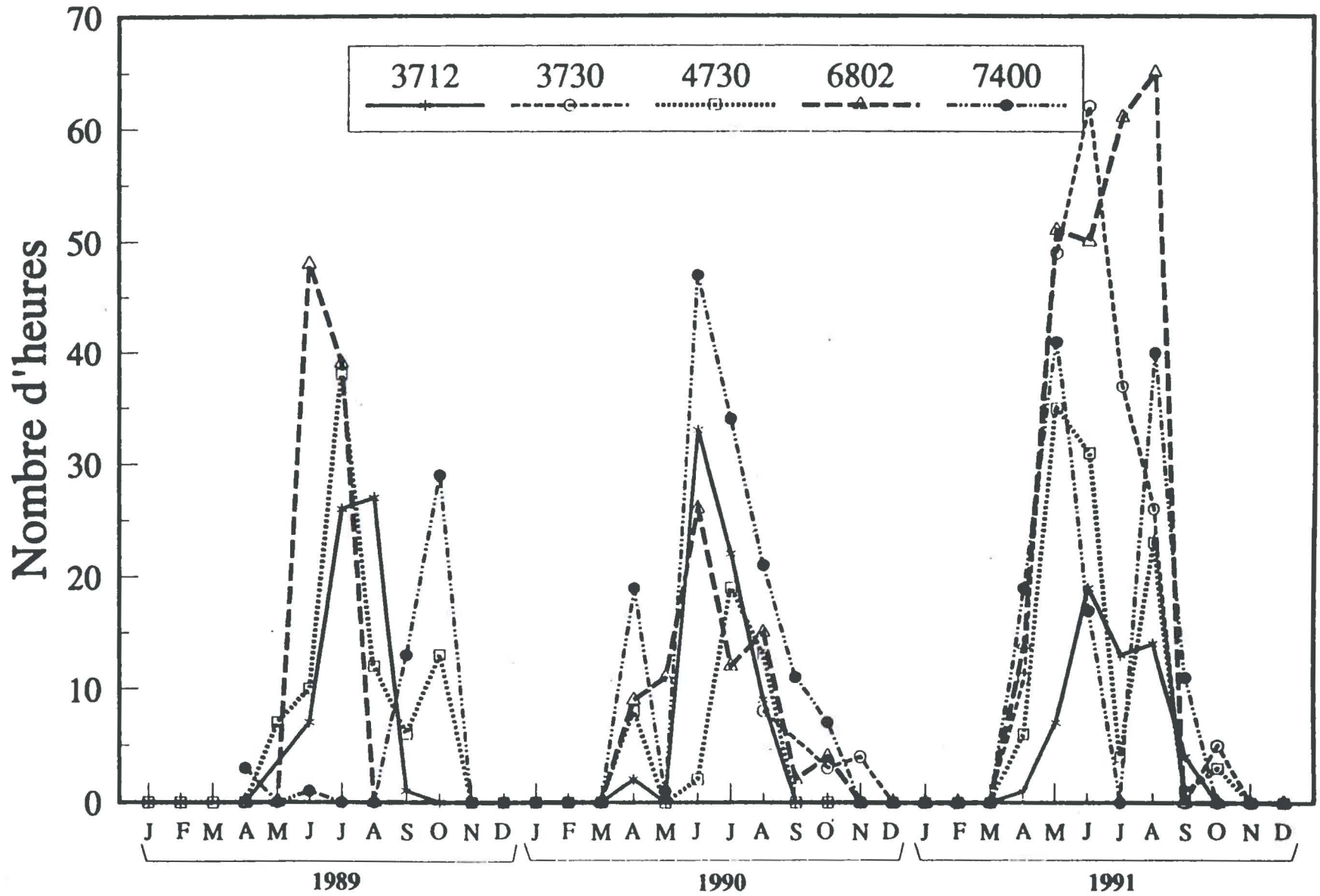
**Réseau REMPAFAQ**  
**Variation mensuelle des concentrations**  
**Moyennes d'ozone (Janvier 1989 à Décembre 1991)**



F. Eau urbain  
 Variation mensuelle des concentrations  
 (Janvier 1989 à Décembre 1991)



**Réseau REMPAFAQ**  
 Nombre de dépassements du niveau 6 ppcm  
 (Janvier 1989 à Décembre 1991)



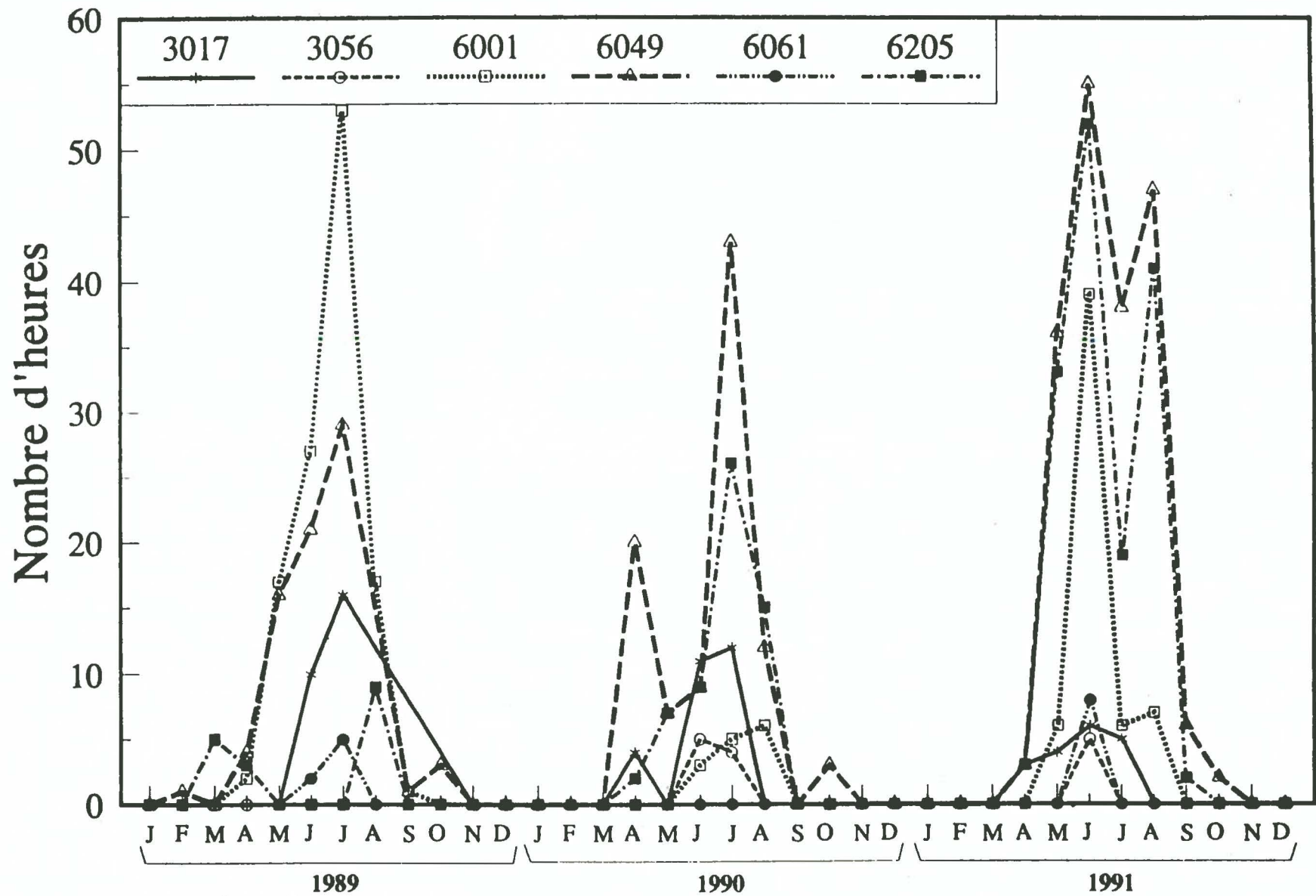
**TOTAL =**

**280**

**327**

**530**

**Réseau urbain**  
**Nombre de dépassements du niveau 6 ppcm**  
 (Janvier 1989 à Décembre 1991)



**TOTAL =**

**242**

**203**

**426**

# Transport à grande distance de l'ozone et de ses précurseurs dans le corridor Windsor-Québec

## Résumé

Le corridor Windsor-Québec connaît des niveaux élevés d'ozone au sol à chaque année durant l'été. L'étendue spatiale des épisodes d'ozone est cependant très dépendante de la situation météorologique synoptique qui peut varier d'une année à l'autre. Les études sur les 15 dernières années indiquent que les régions du sud de l'Ontario connaissent plus fréquemment des niveaux élevés d'ozone que celles situées dans le sud du Québec, ce qui est probablement dû à la trajectoire estivale des anticyclones au sud des Grands Lacs. De plus, les régions du sud de l'Ontario sont aussi sous le vent de sources anthropogéniques majeures. Le transport à longue distance de l'ozone et de ses précurseurs est donc un facteur dominant en ce qui concerne l'ozone dans le corridor Windsor-Québec.

## Abstract

*The Windsor-Québec City corridor experiences elevated ground-level ozone each year during the summer months. The spatial extent of ozone episodes in the corridor is however highly dependent on synoptic weather patterns which vary from year to year. Studies for the past 15 years indicate that areas of southern Ontario are impacted more frequently by elevated ozone levels than regions in southern Québec; this is likely caused by the typical track of summertime anticyclone south of the lower Great Lakes. In addition, the areas of southern Ontario are also immediately downwind of significant anthropogenic precursor source regions. Long-range transport of ozone and its precursors thus plays a major role in the Windsor-Québec City corridor.*

## 1. Introduction

L'ozone au sol (O<sub>3</sub>) est habituellement un produit du smog photochimique dans lequel les oxydes d'azote et les hydrocarbures (composés organiques volatils) réagissent en présence de lumière. L'ozone n'est pas émis directement dans l'atmosphère en quantité significative, mais tend plutôt à être formé sous le vent des sources de précurseurs et peut voyager sur de grandes distances dans l'atmosphère. L'ozone est donc une manifestation du transport à longue distance de la pollution atmosphérique et est fortement relié à la situation synoptique et aux facteurs météorologiques. Ceci est particulièrement évident dans l'est du Canada où l'ozone et ses précurseurs en provenance des États-Unis peuvent contribuer de manière appréciable aux épisodes dans le corridor Windsor-Québec et dans le sud des Maritimes. On définit ici le corridor Windsor-Québec comme une bande relativement étroite (environ 100 km de large) le long de la rive nord du lac Érié, du lac Ontario et du fleuve Saint-Laurent en Ontario, et qui s'étend le long du fleuve Saint-Laurent, de la frontière ontarienne jusqu'à la ville de Québec (CCME, 1990; fig. 1). On examinera ici le rôle du transport à longue distance dans le corridor Windsor-Québec lors des épisodes d'ozone en mettant l'accent sur le sud de l'Ontario. On examinera aussi des données sur le sud du Québec. L'épisode de juillet 1988 est analysé pour 4 villes importantes situées dans le corridor.

## 2. Épisodes d'ozone dans le sud de l'Ontario

La tendance et le cycle de l'ozone dans le sud de l'Ontario ont été étudiés par plusieurs chercheurs depuis le milieu des années 70. Actuellement, le réseau d'échantillonnage ontarien compte 47 stations avec lesquelles on peut étudier la possibilité de transport à longue distance de l'ozone vers l'Ontario et obtenir de l'information pour évaluer les dommages aux cultures dus à l'ozone. Les résultats obtenus avec ce réseau montrent que durant les 10 dernières années (sur la base de 23 stations pour lesquelles on dispose de 10 années de données) et à l'exception de 1988, la moyenne provinciale de l'ozone est demeurée relativement constante. On note une certaine variabilité à des sites spécifiques, mais aucune tendance. Les résultats démontrent aussi que la norme horaire de l'ozone (80 ppb) est fréquemment dépassée (fig. 2). Il n'y a aucune tendance particulière pour ces dépassements, mais au cours de l'été 1988, les niveaux d'ozone ont été inhabituellement élevés et avec de fréquents dépassements de la norme.

Les dépassements sont restreints à la saison douce, de mai à septembre, et sont associés à des masses d'air sans nuages et relativement chaudes en provenance de

sud-ouest. Pour que de telles conditions se développent, les systèmes météorologiques migratoires doivent se situer à un endroit spécifique par rapport à l'Ontario. Les niveaux élevés d'ozone couvrant une large superficie de l'est de l'Amérique du Nord (incluant le sud de l'Ontario) se retrouvent typiquement à l'arrière des anticyclones ou dans les secteurs chauds des dépressions (fig. 3). Pour le sud de l'Ontario, trois types de circulation expliquent 73 % des niveaux d'ozone élevés, à savoir: le flanc ouest des anticyclones, la proximité d'une crête ou d'une haute pression quasi stationnaire et le secteur chaud d'une onde frontale tropicale. L'étendue géographique, la vitesse de déplacement et la trajectoire exacte du système météorologique affecteront donc, d'une année à l'autre, la fréquence et la durée des épisodes d'ozone sur le sud de l'Ontario.

Afin d'analyser les épisodes d'ozone et leurs relations avec les conditions météorologiques, les « épisodes-jours (EJ) » sont définis comme les jours durant lesquels des niveaux étendus (centaines de kilomètres) et élevés (concentration horaire maximale de plus de 80 ppb) d'ozone se produisent simultanément à 8 stations ou plus; les « épisodes » sont définis comme un événement distinct lors d'un EJ. Dans le sud de l'Ontario, les EJ durant la période 1979-90 se produisent en moyenne 15 fois par année avec un maximum de 36 en 1988 et un minimum de 7 en 1982. Environ 82 % des épisodes durent une ou deux journées, 12 % sont de 3 ou 4 jours, 4 % de 5 jours et moins de 2 % durent 7 ou 8 jours. L'épisode le plus long, celui de juin 1983, a duré 8 jours. L'analyse des EJ faite avec les rétrotrajectoires de 2 jours pour la période 1979-85 (Yap et al., 1988) révèle que les parcelles d'air atteignent le sud de l'Ontario en provenance du sud-sud-ouest et passent sur des régions urbaines ou fortement industrialisées des États-Unis lesquelles sont potentiellement des régions sources pour l'ozone et ses précurseurs. De plus, les conditions épisodiques dans le sud de l'Ontario pour la période 1979-90 se produisent invariablement lors d'une circulation en provenance des États-Unis (environ 95 % des cas durant la période de 12 ans). La figure 4 montre les rétrotrajectoires pour le sud de l'Ontario pour les 36 EJ de 1988. L'occurrence de niveaux élevés d'ozone sur une grande région n'est pas unique à l'Ontario qui se situe probablement à la bordure nord de la région de l'Amérique du Nord qui connaît un problème d'ozone au sol.

Il a aussi été démontré que des niveaux élevés d'ozone peuvent se retrouver sous le vent de villes moyennes ou grandes. Dans le sud de l'Ontario, un tel effet a été observé pour les régions à l'est et au nord-est de Toronto, et du complexe urbain formé des villes de Détroit, Windsor et Sarnia. On note aussi souvent une diminution de l'ozone dans le milieu urbanisé de Toronto et celui de Hamilton laquelle peut être due à la présence du NO. De manière climatologique, il semble que, pour le sud de l'Ontario, les contributions locales aux niveaux d'ozone sont généralement faibles et, par conséquent, les mesures de contrôle locales visant à réduire les dépassements de la norme d'ozone seront relativement inefficaces.

En résumé, une analyse des données d'ozone des 12 dernières années indique qu'il n'y a pas de tendance

évidente des concentrations au sol à long terme. Ceci est en accord avec les émissions relativement constantes de NOx dans la région, bien que l'on ne dispose pas d'information complète concernant les variations simultanées des émissions d'hydrocarbures (autre précurseur de l'ozone). L'analyse météorologique démontre clairement l'importance du rôle des sources d'émission des États-Unis dans les dépassements de la norme d'ozone dans le sud de l'Ontario.

### 3. Niveaux élevés d'ozone dans le sud du Québec

Une analyse préliminaire des données d'ozone pour les 9 années de la période 1982-1990 et pour les mois d'avril à septembre pour un site à Montréal (Pointe-aux-Trembles) et un à Québec (boul. Saint-Cyrille) donne les résultats suivants. Le site de Montréal dépasse le critère fédéral de 82 ppb en moyenne 5 fois par année avec un maximum de 11 dépassements en 1982 et aucun en 1983. À Québec, la station dépasse le même critère en moyenne 3 fois par année avec un maximum de 11 en 1982 et aucun dépassement en 1984 et 1987. Ces fréquences sont beaucoup plus faibles que celles observées dans le sud de l'Ontario durant la même période. Néanmoins, les fluctuations des fréquences annuelles de dépassements suggèrent que la météorologie est aussi un facteur important dans les épisodes de pollution par l'ozone.

### 4. Étude de cas: épisode de juillet 1988

Du 4 au 10 juillet (7 jours) 1988, le sud et le nord-est de l'Ontario ont connu un de leurs plus longs et plus intenses épisodes de pollution par l'ozone. On présente ici une analyse de cet épisode en mettant l'accent sur les principales villes du corridor Windsor-Québec.

#### 4.1 Conditions météorologiques

En surface, du 2 au 4 juillet, un faible gradient de pression sur l'est de l'Amérique du Nord commence à se raffermir. Du 5 au 10 juillet, une vaste zone bien définie de haute pression s'est formée et s'est déplacée au sud-est des Grands Lacs et a affecté la majeure partie de l'est de l'Amérique du Nord (fig. 5). Un front quasi stationnaire a par contre influencé le sud du Québec durant la même période. Le 10 juillet, la haute pression commence à s'affaïsser et se déplace vers l'est suite à l'approche d'un front froid orienté N.-E.-S.-O. et qui s'est déplacé sur le sud du Québec et de l'Ontario le matin du 11 juillet.

Le sud du Québec et le sud de l'Ontario se sont donc retrouvés sur le flanc ouest d'une haute pression stationnaire localisée au sud-est des Grands Lacs. La longueur de l'épisode (7 jours) est attribuable à cette haute pression stationnaire, aux conditions météorologiques et à la circulation d'air favorable à des niveaux élevés d'ozone sur la région. Les observations indiquent que la masse d'air couvrant la majeure partie de l'Amérique du Nord était très chaude (25°C-35°C) et relativement sèche ( $T_d = 8^\circ\text{C}-20^\circ\text{C}$ ) dans toute la couche limite. La hauteur de mélange était de plus de 3000 m.

## 4.2 Analyse des trajectoires

Les analyses des rétrotrajectoires qui considèrent les conditions météorologiques le long de la trajectoire complète (température maximale moyenne, ou Tmax, température du point de rosée, couverture nuageuse et vitesse) ont été faites pour Windsor, Toronto, Montréal et Québec. Les résultats sont présentés à la figure 6.

Les basses températures du point de rosée durant les 4 premiers jours de l'épisode et les fortes températures Tmax durant tout l'épisode constituent une caractéristique frappante des conditions météorologiques le long des trajectoires. Les faibles températures du point de rosée peuvent avoir entraîné un plus grand rayonnement solaire au sol, ce qui peut avoir aussi causé une température plus élevée. Puisque certaines des réactions photochimiques dépendent de la température (Carter et al., 1979), le taux de production d'ozone plus élevé pourrait avoir été produit par des températures Tmax élevées. Ceci peut expliquer en partie les valeurs diurnes très élevées d'ozone notées sur le sud de l'Ontario.

Les analyses indiquent que : 1) la plupart des rétrotrajectoires proviennent du sud-ouest et de l'Ontario, et, à mesure que l'épisode progresse, les trajectoires passent graduellement du sud le 5 juillet à l'ouest les 9 et 10 juillet; 2) les concentrations diurnes maximales d'ozone augmentent à partir du début de l'épisode pour atteindre les valeurs les plus élevées le 7 juillet et diminuent par la suite; 3) les concentrations diurnes maximales d'ozone et les températures Tmax sont beaucoup plus élevées à Windsor et Toronto qu'à Montréal et Québec; 4) la plupart des rétrotrajectoires de Montréal et Québec ont leur origine près des Grands Lacs, alors que celles de Windsor et Toronto proviennent de plus loin au sud.

Puisque l'ennuage et la vitesse étaient relativement constants du 4 au 7 juillet, deux facteurs principaux peuvent expliquer la tendance des maximums quotidiens d'ozone : premièrement, l'augmentation graduelle de Tmax et, deuxièmement, le virement graduel vers l'ouest des trajectoires qui passent au-dessus de régions à fort taux d'émission de précurseurs (fig. 6). Le fait que les concentrations diurnes maximales soient plus faibles à Montréal et Québec qu'à Windsor et Toronto semble être relié aux trajectoires et à leurs origines ainsi qu'aux conditions météorologiques. Pour Montréal et Québec, les trajectoires proviennent de la région des Grands Lacs et ont donc traversé des régions avec des émissions de précurseurs plus faibles. Ce résultat est en accord avec l'hypothèse que les villes de Windsor et Toronto sont souvent localisées à la bordure nord de la région à problème pour l'ozone dans l'est de l'Amérique du Nord.

L'analyse indique aussi que le sud du Québec connaît des maximums diurnes d'ozone beaucoup plus bas que ceux rencontrés dans le sud de l'Ontario (Windsor : 159 ppb; Toronto : 178 ppb; Montréal : 105 ppb; Québec : 60 ppb). Les niveaux plus bas dans le sud du Québec semblent être reliés au fait que les rétrotrajectoires de 3 jours ne provenaient pas du secteur sud-ouest. Cependant, la rétrotrajectoire de 6 jours pour le 7 juillet 20 h provient du secteur sud-ouest. Étant donné que la durée de vie de

la plupart des hydrocarbures est de moins de 3 jours (Hough, 1986), le secteur sud-ouest n'est peut-être pas la source d'émission majeure influençant le sud du Québec durant cet épisode. L'extension spatiale des épisodes d'ozone dans le corridor Windsor-Québec est donc très dépendante de la situation météorologique synoptique et peut varier significativement d'un événement à l'autre.

## 5. Conclusion

Le corridor Windsor-Québec, dans lequel vivent environ 12 millions de personnes, connaît des niveaux élevés d'ozone au sol à chaque année durant l'été. L'étendue spatiale des épisodes d'ozone dans le corridor est cependant très dépendante de la situation météorologique synoptique qui peut varier d'une année à l'autre. Néanmoins, les études réparties sur les 15 dernières années indiquent que les régions du sud de l'Ontario connaissent plus fréquemment des niveaux élevés d'ozone que celles situées dans le sud du Québec. Ceci est probablement dû à la trajectoire estivale des anticyclones au sud des Grands Lacs. De plus, les régions du sud de l'Ontario sont aussi sous le vent de sources anthropogéniques majeures. Le transport à grande distance de l'ozone et de ses précurseurs est donc un facteur dominant en ce qui concerne l'ozone dans le corridor Windsor-Québec.

## 6. Références

- Carter, W.P.L., Winer, A.M., Darnal, K.R. et Pitt, J.N., 1979 : *Smog chamber studies of temperature effects in photochemical smog*. *Environmental Science and Technology*, 13, 1094.
- CCME, 1990 : *Management Plan for nitrogen oxides (NOx) and volatile organics compounds (VOCs), Phase 1*, November 1990. Canadian Council of Ministers of the Environment.
- Hough, A.M., 1986 : *The production of photochemical pollution in southern England and the effects of vehicle exhaust emission control strategies*. AERE Report R-12069.
- Yap, D., Ning et D., Dong, W., 1988 : *An assessment of source contributions to the ozone concentrations in southern Ontario, 1979-1985*. *Atmospheric Environment*, 22, 1161.

Texte traduit de l'anglais par Richard Leduc

David Yap  
chef, services météorologiques

Dominic Mignacca  
Duncan Fraser  
météorologistes

Air Resources Branch  
Environnement Ontario

Texte présenté au Colloque sur les précipitations acides et sur la pollution par l'ozone (smog), Montréal, 4-5 novembre 1991.

Figure 1  
 Windsor-Quebec Corridor and Location of Major U.S.  
 VOC/NO<sub>x</sub> Source Regions Near the Great Lakes

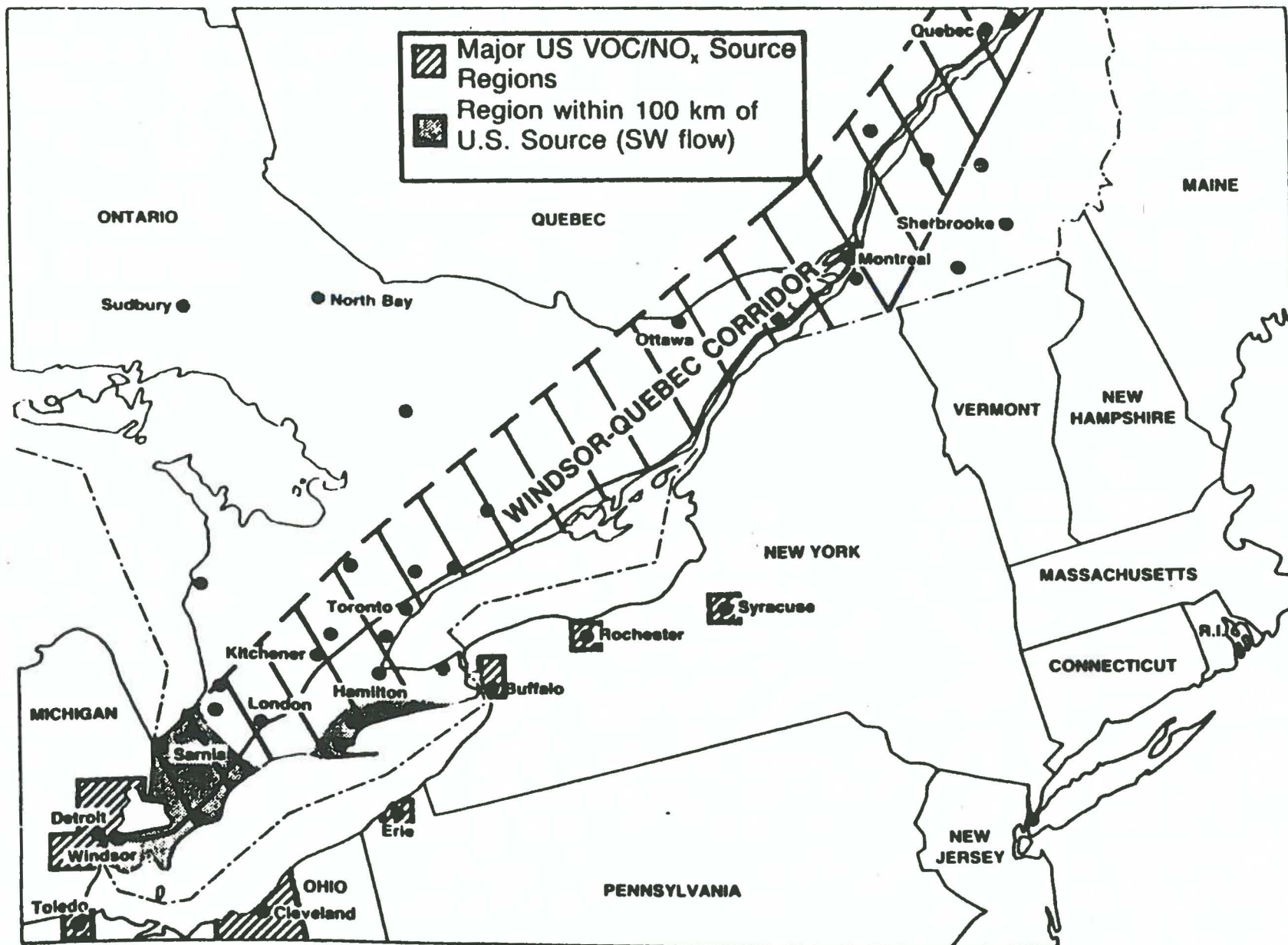


Figure 2  
10 — Year Trend for Ozone Across Ontario

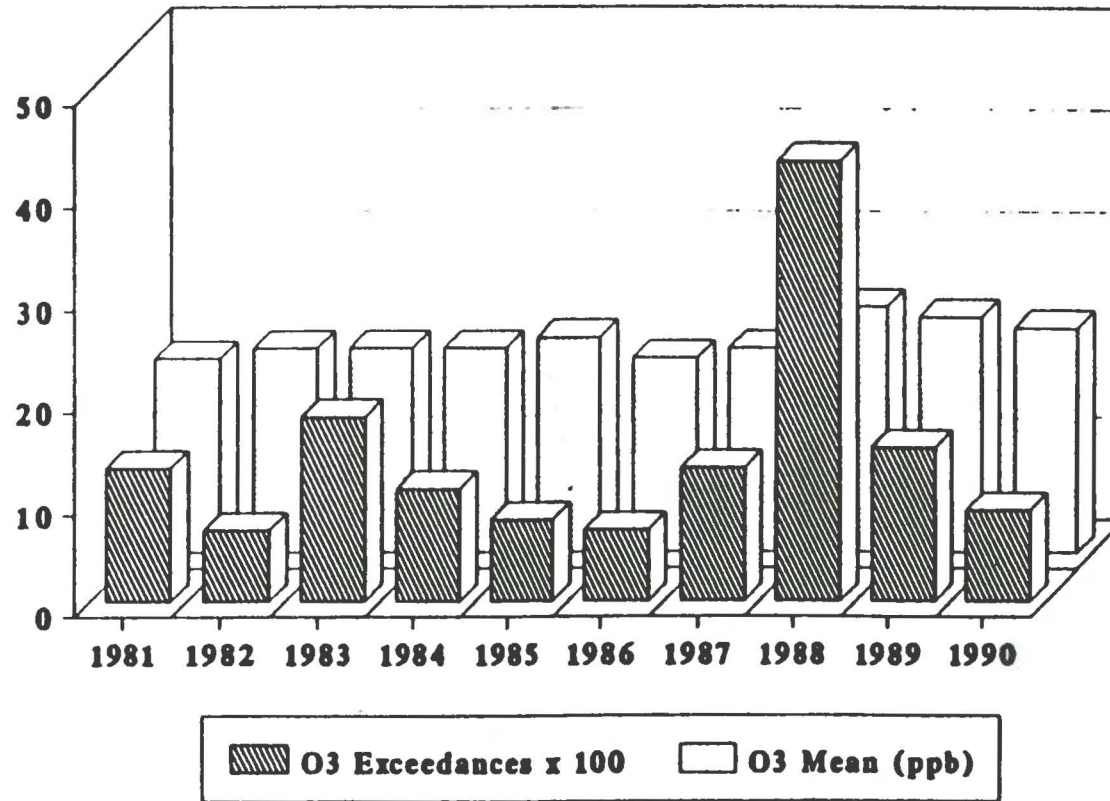


Figure 3  
Generalized Synoptic Weather Pattern over Southern Ontario with Associated Typical Ozone Concentrations

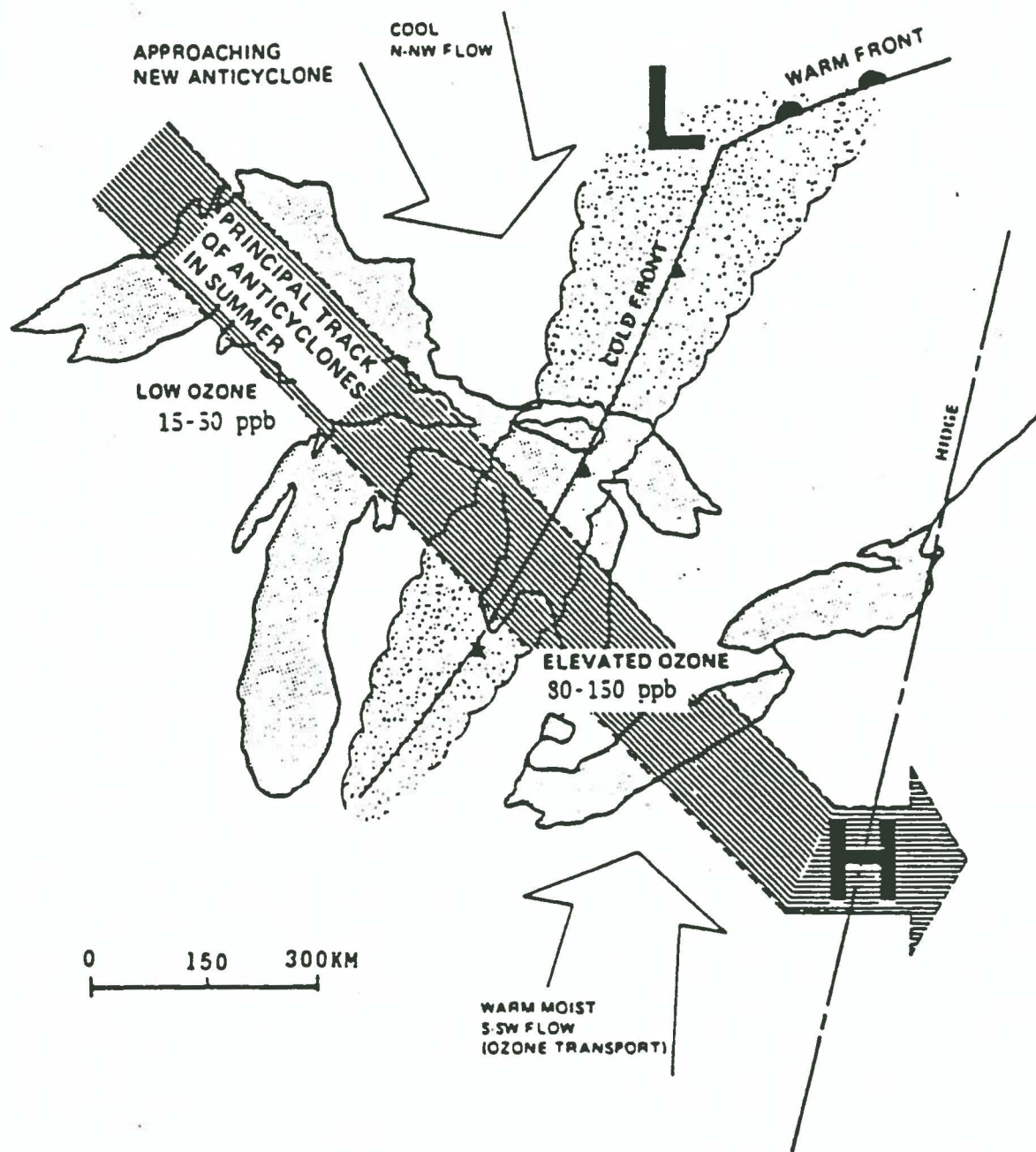


Figure 4  
 48-H Back Trajectories of Air Parcels on "Episode-Days"  
 in Southern Ontario



Figure 5  
 Surface Weather Map for July 6, 1988, 1500 EDT

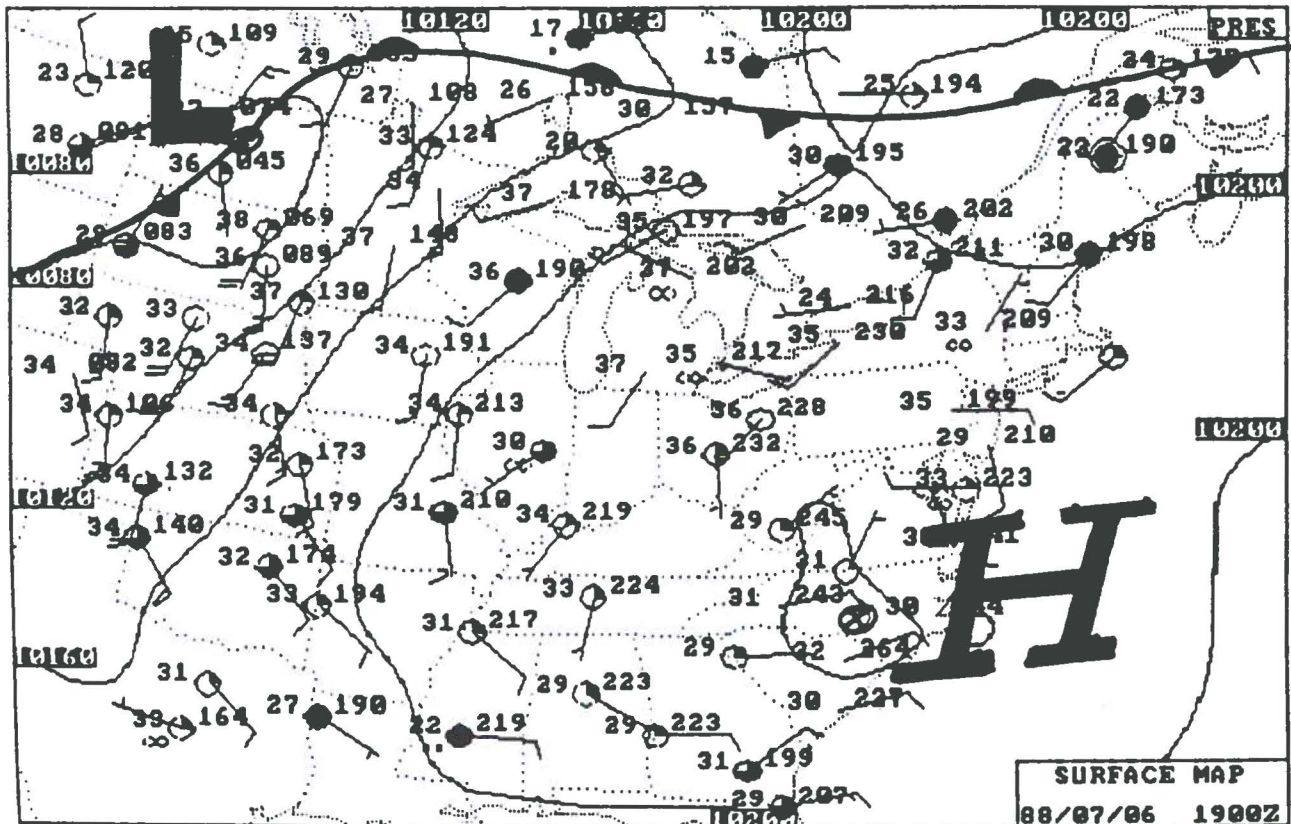
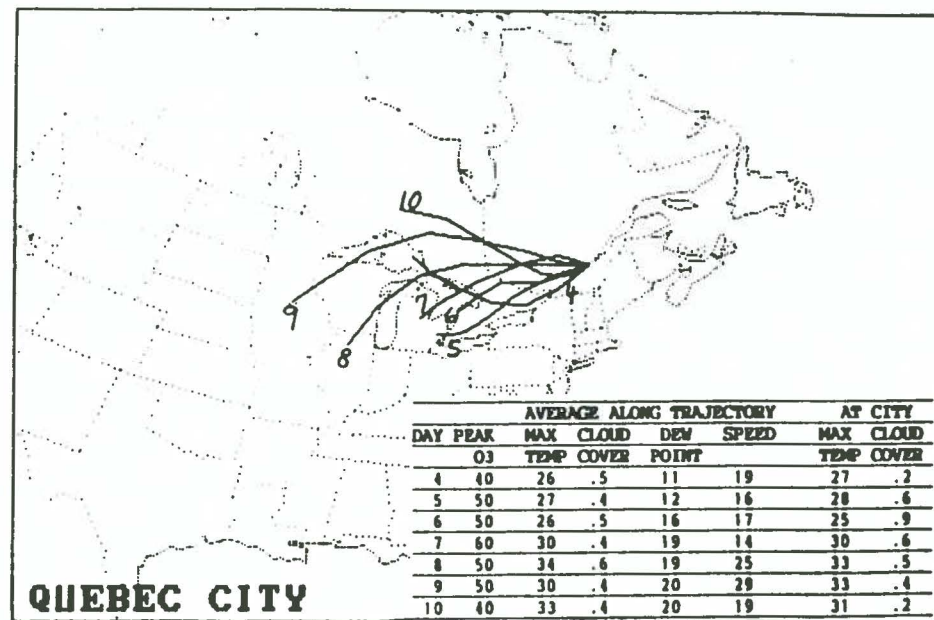
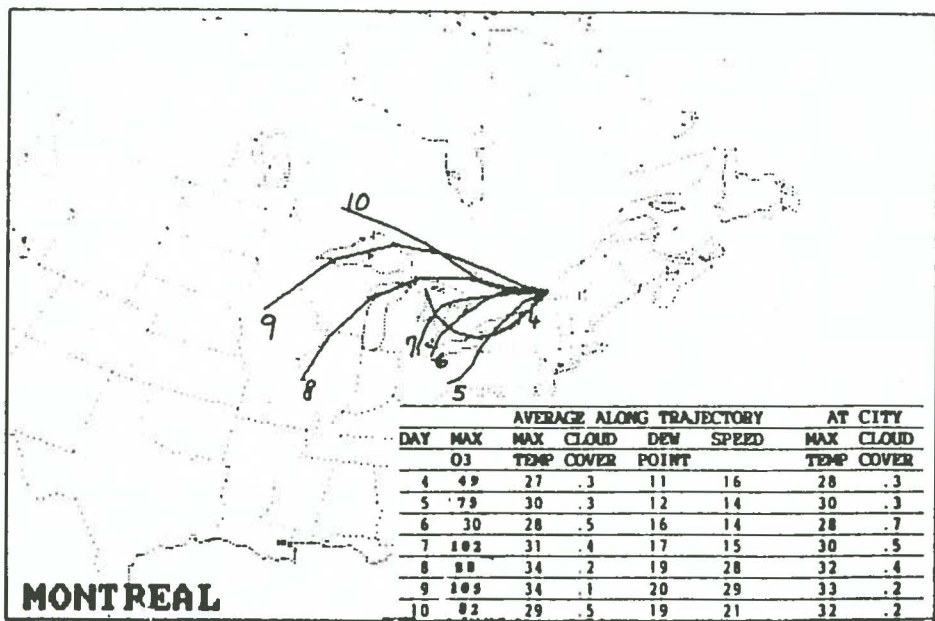
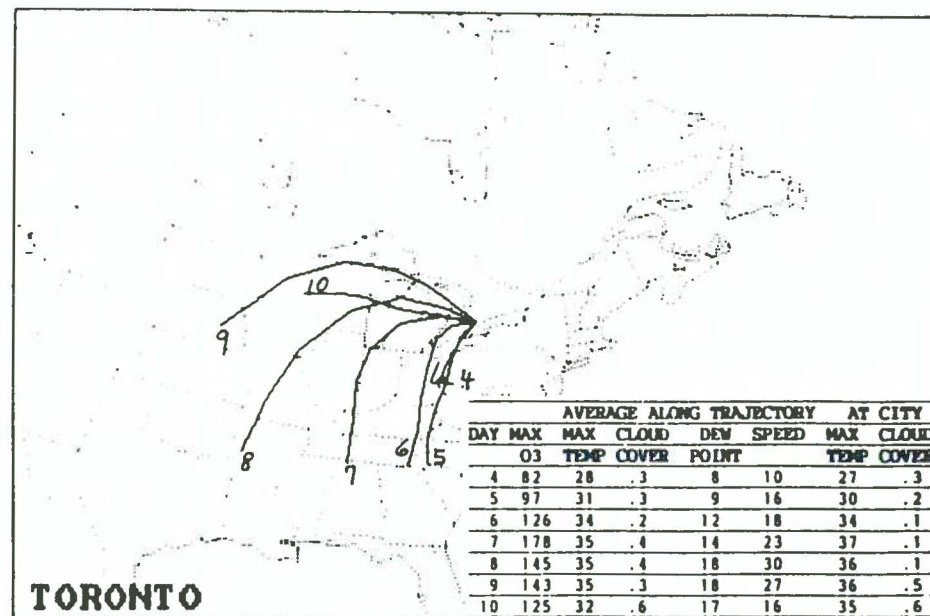
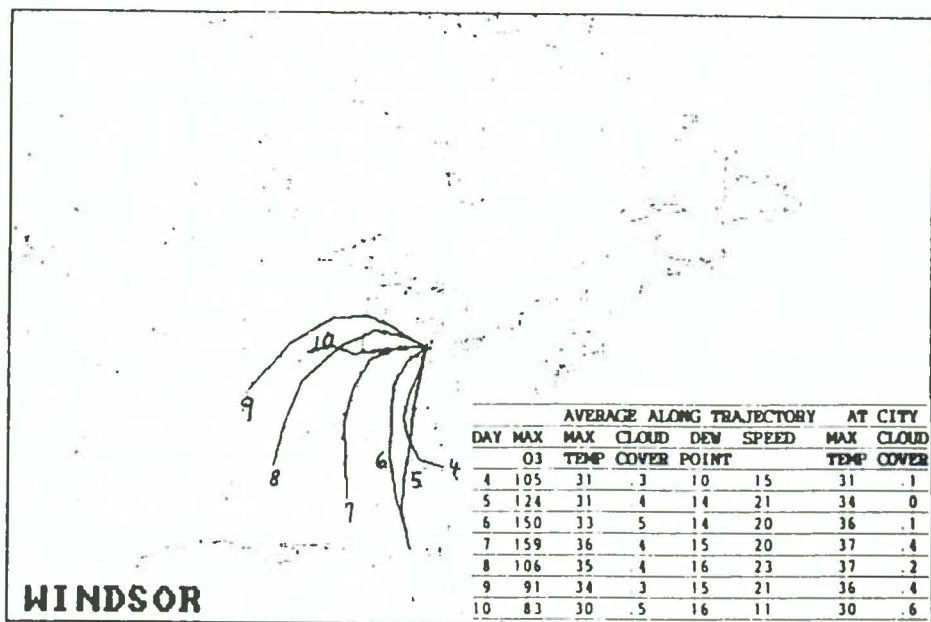


Figure 6  
 3-Day Back Trajectories for Windsor, Toronto, Montreal and Quebec City  
 During the July 4-10, 1988 Ozone Episode



**Chapitre 2**  
**LES EFFETS DE LA POLLUTION**  
**PAR L'OZONE**

# Pollution de l'air par l'ozone, et la santé

## Résumé

Bien que la qualité de l'air se soit améliorée de façon notable au cours des dernières années au Québec pour les polluants traditionnels, la pollution par l'ozone, qui est due en grande partie au transport à longue distance, demeure une préoccupation importante en ce qui concerne la santé publique. En effet, au cours des dernières années, au Québec comme ailleurs au Canada, aux États-Unis et en Europe, on a noté une augmentation importante des cas d'asthme dans la population. Les études scientifiques récentes montrent que des effets de l'ozone sur la fonction respiratoire peuvent apparaître à des concentrations rapprochées de la norme actuelle. Bien que la norme canadienne soit parmi les plus sécuritaires et que les dépassements soient peu fréquents, une surveillance étroite de ce type de pollution est importante. De plus, un effort de recherche important devrait être consenti au Québec pour mieux connaître l'importance du problème de l'asthme dans la population et la participation des différents facteurs environnementaux à cette maladie.

## Abstract

*Even though air quality has improved notably during the past years in Québec for conventional pollutants, ozone pollution, largely due to long-range transport, still remains an important public health issue. In fact during the last years, an important increase in asthma cases has been observed in Québec as well as in Canada, in the United States and in Europe. Recent scientific studies have shown that ozone effects on respiratory function could appear at concentrations near the actual standard. A close monitoring of this type of pollution is important even though the Canadian standard is one of the most secure and that frequency of exceedances is low. Moreover, an important research effort should be undertaken in Québec in order to better evaluate the scope of the asthma problem in the population and the role of environmental factors in this disease.*

## 1. Introduction

Au cours des dernières décennies, des progrès importants ont été réalisés en ce qui a trait à la pollution atmosphérique en milieu urbain suite à la mise en place de programmes de surveillance et de contrôle de la qualité de l'air ambiant. Les progrès technologiques dans le domaine des procédés industriels et des équipements de dépollution ont aussi contribué à ces améliorations. Ainsi, on a observé une réduction des concentrations de polluants conventionnels tels que les particules en suspension, le dioxyde de soufre et le plomb.

Toutefois, de nouveaux problèmes sont apparus dont ceux reliés aux précipitations acides et à l'ozone. Selon l'EPA, de 1985 à 1987, la norme horaire d'ozone (120 ppb) a été dépassée dans 68 régions des États-Unis. Ces régions regroupaient au total 113 millions d'habitants. Au Canada, les dépassements de la norme horaire de 82 ppb sont fréquents, notamment dans la région comprise entre Windsor et Québec et dans la région de Vancouver. De nombreuses études ont démontré l'impact néfaste des précipitations acides sur les écosystèmes aquatiques et terrestres, mais leur impact sur la santé humaine est mal connu. Par contre, dans le cas de l'ozone, des données toxicologiques récentes indiquent que ses effets sur la santé sont plus sévères que ce que l'on croyait jusqu'à maintenant. La pollution atmosphérique par l'ozone est un problème environnemental prioritaire mais difficilement contrôlable. Aux États-Unis, la réduction de l'exposition de la population à l'ozone fait partie des objectifs de santé prioritaires pour la prochaine décennie (US-DHHS, 1990). Dans le présent article, nous allons revoir brièvement les connaissances actuelles concernant les effets connus de ce polluant de l'air sur la santé de même que les implications pour la santé publique.

## 2. Effets sur la santé

Plusieurs études ont été réalisées concernant les effets de l'ozone sur la santé: des études expérimentales *in vitro*, *in vivo* et chez l'humain, et des études épidémiologiques (Lippmann, 1989; McKee, 1989; Tilton, 1989). Les études expérimentales ont été faites en laboratoire et visaient d'abord à mesurer la nature et l'ampleur des changements transitoires de la fonction respiratoire suite à une exposition à l'ozone. Les études épidémiologiques sont récentes et visaient principalement à évaluer les effets de l'ozone chez des individus exposés à des concentrations habituelles lors d'activités extérieures courantes: enfants dans des colonies de vacances et adultes faisant du sport.

### 2.1 Effets aigus

L'ozone est un oxydant puissant. Il réagit rapidement avec divers composés organiques tels les acides gras, les

acides aminés et les protéines que l'on retrouve normalement dans les tissus (Tableau 1). L'arbre respiratoire est le site privilégié de telles réactions. Celles-ci provoquent deux types d'effets : des effets mécaniques sur la fonction respiratoire et des effets structuraux.

Une exposition aiguë à l'ozone, même moins de cinq minutes, peut provoquer une diminution des volumes expiratoires chez des sujets normaux. L'ampleur de cet effet dépend de la susceptibilité individuelle et des trois paramètres suivants : la concentration d'ozone, le volume d'air respiré et la durée d'exposition. Les individus qui font de l'activité physique à l'extérieur sont donc plus à risque. C'est le cas des adultes et des enfants qui font de l'exercice et du sport. La diminution de la fonction respiratoire est proportionnelle à l'intensité de l'exercice physique et apparaît à des concentrations voisines des normes (horaires) actuelles de 120 ppb (USA) et de 80 ppb (Canada). En ce qui concerne la diminution des volumes expiratoires, les asthmatiques ne seraient pas plus sensibles à l'ozone que les adultes en bonne santé. On a démontré aussi une augmentation de la réactivité bronchique à l'histamine et à la métacholine à une exposition de 120 ppb pendant 6 heures. Il y a aussi une diminution objective de la performance physique chez les athlètes à des concentrations supérieures à 120 ppb. Récemment, une étude expérimentale a montré qu'une exposition à une concentration de 120 ppb d'ozone pendant une heure, augmentait la réactivité bronchique aux allergènes chez les sujets asthmatiques porteurs d'atopie (Molfino et al., 1991). Chez certains adultes, des symptômes respiratoires peuvent apparaître à 120 ppb : toux, dyspnée et douleur thoracique. Ces symptômes sont absents chez les enfants. Les principaux effets aigus de l'ozone aux niveaux biologique et physiologique sont donnés au tableau 2. En ce qui concerne les symptômes cliniques, ils apparaissent à des concentrations supérieures à 100 ppb (Tableau 3).

Au niveau structural, l'exposition à l'ozone provoque une réaction inflammatoire locale qui touche les bronches, les bronchioles et les alvéoles pulmonaires. Cette réaction s'accompagne d'une diminution du nombre de cils vibratiles, d'une diminution de la clearance mucociliaire et d'une diminution de l'activité des macrophages. Ces effets sur l'arbre respiratoire expliqueraient la plus grande susceptibilité à l'infection que l'on croit reliée à l'exposition à l'ozone.

## 2.2 Effets subaigus et chroniques

Lorsque l'exposition à l'ozone dure plusieurs jours, l'arbre respiratoire s'adapte. Après une exacerbation des symptômes et des anomalies de la fonction respiratoire le deuxième jour, il y a une diminution graduelle des effets jusqu'au cinquième jour où la réponse de l'organisme revient à la normale. Par ailleurs, une exposition répétitive à des concentrations élevées d'ozone provoque un dommage définitif à l'épithélium bronchique. Selon certaines études réalisées chez le singe, une exposition intermittente serait plus nocive qu'une exposition continue. En laboratoire, on a aussi démontré l'existence d'une adaptation saisonnière de l'homme à l'exposition à l'ozone. Quant à l'exposition chronique, elle provoque un vieillissement

prématuré du poumon caractérisé par une diminution relative de la fonction respiratoire et une fibrose irréversible des tissus pulmonaires. Les effets chroniques sont identifiés au tableau 4.

## 3. Normes actuelles

La teneur d'ozone maximale dans l'air actuellement en vigueur au Canada est de 82 ppb. La norme réglementaire au Québec est de 80 ppb, alors que la norme américaine est de 120 ppb (Tableau 5). La norme canadienne correspond à peu près au seuil à partir duquel on a commencé à observer certains effets au niveau de la fonction respiratoire après quelques heures d'exposition lors d'un exercice modéré. La norme horaire actuelle correspond d'ailleurs aux recommandations de l'OMS (1987). Toutefois, l'OMS recommande une norme sur 8 heures de 50 ou 60 ppb pour protéger la population des effets plus sévères reliés à une exposition répétée à des concentrations modérées d'ozone. La pertinence d'une telle norme est aussi discutée aux États-Unis (McKee et al., 1989).

## 4. Le problème de l'asthme

Depuis une quinzaine d'années, on a observé une augmentation notable de la mortalité et de la morbidité à cause de l'asthme en Europe et en Amérique du Nord. Cette augmentation, qui est paradoxale puisque le traitement actuel est de plus en plus efficace, laisse la communauté scientifique perplexe. Plusieurs hypothèses ont été avancées dont des facteurs de pollution intérieure et d'air ambiant. Ceci demeure néanmoins un sujet de controverse.

En ce qui concerne l'exposition à l'ozone, les asthmatiques ne seraient pas davantage à risque que les adultes en bonne santé et faisant de l'exercice, du moins en ce qui concerne la diminution de la fonction respiratoire mesurée par le VEMS, par exemple. Toutefois, certaines études ont mis en évidence une augmentation des crises d'asthme lors d'épisodes de smog. De plus, une étude très récente tend à démontrer que les asthmatiques atopiques seraient plus sensibles aux allergènes dans l'air après avoir été exposés à de faibles concentrations d'ozone. On sait par ailleurs qu'une proportion importante des crises d'asthme est reliée à des facteurs comme les pollens, notamment au printemps et à l'automne. Il est aussi possible que la pollution par l'ozone exerce un effet indirect sur la fréquence des crises d'asthme par l'intermédiaire d'une susceptibilité plus grande aux infections. L'hypothèse d'un lien entre la pollution par l'ozone et l'augmentation observée de la fréquence de l'asthme dans les pays industrialisés est plausible et mérite donc une attention particulière dans le domaine de la recherche.

## 5. Conclusion

Dans une perspective de santé publique, un certain nombre de conclusions doivent être tirées de l'analyse de la situation et des connaissances en rapport avec le problème de l'ozone. Tout d'abord, il y a lieu de renforcer la surveillance environnementale de ce polluant pour identifier

de façon précise et rapide les épisodes de dépassement de norme surtout durant l'été. L'information sur les concentrations doit être rapidement disponible. De plus, certaines populations à risque doivent être mieux identifiées et rejointes par les organismes de santé publique. En plus des personnes déjà atteintes de maladies respiratoires chroniques ou d'asthme, une attention particulière doit être portée aux personnes en bonne santé et particulièrement actives à l'extérieur comme les sportifs que ce soit des adultes ou des enfants (Tableau 6). La surveillance devrait aussi s'étendre aux territoires habités moins urbanisés, parce que c'est souvent en périphérie des grandes villes que l'on est susceptible de rencontrer les plus fortes concentrations d'ozone. De plus, un effort particulier de recherche devrait être fait au Québec pour mieux connaître la prévalence de l'asthme dans la population et évaluer les associations possibles avec la pollution de l'air.

## 7. Références

- Lippmann, M., 1989 : *Health effects of ozone — A critical review*. JAPCA, 39, 5, 672.
- McKee, D., McLellan, R.O., Utell, M.J., Vostal, J.J. et Lippmann, M., 1989 : *Health Effects of ozone*. Critical Review Discussion Papers. JAWMA, 39, 9, 1185.
- Molfino, N.A. et al, 1991 : *Effect of low concentrations of ozone on inhaled allergen response in asthmatic subjects*. Lancet, 338, 199-203, 1991.
- OMS, 1987 : *Air Quality Guidelines for Europe*. European Series, No 23, 1987.
- Stanton, B.E., 1989 : *Health effects of tropospheric ozone*. Environmental Science and Technology, 23, 3, 257.
- US-DHHS, 1990 : *Healthy peoples 2000*. National Health Promotion and Disease Prevention Objectives, Washington.

Pierre Lajoie  
médecin spécialiste en santé communautaire  
Centre hospitalier de l'Université Laval  
Service santé et environnement

Texte présenté au Colloque sur les précipitations acides et sur la pollution par l'ozone (smog), Montréal, 4-5 novembre 1991.

Tableau 1

**Effets biologiques de l'ozone**

- 
1. **AGRESSEUR PULMONAIRE DIFFUS:**  
Solubilité modérée  
Bronchioles terminales et alvéoles
  2. **OXYDANT PUISSANT:**  
Enzymes, protéines, peptides  
Acides gras non saturés
  3. **DESTRUCTEUR DE LA MEMBRANE CELLULAIRE:**  
Protéines et phospholipides  
Cellule ciliée
- 

Tableau 2

**Effets aigus de l'ozone****CHEZ L'ANIMAL :**

Cellules ciliées (altération)	400-1600 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ; 8 heures; 7 jours	Diminution de la défense immunitaire contre bactéries	160 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ; quelques heures
Inflammation	1000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ; 4 heures; 400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ; > 4 heures		
Dyspnée	440-1000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ; 2 heures		
augmentation de la résistance bronchique augmentation de la réactivité bronchique diminution de la fonction pulmonaire			

**CHEZ L'HOMME :**

Adultes:		(VEMS)	160 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ; 6 heures
Activité normale		augmentation de la réactivité bronchique	
augmentation de la réactivité bronchique	240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ; 6-7 heures		
Exercice		Enfants :	
diminution de la fonction pulmonaire (VEMS)	235 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ; 1-3 heures	Diminution de la fonction pulmonaire (VEMS)	200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ;
symptômes thoraciques	235 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ; 1-3 heures		
diminution de la performance physique	>235 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Asthmatiques :	
diminution de la fonction pulmonaire		Potentialisation de la réponse aux allergènes	240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ; 1 heure

---

Tableau 3  
Symptômes cliniques

Irritation des yeux	0,1 ppm (200 µg/m <sup>3</sup> )
Symptômes chez certains sportifs lors d'exercices intenses à l'extérieur	> 0,1 ppm; 6 heures
Symptômes thoraciques chez certains individus sensibles	> 0,12 ppm (240 µg/m <sup>3</sup> )
Performance physique diminuée chez les athlètes à l'exercice	> 0,12 ppm
Réponse augmentée aux allergènes chez les asthmatiques atopiques	> 0,12 ppm

Tableau 4  
Effets chroniques de l'ozone

---

Adaptation saisonnière

Inflammation chronique

Vieillessement prématuré du poumon

Fonctionnel

Structural

---

Tableau 5  
Normes pour l'ozone

TENEURS MAXIMALES ACCEPTABLES

(Comité consultatif fédéral provincial)

1 heure	0,08 ppm (160 µg/m <sup>3</sup> )
8 heures*	0,05-0,06 ppm (100-120 µg/m <sup>3</sup> )
24 heures	0,025 ppm (50 µg/m <sup>3</sup> )
1 an	0,015 ppm (30 µg/m <sup>3</sup> )

\* Recommandée par OMS — Europe

Tableau 6  
Groupes à risque

- 
- 1) Adultes et enfants actifs à l'extérieur : effet proportionnel au degré d'exercice
  - 2) Asthmatiques
  - 3) Personnes atteintes de maladies pulmonaires obstructives chroniques
-

# Un aperçu des risques de l'ozone pour la végétation au Québec

## Résumé

Après une courte revue des effets de l'ozone sur la végétation, on présente les résultats de diverses études effectuées au Québec dans le but d'évaluer les dommages causés par l'ozone en milieu agricole au Québec. Nos résultats indiquent que les concentrations ont été assez élevées pour causer des dommages aux végétaux, et un inventaire des dommages a aussi été effectué pour différents types de culture. Il est évident, à la sévérité des dommages observés, que l'ozone diminue de façon appréciable les rendements de certaines cultures au Québec.

## Abstract

*After a short review of ozone effects on vegetation, results of studies done to evaluate ozone damages in rural areas of Québec are presented. Results show that ozone levels were high enough to damage vegetation; an inventory of damages on culture type was also done. In the light of the damages done, it is obvious that agricultural yield of certain type of cultures is appreciably affected by ozone in Québec.*

## 1. Introduction

L'ozone troposphérique est un polluant important. Ce gaz qui se retrouve dans les toutes premières couches de l'atmosphère endommage la végétation et divers matériaux lorsqu'il est présent en trop grande quantité.

Les premiers dommages sur la végétation dus à la pollution atmosphérique ont été rapportés dans la région de Los Angeles en 1944. Mais c'est seulement vers la fin des années 50 que l'ozone a été identifié comme l'agent phytotoxique principal du smog. Ses effets ont d'abord été démontrés sur les raisins en Californie. L'année suivante, des dégâts sur les feuilles de tabac étaient rapportés dans l'est des États-Unis.

Depuis ce temps, il a été démontré à de nombreuses reprises que l'ozone causait des dommages aux grandes cultures, aux plantes horticoles, aux arbres, etc. L'ozone est le polluant qui cause le plus de dommages à la végétation. Aux États-Unis, on attribue à l'ozone 95 % de tous les dommages causés aux récoltes par les polluants atmosphériques. Le National Crop Loss Assessment (NCLAN) a réalisé de nombreuses études en milieu agricole aux États-Unis. C'est à partir de ces études et des modèles empiriques que les estimations des pertes économiques ont été effectuées. Ces pertes s'élèveraient annuellement aux États-Unis à deux milliards de dollars.

## 2. Les effets de l'ozone sur la végétation

La toxicité de l'ozone vient de son fort pouvoir oxydant et de sa capacité à former des radicaux libres. Ce gaz pénètre dans les plantes par les stomates durant les échanges gazeux avec l'environnement immédiat. Les plantes exposées à ce gaz subissent généralement une baisse de photosynthèse, leur croissance ralentit et leur résistance aux stress diminue.

L'ozone perturbe divers processus métaboliques des plantes. Il causerait l'oxydation des constituants de plasmalemme altérant ainsi la perméabilité des parois cellulaires. Il s'ensuit un débalancement de la pression osmotique qui entraîne une dislocation des constituants cellulaires et la destruction de la cellule elle-même. Lorsque l'ozone détruit un certain nombre de cellules dans un endroit particulier de la plante, des symptômes visibles apparaissent. Ces lésions sont visibles entre 24 et 48 heures après l'exposition des plantes à l'ozone.

Les lésions ou dommages dus à l'ozone se classent en quatre types : les lésions pigmentaires, le blanchiment de la surface supérieure ou de chacune des surfaces de la feuille, les nécroses bifaciales et les chloroses. Habituellement, seulement un type de dommage est présent, mais deux ou trois types de lésions peuvent être présents sur la même feuille ou sur des plantes différentes dans le même endroit.

Les lésions pigmentaires sont les symptômes les plus communs. Elles se présentent sous forme de petits points bien définis. Elles résultent des dommages de l'ozone sur quelques cellules palissadiques. Elles peuvent être brun noir, pourpres ou rouges. Elles se retrouvent habituellement entre les plus petites veines sur la surface supérieure de la feuille. Le blanchiment des surfaces des feuilles se présente sous forme de taches nécrotiques sans pigment. Les cellules palissadiques et les cellules de l'épiderme supérieur (si les dommages sont plus sévères) s'affaissent et se décolorent. Ces taches nécrotiques sont gris pâle, blanches ou « tan ».

Les nécroses bifaciales se retrouvent lorsque le tissu entre les deux faces de la feuille est détruit. Ces taches nécrotiques peuvent être blanches jusqu'à rouge orangé selon les espèces. La surface des feuilles de certaines espèces prend une apparence luisante, huileuse ou cireuse durant les expositions à l'ozone. Les parties endommagées de façon permanente deviennent ternes. Lorsque les dommages dus à l'ozone sont importants, des chloroses ou la destruction des chloroplastes se produisent. Les feuilles deviennent jaunâtres et montrent une sénescence prématurée.

Les feuilles qui ont atteint entre 65 % et 95 % de leur développement sont les plus sensibles à l'ozone. Les jeunes feuilles sont résistantes et les feuilles matures sont généralement tolérantes, mais, chez certaines espèces, elles peuvent être sensibles. Dans certains cas, les feuilles matures tolérantes peuvent être endommagées par l'ozone si elles y ont été exposées antérieurement. Les symptômes apparaissent habituellement sur le bout des feuilles les plus sensibles et progressent vers la base de la feuille. Les feuilles ombragées ou les parties de feuilles ombragées souvent ne montrent pas de symptômes de dommages dus à l'ozone.

La sensibilité des plants à l'ozone varie d'une espèce à l'autre et entre les cultivars d'une même espèce. Certaines espèces sont très sensibles, alors que d'autres sont très résistantes. Cette réaction différentielle des espèces n'est pas complètement expliquée. Elle serait attribuable en partie à la densité des stomates et à d'autres caractères anatomiques. Le tableau 1 présente quelques espèces reconnues sensibles, intermédiaires et tolérantes à l'ozone. Cette classification des espèces a été établie à partir des diverses observations et mesures. Le tableau 2 donne les concentrations d'ozone et les durées requises pour causer des dommages à la végétation.

Les dommages aux plantes par l'ozone sont fonction en grande partie des concentrations de ce polluant et de la durée d'exposition des végétaux. Certains facteurs édaphiques et environnementaux influencent aussi la réaction des plantes. Comme l'ozone entre par les stomates, toutes les conditions qui favorisent leur ouverture modifient l'absorption de ce polluant. En résumé, les plantes sont plus sensibles sous les conditions suivantes : température élevée (27°C à 32°C), humidité relative élevée (80 % à 90 %), intensité lumineuse faible (1000 à 2000 pi.-ch.), photopériode courte, humidité du sol élevée (100 % de la capacité au champ), vent faible et statut nutritif élevé.

Il n'existe pas beaucoup de corrélation entre le degré de dommages foliaires et le ralentissement de la croissance ou la diminution de rendement des cultures sauf si la partie récoltée est le feuillage (Exemples : la laitue, le tabac et certaines plantes ornementales). Ces cultures sont déclassées et leur valeur marchande est fortement diminuée lorsque le feuillage est endommagé. Pour les autres cultures, il est nécessaire de faire des mesures précises pour déterminer les pertes de rendement. À partir de ces mesures, des modèles mathématiques peuvent être utilisés pour prévoir les pertes de rendement. Cependant, il faut toujours être conscient de la variabilité des conditions environnementales et des limitations des modèles utilisés.

### 3. Effets de l'ozone sur les cultures au Québec

En 1985 et 1986, diverses études ont été réalisées pour mesurer les concentrations d'ozone et évaluer ses effets en milieu agricole au Québec. Des appareils ont été utilisés pour mesurer les concentrations d'ozone. Des plantes indicatrices ont été plantées à divers sites. Des observations et un inventaire ont été effectués sur quelques cultures.

Les concentrations d'ozone ont été mesurées à trois endroits en 1985 (Sainte-Clothilde de Châteauguay, Saint-Hyacinthe et L'Assomption) et à quatre endroits en 1986 (Saint-Étienne de Beauharnois, Saint-François de l'île d'Orléans, Saint-Hyacinthe et L'Assomption). Les concentrations moyennes mensuelles d'ozone en partie par cent millions (ppcm) pour la période entre 8 h et 20 h sont présentées au tableau 3. C'est cette période qui est la plus importante pour la végétation.

Le tableau 3 est montré seulement à titre indicatif, puisque l'objectif du présent texte n'est pas de discuter des concentrations d'ozone. Les concentrations d'ozone ont varié et atteint des niveaux phytotoxiques à plusieurs occasions. Quelques épisodes d'ozone ont aussi été enregistrés.

Les concentrations d'ozone ont été assez importantes pour causer des dommages aux végétaux. Le tableau 4 montre les dommages observés sur les plantes indicatrices, le tabac Bel-W3, très sensible à l'ozone, et le tabac Delhi 76, tolérant. Des observations semblables ont été faites en 1985.

Les dommages sur le tabac Bel-W3 sont apparus très tôt en saison et de nouveaux dommages se sont ajoutés tout au long de l'été.

Un inventaire des dommages causés par l'ozone a été réalisé en 1986 sur les cultures suivantes : tabac, maïs, oignon, fève, soya, haricot et pomme de terre dans les régions agricoles 06 (Saint-Hyacinthe), 07 (Châteauguay) et 10 (L'Assomption). Sauf pour le maïs, les superficies couvertes représentent environ 10 % de la superficie totale de chaque culture dans la région. Les cultures de tabac ont été visitées à quelques reprises. Pour les autres cultures, l'inventaire a été réalisé aux mois d'août et de septembre. Chaque site ou champ visité

était parcouru en zigzag ou en W. Plusieurs observations étaient prises au cours du parcours et regroupées dans un indice final selon une échelle de 0 (pas de dommage) à 3 (dommages sévères sur l'ensemble des plantes) avec des intervalles de 0,5.

Aucun symptôme de dommage dû à l'ozone n'a été observé dans les champs de maïs sucré et d'oignon visités. Beaucoup de dommages furent observés dans les autres cultures. De façon générale, les dommages étaient moyens sur les pommes de terre, moyens à sévères sur le tabac à cigarettes et les haricots. Ils furent très sévères sur les fèves soya. Les dommages n'étaient pas toujours uniformes dans les champs visités. Il n'y avait pas de différence importante entre les différents cultivars des espèces observées. Les résultats détaillés peuvent être fournis par l'auteur.

Il n'y a pas eu par la suite d'autres inventaires semblables en milieu agricole. Cependant, chaque année, le laboratoire de diagnostic en protection des cultures du ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec reçoit des échantillons de plantes (haricot, soya, pomme de terre, tabac et oignon) qui montrent des symptômes de dommages par l'ozone.

#### **4. Conclusion**

Les concentrations d'ozone mesurées en milieu agricole au Québec atteignent assez souvent des niveaux phytotoxiques. Bien que des dommages soient observés sur les cultures, il n'est pas possible de quantifier les pertes occasionnées. Mais il est évident, si l'on se base sur la sévérité des dommages observés, que l'ozone diminue de façon appréciable les rendements de certaines cultures au Québec. C'est un voleur silencieux qui est presque toujours présent.

Bruno Maltais  
biologiste-agronome  
Service de phytotechnie de Québec  
Ministère de l'Agriculture du Québec

---

Texte présenté au Colloque sur les précipitations acides et sur la pollution par l'ozone (smog), Montréal, 4-5 novembre 1991.

Tableau 1  
Réaction des plantes à l'ozone

ESPÈCES SENSIBLES	ESPÈCES INTERMÉDIAIRES	ESPÈCES TOLÉRANTES
Luzerne	Chou	Betterave
Ble	Carotte	Laitue
Orge	Mais	Fraisier
Haricot	Concombre	Bouleau
Trèfle	Pois	Érable
Oignon	Aulne	
Pomme de terre	Pometier	
Radis	Bégonia	
Tabac	Chêne	
Frêne		
Peuplier		
Lilas		

Tableau 2  
Concentration d'ozone requise pour causer des dommages

DURÉE HEURE	ESPÈCES SENSIBLES	ESPÈCES INTERMÉDIAIRES	ESPÈCES TOLÉRANTES
0,5	0,15-0,30 PPM*	0,25-0,60 PPM	0,50 PPM
1,0	0,10-0,25 "	0,20-0,40 "	0,35 "
2,0	0,07-0,25 "	0,15-0,30 "	0,25 "
4,0	0,05-0,15 "	0,10-0,25 "	0,20 "
8,0	0,03-0,10 "	0,08-0,20 "	0,15 "

Tableau 3

Moyenne des concentrations horales, mensuelles et saisonnières d'ozone (PPCM) pour 24 heures

STATIONS								
MOIS	ST-HYACINTHE		L'ASSOMPTION		ST-ÉTIENNE		STE-CLOTHILDE	ST-FRANÇOIS
	1985	1986	1985	1986	1984	1986	1985	1986
Ozone (ppcm)								
Juin	3,96	2,7	2,96	-	3,8	2,5	1,25	2,1
Juillet	3,58	2,8	2,60	1,5	4,2	2,7	1,92	2,4
Août	2,92	2,9	1,99	0,8	3,8	2,6	2,62	2,1
Septembre	2,66	1,9	2,28	-	3,0	1,6	3,16	1,0
MOYENNE	3,25	2,57	2,45	-	3,7	2,35	2,24	1,9

Tableau 4

Densité des dommages de l'ozone sur les tabacs BEL-W3 DELHI 76 (été 1986)

SITE	INDICE	
	BEL-W3	DELHI 76
L'Assomption	3	1
Saint-Alexis-de-Montcalm	3	1
Berthierville	2,5	1
Louiseville	3	1
Saint-Zéphirin	3	1
Sainte-Hyacinthe	3	1
L'Acadie	3	1
Saint-Étienne	3	1
Saint-Augustin-de-Desmaures	2	

0 = pas de dommages    3 = dommages sévères

# L'ozone, un ennemi silencieux : ses effets sur l'allocation des ressources et la résistance au froid et aux insectes de l'érable à sucre

## Résumé

La présente étude a été effectuée à l'aide des chambres de culture à ciel ouvert, au site expérimental de Tingwick (MAPAQ, région des Bois-Francs). Elle avait pour but d'évaluer l'effet de l'ozone sur l'allocation des ressources de jeunes érables à sucre ainsi que sur leur résistance au froid et aux insectes. Nos résultats appuient l'hypothèse que l'ozone altère la productivité des érables et ils sont en accord avec d'autres travaux ayant démontré, suite à des expositions à l'ozone, une susceptibilité accrue des végétaux envers les stress biotiques et abiotiques. Ces résultats soulignent de plus la sensibilité de paramètres tels la croissance et le taux de photosynthèse envers des doses chroniques d'ozone.

## Abstract

*This study was done with the open-top chambers located at the Tingwick experimental site (MAPAQ, Bois-Francs region). The objective was to evaluate the impact of ozone exposure on resources allocation of young maple trees and their resistance to cold and insects. Our results support the hypothesis that ozone affects maple productivity and corroborate other works showing increased sensitivity of vegetation to biotic and abiotic stresses following ozone exposure. They also show sensitivity of parameters such as growth and photosynthesis rate to chronic ozone doses.*

## 1. Introduction

Depuis une dizaine d'années, et suite au récent épisode de dépérissement des érablières, l'impact des polluants atmosphériques sur les milieux naturel et agricole est une question qui retient l'attention tant de la communauté scientifique que de nos dirigeants politiques. En agriculture, l'ozone est considéré comme le principal polluant atmosphérique. Il affecte la majorité des terres cultivées aux États-Unis et à l'est du Canada (McLaughlin, 1985; Maltais, 1991). Au Québec, durant l'été, la concentration moyenne d'ozone troposphérique se situe entre 30 et 50 ppb. Sur une base annuelle, la concentration s'établit autour de 15 ppb pour la région de Montréal et de 20 ppb pour la région de Québec (Leduc et Gagnon, 1991). Selon Heagle (1989), ces concentrations sont de deux à trois fois supérieures à celles considérées comme naturelles.

La toxicité de l'ozone est attribuable à son fort pouvoir oxydant et à sa capacité de former des radicaux libres (Heath, 1980). Les plantes exposées à ce gaz subissent généralement une baisse de photosynthèse, ont un taux de croissance réduit et une résistance altérée envers les insectes et les maladies, même à des concentrations ne permettant pas d'observer de symptômes visuels de dommages (Heck et al., 1988; Miller, 1987; Lechowicz, 1987). L'ozone a aussi des répercussions au niveau racinaire sur les associations mycorrhiziennes (Andersen et Rygielwicz, 1991).

Aux États-Unis, il a été établi, pour le secteur agricole, que l'ozone produisait des baisses de rendement de 5 % à 15 % et des pertes économiques de plusieurs milliards de dollars annuellement (Heck et al., 1988; Heagle, 1989; Adams et al., 1988). Les arbres fruitiers et les essences forestières sont aussi affectés par ce polluant (Long et Davis, 1991; Retzlaff et al., 1991; Reich, 1987; Woodman, 1987; Pye, 1988). Malgré qu'il soit difficile d'avancer des chiffres dans ce domaine, tout laisse croire que l'effet cumulatif du stress, année après année, devrait avoir des effets plus importants sur les plantes pérennes.

Considérant l'importance économique probable de l'ozone au Québec, cette étude a été mise sur pied. Elle avait pour but d'évaluer l'impact de l'ozone sur l'allocation des ressources de jeunes érables à sucre ainsi que sur leur résistance au froid et aux insectes.

## 2. Matériel et méthodes

### 2.1 Croissance et allocation des ressources

Les effets de l'ozone sur la croissance, la photosynthèse, les réserves amylacées ainsi que le contenu en minéraux de jeunes semis (3-5 ans) d'érable à

sucre ont été évalués en 1988, 1989 et 1990. Les érables ont été placés dans trois milieux : 1) à l'intérieur de neuf chambres de culture à ciel ouvert; 2) dans un champ; et 3) sous le couvert forestier. Dans les chambres, l'ozone était produit par un générateur à arc électrique permettant de distribuer à l'intérieur de celles-ci des multiples de la teneur ambiante d'ozone (i.e. 0x, 1x et 3x). Durant la seconde semaine de septembre pour chacune des années, tous les plants ont été récoltés et divisés en tiges, feuilles et racines avant d'être lyophilisés. L'analyse des concentrations en amidon et en minéraux a été effectuée selon Renaud et Mauffette (1991) et Renaud (1989). En 1988, un semis par chambre a aussi été marqué à la mi-juin avec du  $^{14}\text{CO}_2$  (1 mCi/mM  $\text{CO}_2$ ), puis récolté à la fin août. L'analyse de la répartition du carbone a été effectuée selon Dickson (1979). Lors de l'extraction, les substances de réserves (i.e. protéines, amidon et hémicellulose) ont été extraites globalement à 30°C durant 24 heures, à l'aide de KOH (10 %).

## 2.2 Résistance au froid

En 1990, la résistance au froid des semis a été évaluée. Les analyses ont été effectuées sur les bourgeons terminaux des pousses annuelles des plants. Deux plants par chambre et six dans la plantation ont été récoltés. Les bourgeons ont été plongés dans un bain réfrigérant où la température a été abaissée graduellement de 0°C à -40°C. Les exothermes et les températures léthales médianes (TL50, mesurées par pourcentage de relargage ionique) ont été mesurés selon Minero-Amador et al. (1990).

## 2.3 Résistance aux insectes

En 1991, des expérimentations portant sur l'hétérocampe de l'érable (*Heterocampa guttivitta*) ont débuté. L'hétérocampe est un des plus importants défoliateurs de l'érable à sucre (Martineau, 1985). Depuis 1907, des épidémies sont survenues dans le sud-est du Canada et le nord-est des États-Unis par intervalles variant de 8 à 12 ans. La dernière explosion démographique importante de l'hétérocampe est survenue en 1977 au Maine, alors que 405 000 ha ont été défoliés (Martinat et Allen, 1988). Les évaluations de la préférence alimentaire et de la « performance » de l'hétérocampe sur du feuillage d'érable ayant subi des fumigations à l'ozone, ont été réalisées en chambre de croissance (température 23°C; humidité relative 70 %; photopériode 16 h). Cent vingt hétérocampes ont été échantillonnés dans le sous-bois de la station expérimentale de Tingwick (région des Bois-Francs). Comme les insectes recueillis étaient au deuxième stade au moment de l'échantillonnage, ce n'est qu'au début de leur troisième stade larvaire qu'ils ont reçu du feuillage traité. Ils ont été disposés par groupes de trois larves à l'intérieur de boîtes de pétri de 15 cm de diamètre. À tous les deux jours, les insectes recevaient des feuilles fraîches en provenance des semis traités.

La performance des insectes a été mesurée à l'aide de deux indices : 1) le temps de développement larvaire; 2) le poids des chrysalides. Le premier indice représente le nombre de jours écoulés depuis le début du troisième

stade jusqu'à la fin du cinquième stade larvaire. Le second indice consiste à peser les chrysalides dès le premier jour de leur formation.

Afin de vérifier si les hétérocampes aux stades larvaires 4 et 5 peuvent discriminer entre des feuilles ayant été exposées à diverses concentrations d'ozone, des tests de préférence en arène ont été effectués. Ces tests sont une modification de celui décrit par Coleman et Jones (1988). Il consiste à présenter à une larve unique un choix de quatre disques poinçonnés provenant de feuilles représentant 2 traitements différents et d'évaluer la préférence alimentaire de l'insecte en comparant la surface foliaire ingérée pour chaque traitement. Les tests avaient une durée maximale de 24 heures, mais pouvaient être arrêtés si l'insecte avait consommé 50 % du feuillage disponible. Pour un même test, 10 répétitions (i.e. 10 larves disposées individuellement dans 10 pétris) ont été effectuées.

## 3. Résultats et discussion

### 3.1 Croissance et allocation des ressources

Les mécanismes par lesquels les plantes croissent, se développent et se reproduisent en présence de plusieurs stress abiotiques et biotiques sont fortement liés à l'acquisition et l'utilisation efficaces qu'elles font de leurs ressources. Ces ressources sont principalement le carbone, l'eau et les éléments minéraux (N, P, K, etc.). Le processus d'allocation représente donc un pivot essentiel pour la croissance d'une plante ainsi que pour le maintien d'un équilibre dynamique entre ses centres de production (sources) et d'utilisation (puits) (Geiger et Servaites, 1991).

Dans cette étude, une réduction proportionnellement plus importante de la croissance des racines comparativement aux tiges n'a pas été observée (fig. 1). Les réserves amylicées de l'ensemble du système racinaire n'ont montré globalement aucun effet associé à l'ozone (concentrations de 19 % à 23 % de matière sèche, données non présentées). Cependant, les réserves dans les racines fines (< = 1 mm de diamètre) diffèrent en fonction du traitement d'ozone (fig. 2) (Renaud et al., 1990). Ainsi, la concentration en amidon dans ces tissus était de 7 % pour les semis des chambres filtrées et de 5,4 % pour ceux de 3x (fig. 2). De plus, le pourcentage d'activité en C-14 obtenu dans la fraction des réserves insolubles des racines fines a suivi le même patron que les réserves amylicées (fig. 2). La concentration en azote total dans les racines fines des semis de 3x était aussi réduite de 8 % à 14 % comparativement aux traitements 0x (données non présentées).

En ce qui concerne l'effet de l'ozone sur le transport des sucres des sources vers les puits, Spence et al. (1990) ont noté chez *Pinus taeda* une réduction de 11 % de la vitesse du phloème à l'aide de marquages au carbone-11. Ils ont de plus observé une réduction de 45 % du carbone exporté vers les racines. Bien qu'un nombre limité d'études aient porté sur le sujet, il semble que l'une des premières réactions à l'échelle de la plante entière vis-à-vis l'ozone soit de réduire l'allocation du carbone vers les racines (Cooley et Manning, 1987).

Lechowicz, 1987; Miller, 1987; Mooney et Winner, 1988; Darrall, 1989). En ce qui concerne les plantes pérennes, les organes de stockage sont souvent les plus affectés par l'ozone (Cooley et Manning, 1987).

Pour ce qui est des échanges gazeux, nos résultats indiquent qu'à 3x, le taux de photosynthèse par unité de surface foliaire était réduit de 28 % après une saison d'exposition à l'ozone (fig. 3). Des résultats similaires ont aussi été obtenus en 1988 et 1989. La respiration, pour sa part, (mesurée en juillet, entre 2 h et 4 h) tend à être de 20 % supérieure pour les semis exposés aux concentrations élevées d'ozone (fig. 4). Ceci pourrait être attribuable aux mécanismes de réparation induits par les perturbations physiologiques liées à l'ozone. À 3x, la surface foliaire totale par semis était aussi plus faible de 11 % (fig. 5), et le nombre de feuilles par plant était réduit de 48 % comparativement à 1x. Ces résultats pris globalement démontrent l'effet négatif qu'a l'ozone sur la capacité des semis à fixer le CO<sub>2</sub>.

L'ozone a réduit le taux de croissance relatif des érables de 25 % après une saison d'exposition et de 48 % après trois saisons, pour les plants ayant reçu des doses de 3x (i.e. dose moyenne = ca. 90 ppb) comparativement à 0x (fig. 6). Ces résultats sont en accord avec les données présentées sur les échanges gazeux. De plus, la figure 6 montre que, dans les chambres, la croissance était généralement meilleure que dans le champ, et que, sous le couvert forestier, la croissance était la plus faible à cause principalement du peu de lumière que reçoit ce milieu. Les plants exposés aux doses élevées d'ozone contenaient moins d'amidon dans leur feuillage (fig. 7). L'amidon dans les feuilles suit un patron parallèle à la photosynthèse. Les feuilles ayant reçu une dose de 3x contenaient, sur une base de matière sèche, 7,7 % d'amidon comparativement à 15,7 % et 14,6 % pour 0x et 1x respectivement. Pour ce qui est des teneurs en minéraux foliaires, seule la concentration en K a montré des variations significatives en fonction des traitements (fig. 8). Cette réponse n'est cependant pas consistante pour les différentes années de l'étude. Par contre, les pools de minéraux (concentrations x biomasse) ont subi des baisses régulières et consistantes suite aux différentes expositions à l'ozone.

Globalement, ces résultats appuient l'hypothèse que l'ozone altère la productivité des érables. Cependant, il est difficile d'extrapoler à des peuplements ou à des écosystèmes, les réponses obtenues sur de jeunes arbres. Ces derniers diffèrent des arbres matures à de multiples égards et des modèles permettant d'extrapoler les réponses obtenues devront être développés.

### **3.2 Résistance au froid**

Dans le cadre du dépérissement des érablières, l'importance d'étudier la résistance au froid des bourgeons d'érable a été soulignée (Minéro-Amador et al., 1990). Ces organes sont sensibles à divers stimuli et pourraient faire partie des critères d'évaluation de la vigueur d'un arbre.

Dans cette étude, les résultats obtenus tendent à démontrer que l'ozone réduit la résistance des bourgeons

d'érable au froid. Cependant, cette réduction ne suit pas une distribution linéaire selon les doses appliquées (Tableau 1). Cette non-linéarité de la réponse à l'ozone a aussi été observée pour la photosynthèse des érables (Boulais et al., 1990; Renaud et al., 1991).

Lors du débourrement printanier, période critique pour les dommages dus au gel, les érables ayant reçu de l'ozone avaient une résistance au froid de 5°C inférieure à celle des arbres qui avaient reçu un air filtré. Cette différence (Tableau 1) est aussi notable lors de la période de croissance des plantes (en juillet). Une tendance à un durcissement plus important lors de la période de dormance profonde (en février) pour les érables ayant reçu un air filtré est aussi notée (Tableau 1).

Pour les conifères, plusieurs études ont démontré que les polluants pouvaient accroître la susceptibilité des plantes au froid (Senser, 1990; Chappelka et al., 1990; Edwards et al., 1990). Cette interaction entre les polluants de l'air et la résistance au froid pourrait avoir contribué au dépérissement des forêts en Europe et en Amérique (Brown et al., 1987; Fincher et al., 1989). Lucas et al. (1988) ont démontré que la perte de résistance causée par l'ozone pouvait même précéder la réduction de la croissance chez *Picea sitchensis*. De plus, les tissus soumis à l'ozone démontraient une résistance au froid moindre, même 72 jours après la fin des traitements avec ce polluant. Il se pourrait donc que certaines pertes agricoles attribuées uniquement au froid soient potentiellement liées aux effets de l'ozone sur les plantes.

Les doses chroniques d'ozone que nous retrouvons actuellement au Québec affectent possiblement la susceptibilité des érables au froid (Minéro-Amador et al., 1991). Cependant, ce type d'étude mérite d'être poursuivi avant de pouvoir tirer des conclusions plus définitives et générales en la matière.

### **3.3 Résistance aux insectes**

Le temps de développement des insectes n'a pas été affecté par le traitement de leur diète à l'ozone (fig. 9). Puisque ce paramètre ne diffère pas pour les 3 traitements, tous les insectes ont un même temps d'exposition aux prédateurs naturels et aux mauvaises conditions climatiques (Mauffette et al., 1991). Cependant, le poids des chrysalides pour les insectes ayant consommé du feuillage exposé à l'ozone était significativement supérieur (fig. 10). L'indice du poids des chrysalides révèle que les individus ayant consommé du feuillage exposé à l'ozone sont plus féconds. En effet, il semble exister une forte corrélation entre le poids des chrysalides et le potentiel reproducteur des lépidoptères (Miller, 1957; Klomp, 1966; Wickman et Karlsson, 1989). Le compte exact du nombre d'œufs pondus et viables sera effectué à l'été 1992 et permettra de confirmer cette hypothèse. Pour les tests de préférence, aucun traitement n'a révélé d'effet significatif, ce qui indique que l'ozone n'a pas d'impact sur le comportement alimentaire de cet insecte.

### **3.4 Effets sur l'écosystème**

À l'échelle de l'écosystème, l'ozone a été associé à une perte de la diversité génétique et de la richesse en

espèces (Scholz et al., 1989; Berrang et al., 1986; Heagle, 1989). Au Wisconsin, les teneurs ambiantes d'ozone réduisent de 75 % la croissance de certains clones de *Populus* (R.E. Dickson, comm. pers.).

Il a été proposé que l'ozone puisse altérer le cycle des éléments minéraux (i.e. cycle biogéochimique) à l'échelle de l'écosystème, en raison de son effet potentiel d'érosion des cuticules (Prinz et al., 1984). Cette altération pourrait entraîner des symptômes de carences associés aux dépérissements des forêts (Prinz et al., 1984). Cependant l'ozone n'altère pas directement les cuticules. Tout au plus, il pourrait altérer la composition des cires lors de leur formation (Garrec et Kerfourn, 1989). Cette hypothèse est appuyée par les travaux de Percy et al. (1990) sur l'épinette rouge (*Picea rubens*) qui mettent en évidence des modifications ultrastructurales des cires suite à des applications d'ozone et de brouillards acides, à des concentrations situées près des teneurs ambiantes. Findlay et Jones (1990) ont démontré que l'ozone réduisait le taux de décomposition des feuilles. Cet effet est aussi susceptible d'altérer le cycle biogéochimique.

#### 4. Conclusion

Bien qu'il soit difficile d'extrapoler à des peuplements ou à des écosystèmes les réponses obtenues sur de jeunes arbres, nos résultats appuient l'hypothèse que l'ozone altère la productivité des érables. Ils sont aussi en accord avec d'autres travaux ayant démontré, suite à des expositions à l'ozone, une susceptibilité accrue des végétaux envers certains stress biotiques et abiotiques. Ces résultats soulignent, de plus, la sensibilité de paramètres tels la croissance et le taux de photosynthèse envers des doses chroniques d'ozone.

Sur la base de nos résultats et suite aux travaux menés dans le cadre du NCLAN (Heck et al., 1988), il semble que la question ne soit plus de savoir si oui ou non l'ozone affecte nos cultures et notre milieu naturel, mais plutôt de connaître à l'intérieur de quelles limites les rendements et la résistance envers d'autres stress sont affectés suivant le régime régional de pollution.

Il est encore difficile d'établir avec une grande précision les pertes économiques liées à l'ozone, bien qu'elles soient estimées aux États-Unis à plusieurs milliards de dollars par année pour le secteur agricole seulement (Adams et al., 1988). Une des raisons pour cet état de fait vient de nos connaissances en ce domaine qui sont encore très fragmentaires et inversement proportionnelles à la complexité des systèmes étudiés. L'emploi d'approches micrométéorologiques (e.g. Van Pul et al., 1990) et le développement de modèles mécanistiques de l'effet de l'ozone sur les plantes permettront sans doute de pouvoir mieux prédire les effets de ce polluant.

À l'échelle de l'écosystème, très peu de choses sont connues. Dans cette étude, l'hétérocampe a répondu aux modifications provoquées sur l'érable à sucre en modifiant son indice de fécondité. Il est alors possible que l'augmentation des teneurs ambiantes d'ozone provoque une hausse des populations de cet insecte. Cependant, pour mieux comprendre l'impact de l'ozone sur les écosystèmes

forestiers, il faut maintenir une recherche intégrée visant à décrire l'ensemble des composantes biologiques, de façon à quantifier leurs interactions. Seule une approche intégrée à long terme pourra répondre à ces conditions.

Face à l'importance du problème et considérant le taux d'augmentation de l'ozone qui est estimé en Amérique du Nord entre 1 et 2 % par année (Krupa et Kickert, 1989), il serait donc souhaitable de voir plus d'efforts investis dans ce domaine de recherche.

#### 5. Références

- Adams, R.M., Glycer, J.D. et McCarl, B.A., 1988. Dans : W.W. Heck, O.C. Taylor et D.T. Tingey (eds). (op. cit.). pp. 473-504.
- Andersen, C.P. et Rygielwicz, P.T., 1991 : *Stress interactions and mycorrhizal plant response: Understanding carbon allocation priorities*. Environmental Pollution 73, 217-244.
- Berrang, P., Karnosky, D.F., Mickler, R.A. et Bennett, J.P., 1986 : *Natural selection for ozone tolerance in Populus tremuloides*. Canadian Journal of Forest Research 16, 1214-1216.
- Boulais, C., Mauffette, Y. et Renaud, J.P., 1990 : *The effects of ozone on Acer saccharum seedlings grown in open top chambers*. IUFRO XIX world congress, Montréal, p. 550.
- Brown, K.A., Roberts, T.M. et Black, L.W., 1987 : *Interaction between ozone and cold sensitivity in Norway spruce: a factor contributing to the forest decline in Central Europe ?* New Phytologist, 105, 149-155.
- Chappelka, A.H., Kush, J.S., Meldahl, R.S. et Lockaby, B.G., 1990 : *An ozone-low temperature interaction in loblolly pine*. New Phytologist, 114, 721-726.
- Coleman, J.S. et Jones, C.J., 1988 : *Plant stress and insect performance: cottonwood, ozone and oviposition of a leaf beetle*. Oecologia, 76, 57-61.
- Cooley, D.R. et Manning, W.J., 1987 : *The impact of ozone on assimilate partitioning in plants: a review*. Environmental Pollution, 47, 95-113.
- Darrall, N.M., 1989 : *The effect of air pollutants on physiological process in plants*. Plant, Cell and Environment, 12, 1-30.
- Dickson, R.E., 1979 : *Analytical procedures for the sequential extraction of <sup>14</sup>C-labeled constituents from leaves, bark and wood of cottonwood plants*. Physiologia Plantarum, 45, 480-488.
- Edwards, G.S., Pier, P.A. et Kelly, J.M., 1990 : *Influence of ozone and soil magnesium status on the cold hardiness of loblolly pine seedlings*. New Phytologist, 115, 157-164.
- Fincher, J., Cumming, J.R., Alschér, R.G., Rubin, G. et Weinstein, L., 1989 : *Long-term ozone exposure affects winter hardiness of red spruce seedlings*. New Phytologist 113, 85-96.

- Findlay, S., Jones, C.G., 1990 : *Exposure of cottonwood plants to ozone alters subsequent leaf decomposition*. *Oecologia*, 82, 248-250.
- Garrec, J.P. et Kerfourn, C., 1989 : *Effets des pluies acides et de l'ozone sur la perméabilité à l'eau et aux ions de cuticules isolées*. Implications dans le phénomène de dépérissement des forêts. *Environmental and Experimental Botany*, 29, 215-228.
- Geiger, D.R. et Servaites, J.C., 1991 : Dans : H.A. Mooney, W.E. Winner, E.J. Pell (eds). *Response of plants to multiple stresses*. Academic Press, pp 103-127.
- Heagle, A.S., 1989 : *Ozone and crop yield*. *Annual Review of Plant Pathology*, 27, 397-423.
- Heath, R.L., 1980 : *Initial events in injury to plants by air pollutants*. *Annual Review of Plant Physiology*, 31, 395-431.
- Heck, W.W., Taylor, O.C. et Tingey, D.T., 1988 : *Assessment of crop loss from air pollutants*. Elsevier Applied Science, London et New-York.
- Kickert, R.N. et Krupa, S.V., 1990 : *Frost responses to tropospheric ozone and global climate change: an analysis*. *Environmental Pollution*, 68, 29-65.
- Klomp, H. 1966. *The dynamics of a field population of the pine looper Bupalus piniarius L. (Lep. : Geom.)*. *Advances in Ecological Research*, 3, 207-305.
- Krupa, S.V. et Kickert, R.N., 1989 : *The greenhouse effect: Impacts of ultraviolet-B (UV-B) radiation, carbon dioxide (CO<sub>2</sub>), and ozone (O<sub>3</sub>) on vegetation*. *Environmental Pollution*, 61, 263-393.
- Lechowicz, M.J., 1987 : *Resource allocation by plants under air pollution stress: Implications for plant-pest interactions*. *Botanical Review*, 53, 150-185.
- Lucas, P.W., Cottam, D.A., Sheppard, L.S. et Francis, B.J., 1988 : *Growth responses and delayed winter hardening in Stika spruce following summer exposure to ozone*. *New Phytologist*, 108, 495-504.
- Leduc, R. et Gagnon C., 1991. *La pollution par l'ozone au Québec*. Dans : Colloque sur les précipitations acides et sur la pollution par l'ozone. Env. Canada, Env. Québec, Ass. Prévent. contamination air sol, Régional plein sud. Montréal, 167-216.
- Long, R.P. et Davis, D.D., 1991 : *Black cherry growth response to ambient ozone and EDU*. *Environmental Pollution*, 70, 241-254.
- Maltais, B., 1991 : *Les dommages causés par l'ozone à la végétation et aux cultures: la situation au Québec*. Dans : Colloque sur les précipitations acides et sur la pollution par l'ozone. Env. Canada, Env. Québec, Ass. Prévent. contamination air sol, Régional plein sud. Montréal, 261-272.
- Martinat, P.J. et Allen, D.C., 1988 : *Behavior of the saddled prominent Heterocampa guttivitta (Walker) (Lepidoptera: NOTODONTIDAE) larvae in the northern hardwood forest*. *J.N.Y. Entomol. Soc.*, 96, 4, 470-478.
- Martineau, R., 1985 : *Insectes nuisibles des forêts de l'est du Canada*. Ministère des Approvisionnements et Services Canada. Éditions Marcel Broquet inc., Ottawa, 283 p.
- Mauffette, Y., Constantin, M. et Fortin, M., 1991 : *Les effets de l'ozone sur deux lépidoptères s'attaquant à l'érable à sucre*. Dans : Colloque sur les précipitations acides et sur la pollution par l'ozone. Env. Canada, Env. Québec, Ass. Prévent. contamination air sol, Régional plein sud. Montréal, 427-428.
- McLaughlin, S.B., 1985 : *Effects of air pollution on forests. A critical review*. *Journal of Air Pollution Control Association*, 35, 512-534.
- Miller, C.A., 1957 : *A technique for estimating the fecundity of natural populations of the spruce budworm*. *Can. J. Zool.*, 35, 1-13.
- Miller, J.E., 1987 : Dans : J.A. Saunders, L. Kosak-Channing, E.E. Conn (eds) : *Recent advances in phytochemistry*, vol. 21, Phytochemical effects of environmental compounds. Plenum Press, 55-100.
- Minero-Amador, A., Stewart, K.A. et Renaud, J.P., 1990 : *Résistance hivernale de l'érable à sucre en fonction de différentes doses de potassium appliquées selon deux modes de fertilisation*. Dans : C. Camiré, W. Hendershot, D.Lachance (éd.) : *Le dépérissement des érablières, causes et solutions possibles*. C.R.B.F., Fac. for. géom., Université Laval, Québec, 229-233.
- Minero-Amador, A., Stewart, K.A. et Renaud, J.P., 1991 : *Étude préliminaire de l'effet de doses chroniques d'ozone sur la résistance au froid de jeunes érables à sucre*. Dans : Colloque sur les précipitations acides et sur la pollution par l'ozone. Env. Canada, Env. Québec, Ass. Prévent. contamination air sol, Régional plein sud. Montréal, 425.
- Mooney, H.A. et Winner, W.E., 1988 : Dans : S. Schultehostede, H.M. Darrall, L.W. Blank, A.R. Wellburn (eds) : *Air pollution and plant metabolism*. Elsevier Applied Science, 272- 287.
- Percy, K.E., Krause, C.R. et Jensen, K.F., 1990 : *Effects of ozone and acidic fog on red spruce needle epicuticular wax ultrastructure*. *Canadian Journal of Forest Research*, 20, 117-120.
- Prinz, B., Krause, G.H.M. et Jung, K.D., 1984 : *Dusseldorfer Geobot. Kolloq.*, 1, 25-36.
- Pye, J.M., 1988 : *Impact of ozone on the growth and yield on trees : a review*. *J. Environmental Quality*, 17, 347-360.
- Reich, P.B., 1987 : *Quantifying plant response to ozone : a unifying theory*. *Tree Physiology*, 3, 6-91.
- Renaud, J.-P., 1989 : *Relation entre quelques ressources de l'érable à sucre et son degré de dépérissement*. Dans : Centre de Recherche acéricole (éd.) : *Cahier des conférences de l'atelier sur le dépérissement dans les érablières*. MAPAQ, ISBN 2-551-12172-8, 40-44.

- Renaud, J.-P. et Mauffette, Y., 1991 : *The relationships of crown dieback with carbohydrate content and growth of sugar maple (Acer saccharum)*. Canadian Journal of Forest Research, 21, 1111-1118.
- Renaud, J.-P., Mauffette, Y. et Allard, G., 1991 : *Influence de doses chroniques d'ozone sur différentes ressources de l'érable à sucre*. Dans : Colloque sur les précipitations acides et sur la pollution par l'ozone. Env. Canada, Env. Québec, Ass. Prévent. contamination air sol, Régional plein sud. Montréal, 423-424.
- Renaud, J.-P., Allard, G.-B., Boudreault, G., Debievre, C. et Mauffette, Y., 1990 : *Effets de l'ozone sur l'allocation du carbone de jeunes semis d'érables à sucre*. Dans : C. Camiré, W. Hendershot et D. Lachance (éd.). *Le dépérissement des érablières, causes et solutions possibles*. C.R.B.F., Fac. for. géom., Université Laval, Québec. p. 81.
- Retzlaff, W.A., Williams, E. et DeJong, T.M., 1991 : *The effect of different atmospheric ozone partial pressures on photosynthesis and growth of nine fruit and nut tree species*. Tree Physiology, 8, 93-105.
- Scholz, F., Gregorius, H.R. et Rudin, D., (eds), 1989 : *Genetic effects of air pollutants in forest tree populations*. Springer-Verlag.
- Senser, M., 1990 : *Influence of soil substrate and ozone plus acid mist on the frost resistance of young Norway spruce*. Environmental Pollution, 64, 265-278.
- Spence, R.D., Rykiel Jr., E.J. et Sharpe, P.J.H., 1990 : *Ozone alters carbon allocation in Loblolly pine: assessment with carbon-11 labeling*. Environmental Pollution, 64, 93-106.
- Van Pul, W.A.J., Hakvoort, H. et Jacobs, A.F.G., 1990 : *Meteorological techniques used in determination of the flux of ozone towards a maize crop*. Kema Scientific and Technical Reports, 8, 401-412.
- Wickman, P.O. et Karlsson, B., 1989 : *Abdomen Size, Body Size and the Reproductive Effort of Insects*. Oikos, 56,2, 209-214.
- Woodman, J.N., 1987 : *Pollution-induced injury in North American forests: facts and suspicions*. Tree Physiology, 3, 1-15.

## Remerciements

Nous tenons à remercier MM. Cartier et Massicotte ainsi que tous les gens qui ont participé et qui continuent d'offrir leur excellent support aux travaux du Centre de recherche acéricole (MAPAQ). Nous tenons à remercier plus particulièrement MM. G.-B. Allard et G. Boudreault pour l'élaboration, la supervision et le maintien du bon fonctionnement des systèmes de contrôle informatisés des chambres de culture à ciel ouvert. La grande disponibilité du p<sup>r</sup> P.-A. Dubé (Université Laval) et son intérêt pour l'aspect bioclimatologique des chambres sont aussi grandement appréciés.

Nous soulignons le support offert par la Direction de la recherche et du développement du MAPAQ. Sans son soutien, les travaux permettant d'évaluer l'impact de l'ozone

sur l'érable n'auraient pu débiter.

Finalement, la collaboration et l'excellence du service offert par les gens de la Direction des réseaux atmosphériques (Ministère de l'Environnement du Québec) pour la calibration et la réparation de nos moniteurs d'ozone ont aussi été grandement appréciées.

J.-P. Renaud 1, Y. Mauffette 2,  
G. Allard 3, C. Boulais 2, M. Constantin 2  
M. Fortin 2, A. Minero-Amador 4

1. Centre de recherche acéricole  
Service des technologies alimentaires  
Ministère de l'Agriculture du Québec

2. Département des sciences biologiques  
Groupe de recherche en écologie forestière  
Université du Québec à Montréal,

3. Département de phytologie  
Université Laval

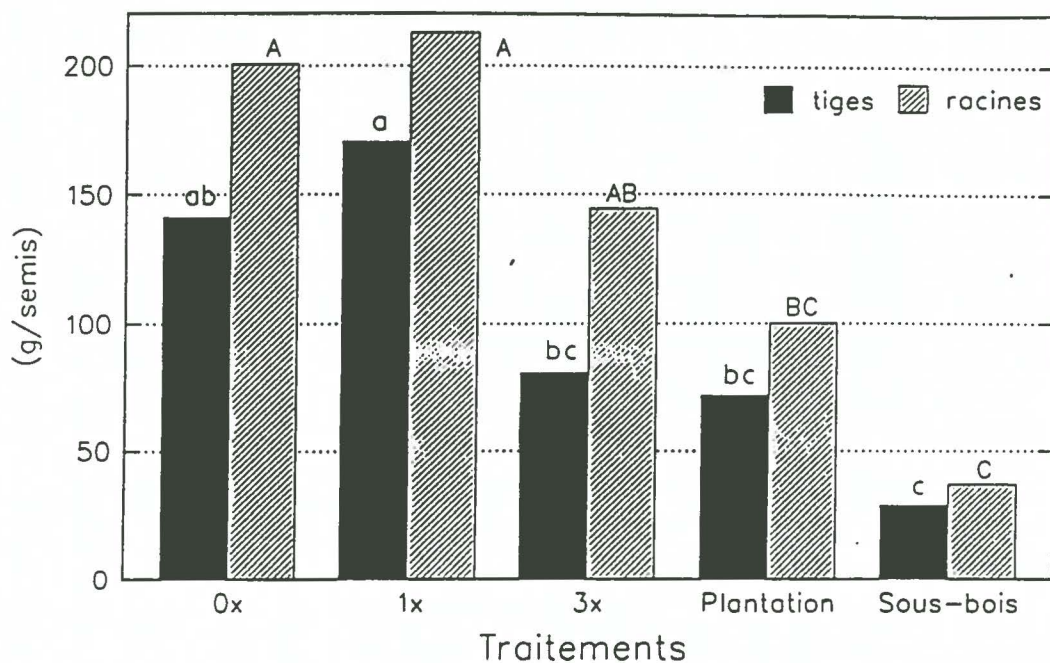
4. Department of plant science  
McGill University

Tableau 1

**Effets de l'ozone sur les températures léthales médianes (TL50) des bourgeons de jeunes plants d'érables à sucre.**

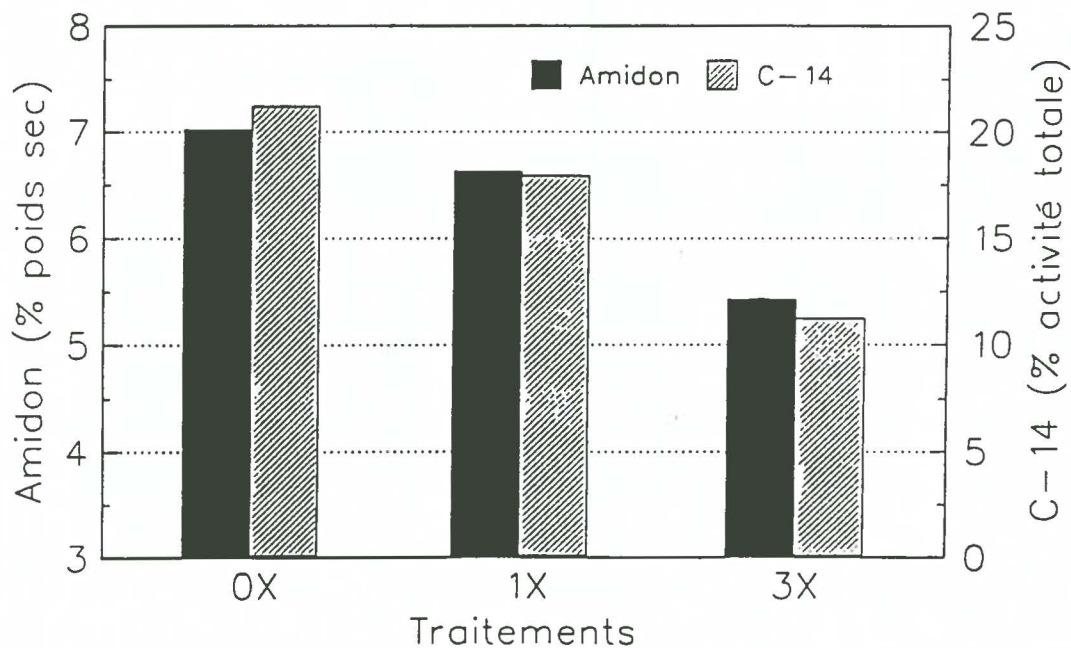
Période d'échantillonnage	Traitements	TL50 (°C)
Juillet	0x	-5
	1x	-1
	3x	-1
Décembre	0x	-30
	1x	-20
	3x	-25
Février	0x	-40
	1x	-20
	3x	-30
Avril	0x	-5
	1x	0
	3x	0

### Poids sec des tiges et des racines (après 3 saisons)

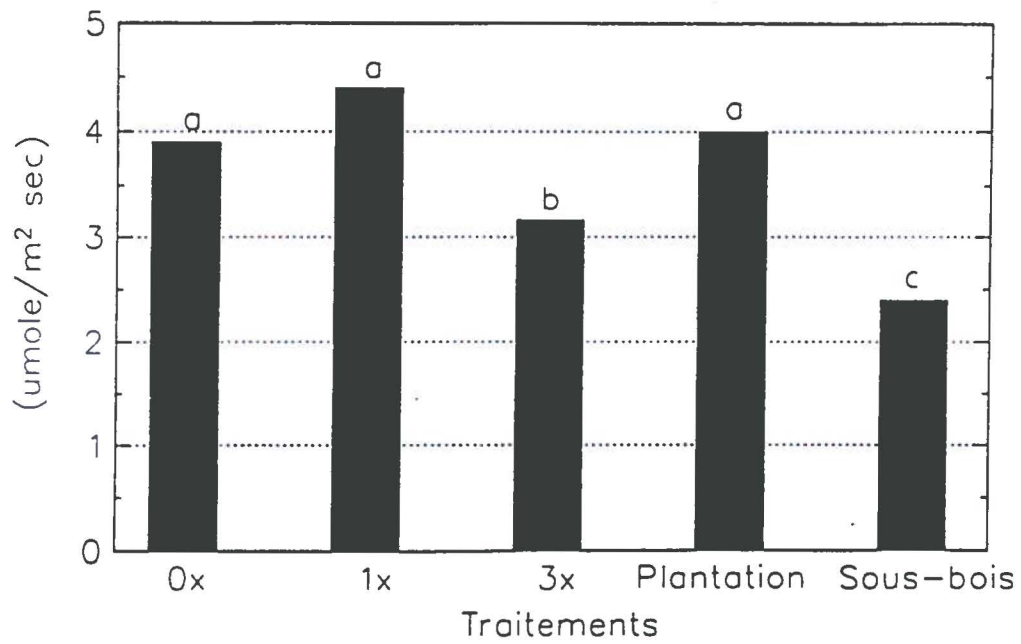


\* Les moyennes ayant une même lettre ne sont pas différentes à un  $\alpha = .05$

### Amidon et activité en C-14 des réserves insolubles dans les racines fines

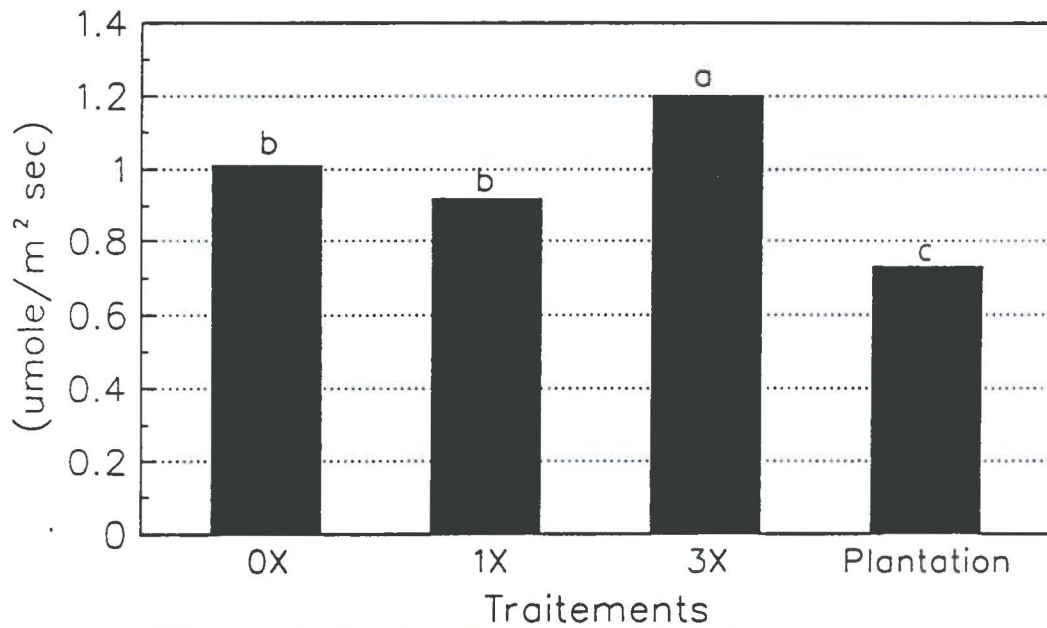


### Photosynthèse nette (après 1 saison)



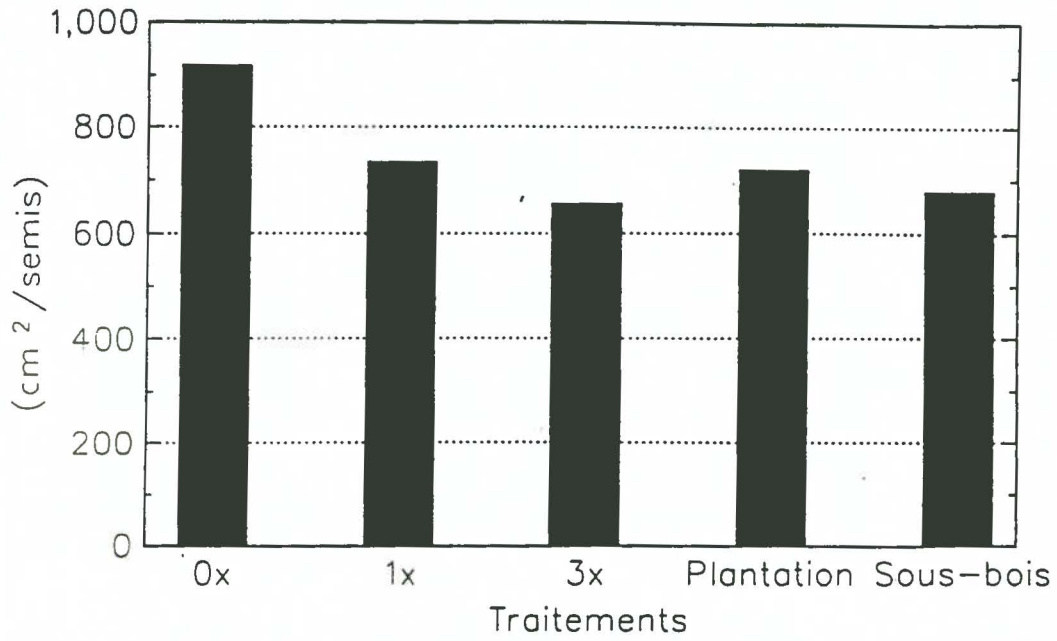
\* Les moyennes ayant une même lettre ne sont pas différentes à un  $\alpha=0.05$

### Respiration

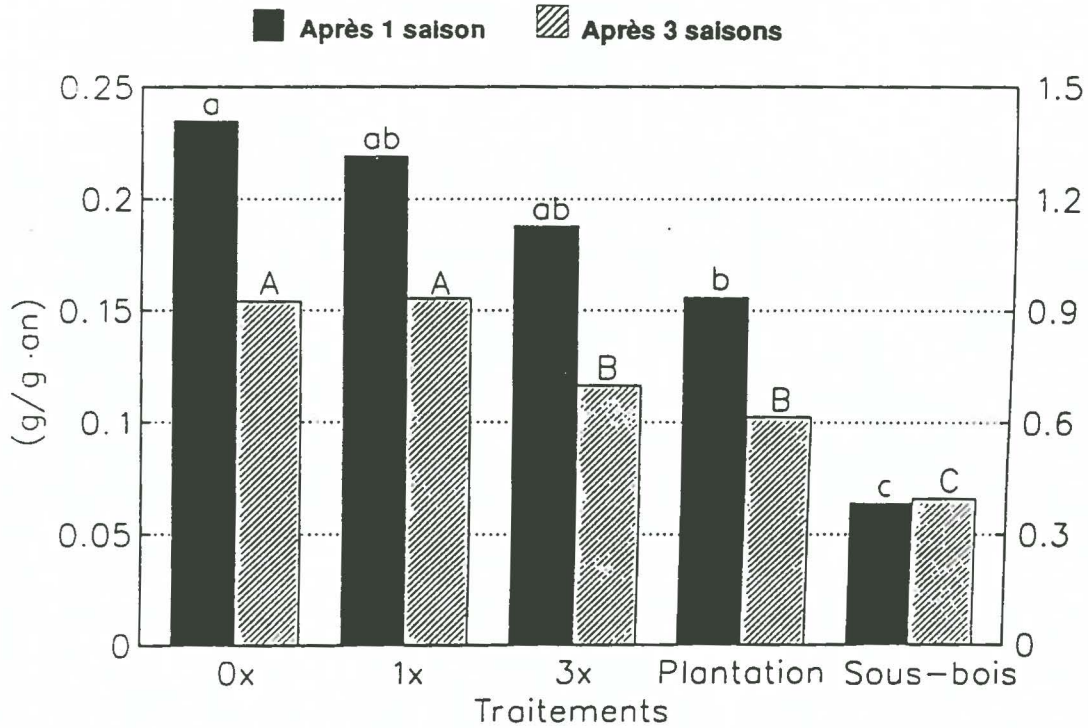


\* Les moyennes ayant une même lettre ne sont pas différentes à un  $\alpha=0.05$

**Surface foliaire  
(après 1 saison)**

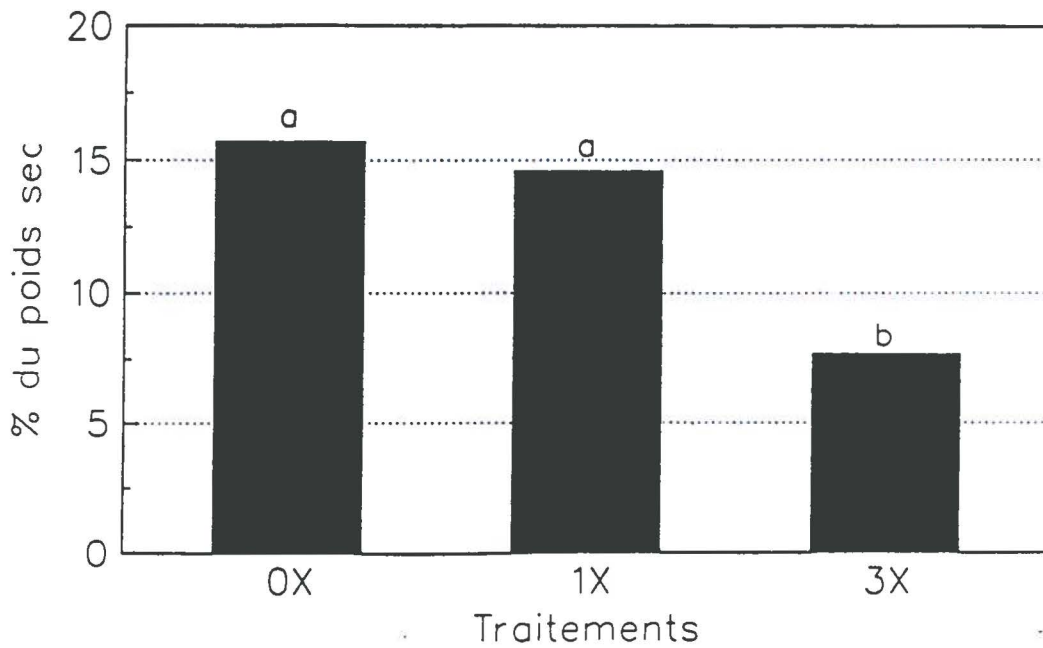


**Taux relatif de croissance**



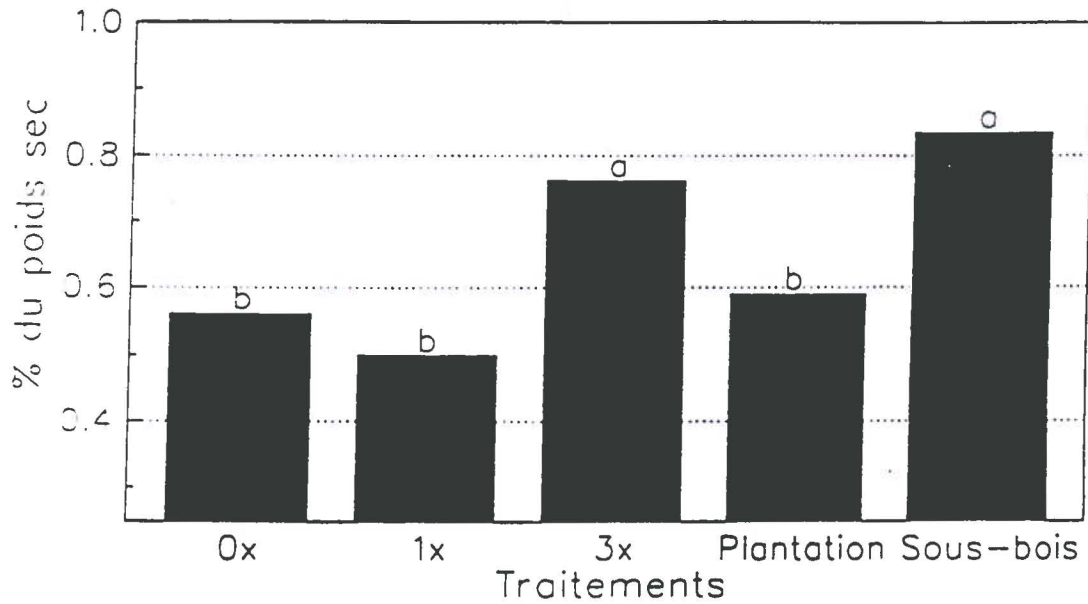
\* Les moyennes ayant une même lettre ne sont pas différentes à un  $\alpha=0.05$

### Pourcentage d'amidon dans les feuilles



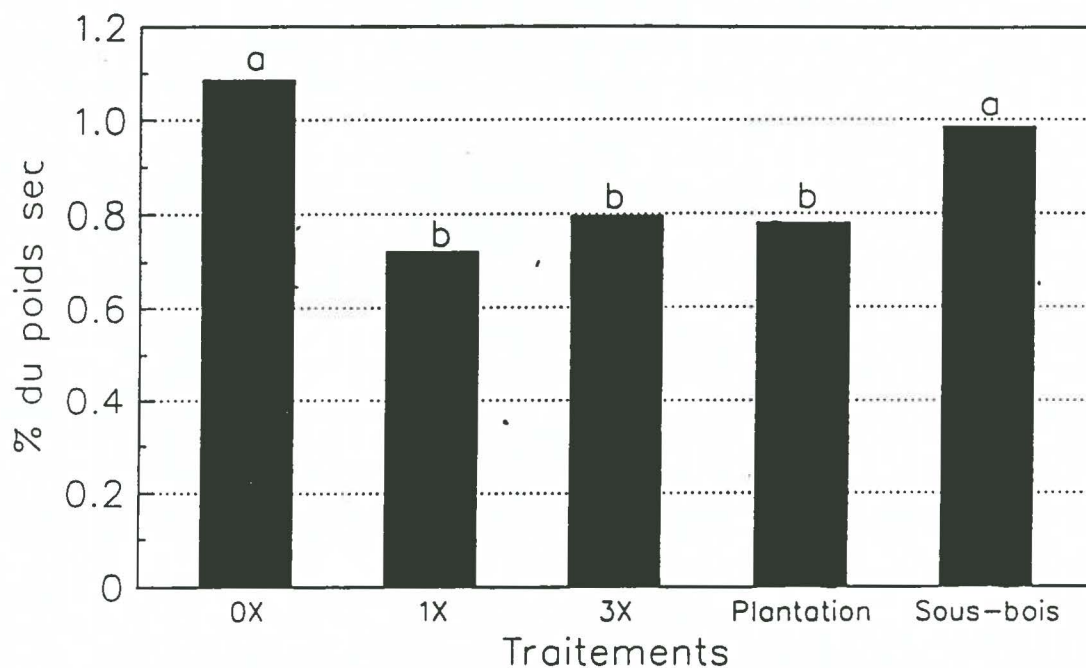
\* Les moyennes ayant une même lettre ne sont pas différentes à un  $\alpha=0.05$

### Concentration foliaire en potassium (après 3 saisons)



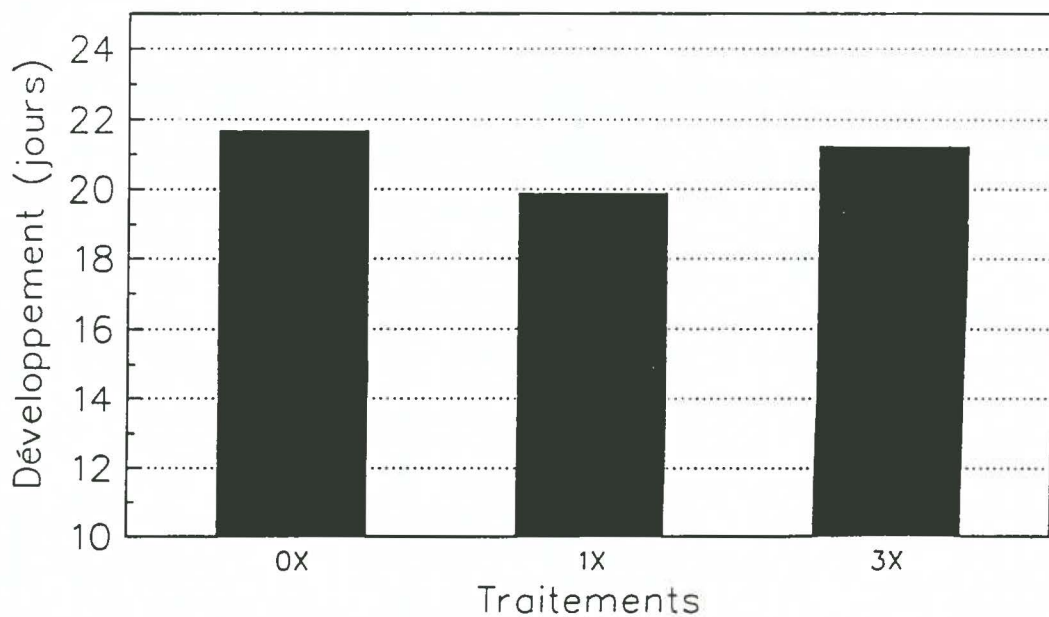
\* Les moyennes ayant une même lettre ne sont pas différentes à un  $\alpha=0.05$

### Concentration foliaire en potassium (après 2 saisons)



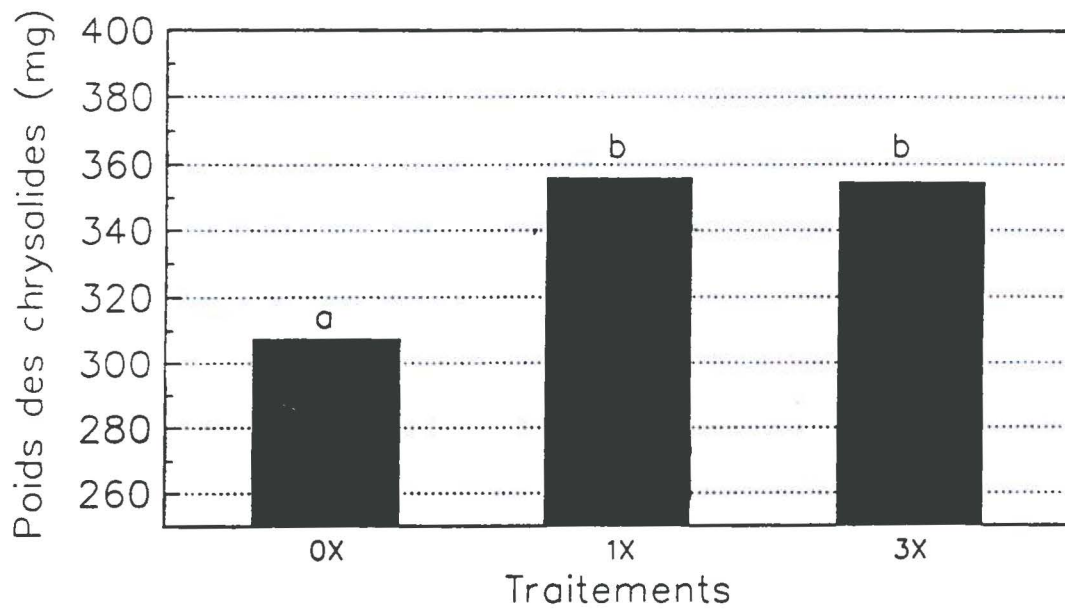
\* Les moyennes ont une même lettre ne sont pas différentes à un  $\alpha=0.05$

### Temps de développement de l'hétérocampe de l'érable entre le début du 3<sup>ème</sup> stade et la fin du 5<sup>ème</sup> stade larvaire



\* Aucune différence significative n'a été observée,  $\alpha=0.05$

**Poids des chrysalides provenant des individus  
ayant consommé du feuillage traité à l'ozone**



\* Les moyennes ayant une même lettre ne sont pas différentes à un  $\alpha=0.05$

**Chapitre 3**  
**LES POLLUANTS PRÉCURSEURS**

# Inventaire des émissions de NOx et de COV au Québec

## Résumé

Le ministère de l'Environnement du Québec exploite depuis 1986 un système informatisé portant sur l'inventaire des émissions atmosphériques qui permet de répondre à des besoins toujours croissants dans ce domaine d'activité. On décrit ici succinctement le développement et la structure du système informatisé de l'inventaire. On présente également les différents secteurs d'activités inventoriés, les sources d'émissions, la méthodologie, les modes de cueillette d'informations ainsi que les émissions de composés organiques volatils (COV) et des oxydes d'azote (NOx) pour les années 1985 et 1990. Au Québec, les émissions anthropiques de NOx et de COV totalisaient en 1985 224 270 tonnes et 326 050 tonnes respectivement. Pour l'année 1990, les émissions de NOx et de COV étaient respectivement 233 020 et 315 680 tonnes.

## Abstract

*Since 1986, the Québec Ministry of the Environment has been operating an automated air emission inventory system capable of meeting the ever increasing needs in this area. This paper describes briefly how the system is designed and structured. It also discusses the various sectors of activity inventoried, emission sources, methodology, data acquisition and VOC and NOx emissions for 1985 and 1990. In 1985 in Québec, anthropogenic NOx and VOC totalled respectively 224,270 and 326,050 tonnes; in 1990, these emissions reached respectively 233,020 and 315,680 tonnes.*

## 1. Introduction

L'ozone est un oxydant qui résulte de réactions photochimiques fort complexes qui se produisent entre les oxydes d'azote (NOx) et les composés organiques volatils (COV) en présence de la lumière solaire. En concentrations élevées, l'ozone produit d'une part des effets néfastes sur la santé humaine et, d'autre part, réduit le rendement et la vitalité des cultures et des écosystèmes forestiers.

La présence de niveaux de plus en plus élevés d'oxydants dans l'air ambiant constitue une préoccupation environnementale croissante. Cette préoccupation s'est traduite par la préparation d'un plan de gestion pour les NOx et les COV sous l'égide du Conseil canadien des ministres de l'Environnement (CCME) en octobre 1988. Ce plan vise une gestion plus poussée des NOx et des COV, afin de respecter de façon soutenue l'objectif de la qualité de l'air ambiant de 82 parties par milliard pour l'ozone d'ici l'an 2005. Dans cet ordre d'idée, le ministère de l'Environnement du Québec est à élaborer une stratégie d'intervention relativement à cette lutte contre la pollution photochimique (Voir texte de A. Marsan et al.).

Les NOx et les COV sont des contaminants atmosphériques du monde industriel dont la présence dans l'environnement est associée aux activités reliées aux industries, aux moyens de transport, aux processus de combustion et aux autres activités humaines. La connaissance des émissions de NOx et de COV est essentielle pour identifier les secteurs d'activité les plus importants, pour évaluer notre effort global de réduction de ces émissions et, bien sûr, pour réaliser des études de modélisation photochimique.

## 2. Les contaminants précurseurs d'ozone

### 2.1 Les oxydes d'azote (NOx)

Les oxydes d'azote (NOx) résultent des processus de combustion à haute température, au cours desquels l'oxygène et l'azote de l'air comburant réagissent pour former ces oxydes d'azote. Une partie de l'azote est fournie par le combustible lui-même. Ils existent sous plusieurs formes dans l'atmosphère. Les NOx provenant de la combustion sont respectivement sous forme d'oxyde nitrique (NO) à plus de 90 %, de dioxyde d'azote (NO2) à moins de 10 % et d'oxyde nitreux (N2O) à moins de 1 %. Une fois relâché dans l'atmosphère, le NO est rapidement oxydé en NO2. Ce dernier est un gaz corrosif et brunâtre dont l'odeur est irritante.

Les émissions de NOx proviennent en majorité de l'utilisation des combustibles dans les procédés industriels,

le chauffage résidentiel et commercial, la production d'électricité et les véhicules motorisés de toutes sortes.

## **2.2 Les composés organiques volatils (COV)**

Les composés organiques volatils (COV) comprennent tous les composés organiques pouvant s'évaporer à la température ambiante et exister dans l'atmosphère sous forme gazeuse. On exclut principalement les composés photochimiquement non réactifs comme le méthane et les chlorofluorocarbures, les composés organiques de faible tension de vapeur (<0.1 mm Hg) ou de point d'ébullition élevé.

Il existe donc dans l'atmosphère plusieurs milliers de composés organiques répondant à la définition de COV. Il est pertinent de noter toutefois que les COV sont d'efficacité variable en ce qui concerne la « production » d'ozone. C'est pourquoi on les classe généralement en fonction de leur « réactivité » qui est représentée par les coefficients de formation du radical hydroxyle (Voir tableau 1).

Les émissions de COV proviennent de sources naturelles et anthropiques. Les sources d'émissions d'origine anthropique sont nombreuses et variées. Parmi les principales, on note les véhicules motorisés, la commercialisation de l'essence, le raffinage du pétrole, les industries pétrochimiques, l'utilisation de solvants organiques, la combustion des combustibles fossiles et du bois, l'application de peinture et de vernis, etc.

## **3. Les secteurs d'activités**

Les émissions de NOx et de COV dans l'atmosphère proviennent de sources qui peuvent être continues ou discontinues dans le temps. Elles peuvent être ponctuelles, diffuses ou étendues, ou mobiles.

Les sources ponctuelles sont des sources fixes comme celles associées aux cheminées ou aux événements de toit. Par exemple, sont classées dans cette catégorie les centrales thermiques et l'industrie primaire. Les sources diffuses ou étendues sont la plupart du temps identifiées aux activités pour lesquelles l'information est compilée sur une base globale ou collective. C'est le cas des activités de nettoyage à sec, de l'usage de solvants, etc. Les sources mobiles représentent les modes de transport comme les véhicules automobiles ou, hors-route, les aéronefs, les trains, les bateaux, etc.

Pour faciliter la présentation des résultats, les sources d'émission de contaminants atmosphériques ont été regroupées dans sept grands secteurs couvrant diverses activités comme le démontre le tableau 2.

## **4. L'inventaire des émissions atmosphériques**

### **4.1 But de l'inventaire**

Le but premier de l'inventaire est de déterminer, de la façon la plus précise possible et sur une base annuelle, l'origine, la nature et la quantité des contaminants rejetés à l'atmosphère par les diverses activités industrielles ou autres.

L'inventaire comporte aussi un volet information générale qui permet d'associer à chacun des rejets dans l'atmosphère le ou les procédés et les appareils d'épuration impliqués, les normes d'émission ou les articles du Règlement sur la qualité de l'atmosphère qui s'y appliquent, créant ainsi un outil de travail pour le suivi des dossiers.

## **4.2 Méthodologie**

Les informations de base servant à la confection de l'inventaire sont compilées à partir des différents dossiers industriels que gère le ministère de l'Environnement du Québec.

Les émissions sont ensuite calculées selon l'une ou l'autre des méthodes suivantes qui sont énumérées par ordre de priorité, les premières étant les plus précises :

- échantillonnage des cheminées,
- bilan de masse,
- facteurs d'émission,
- évaluation basée sur le procédé,
- littérature spécialisée.

Les émissions des sources mobiles sont estimées à l'aide d'un modèle développé par EPA, le modèle MOBILE 4.

## **4.3 Système informatique d'inventaire des sources**

Le système a été développé dans un environnement PC-DOS standard dans le langage D Base III+ avec utilisation du compilateur Clipper.

Le système a aussi été développé sur trois modules distincts :

- module de gestion et de saisie des informations propre au système d'inventaire des sources de pollution atmosphérique;
- module de gestion de tables de la base de données;
- module de gestion d'impression de rapports.

Les informations sont entreposées dans la base des données comprenant les quatre groupes de fichiers suivants :

- fichiers des coordonnées des usines;
- fichiers des coordonnées du MENVIQ;
- fichiers des informations sur les sources et les procédés;
- fichiers des informations sur la production et l'utilisation de combustibles et de matières premières.

## **5. Les émissions des précurseurs en 1985 et 1990 au Québec**

On trouve au tableau 3 le résumé des émissions de NOx et de COV, pour les années de référence 1985 et 1990.

## 5.1 Émissions des oxydes d'azote (NOx)

Au Québec, les émissions totales de NOx pour les années 1985 et 1990 furent respectivement de 224 270 tonnes et 233 020 tonnes. On note une augmentation de 4 % des émissions de NOx en 1990 par rapport à 1985. L'augmentation est plus notable dans les secteurs des pâtes et papiers, et de la combustion dans des installations fixes autres qu'industrielles ce qui peut être attribué à l'utilisation accrue des combustibles fossiles (Voir fig. 2).

Les transports représentaient une part importante des émissions totales de NOx au Québec : 78 % en 1985 et 74 % en 1990. Les secteurs de la métallurgie, des pâtes et papiers, de la pétrochimie, des autres industries et de la combustion dans des installations fixes se partagent le reste dans des proportions variant entre 2 % et 7 % comme montré aux figures 2 et 3.

## 5.2 Émissions des composés organiques volatils (COV)

Au Québec, les émissions de COV pour les années 1985 et 1990 totalisèrent respectivement 326 050 tonnes et 315 680 tonnes, et se répartissaient entre les divers secteurs comme indiqué à la figure 4. Comparativement à 1985, les émissions de COV pour 1990 ont subi une baisse de 3 %. Cette baisse est attribuable surtout au secteur des transports. Pour les autres secteurs, les émissions de COV sont demeurées sensiblement les mêmes pour les deux années étudiées.

En 1990, les émissions de COV associées aux secteurs des transports, des « divers » non industriels, des autres industries et des processus de combustion dans des installations fixes autres qu'industrielles représentaient une part importante des émissions avec respectivement 31 %, 23 %, 18 % et 16 %. La pétrochimie, les pâtes et papiers, et la métallurgie totalisaient 12 % des émissions de COV. Cette répartition des émissions par secteur est sensiblement la même qu'en 1985 avec des variations surtout dans le domaine des secteurs des transports, des « divers » non industriels et des combustions dans des installations fixes autres qu'industrielles qui représentaient respectivement 39 %, 20 % et 12 % des émissions totales (Fig. 5 et 6).

## 6. Facteurs influençant l'évolution des émissions

Plusieurs facteurs expliquent les changements des émissions au cours des deux années concernées (1985 et 1990), dont les principaux sont :

- la fermeture d'usines dont quatre raffineries, une cimenterie et quatre mines d'amiante;
- l'ouverture de nouvelles usines dont une usine d'acide sulfurique, deux alumineries et deux usines de pâtes et papiers;
- l'implantation ou l'amélioration des systèmes antipollution;
- le changement dans l'utilisation des combustibles fossiles utilisés dans le secteur industriel;

- l'évolution du parc automobile;
- la sensibilisation de la population face aux problèmes environnementaux;
- une meilleure précision dans la caractérisation quantitative des sources d'émission, etc.

## 7. Conclusion

L'inventaire des sources d'émission des polluants précurseurs constitue un élément essentiel dans l'élaboration de toute stratégie d'intervention relative à la lutte contre la pollution par l'ozone. Cette stratégie sera d'autant plus efficace que l'inventaire des NOx et des COV sera précis et fidèle à la réalité.

On doit donc orienter nos efforts dans la recherche des éléments suivants :

- l'amélioration de la précision des valeurs d'émission de NOx et de COV des sources anthropiques;
- l'amélioration de la couverture des sources d'émission tant anthropiques que naturelles, particulièrement pour les COV;
- la caractérisation des composés organiques en fonction de leur réactivité et aussi de leur toxicité;
- la variation spatio-temporelle des flux d'émission.

## 8. Références

Dann, T., 1989 : *Speciation and reactivity of volatile organic compounds in ambient air samples and emission inventories*. Pollution measurement Division, Environment Canada, PMD 89-16.

Chamrith Chhem  
chimiste

Raynald Brulotte  
ingénieur

Direction de l'expertise scientifique  
Ministère de l'Environnement du Québec

Tableau 1

Coefficients de formation de radical hydroxyl (k) pour certains COV choisis (Dann, 1989)

Catégorie	Nom	Poids moléculaire	k x 1000 (ppm-1 min-1)	Reactivité relative en fonction du poids
Alcool	Méthanol	32	1,4	43
	Éthanol	46	4,8	105
Alcanes	Méthane	16	0,012	1
	Éthane	30	0,396	13
	Propane	44	1,7	39
	n-Butane	58	3,8	65
	n-Hexane	86	8,3	96
Alcènes	Éthylène	28	12,6	448
	Propène	42	38,8	925
	1-Pentène	70	46,4	662
	cis-butène-2	56	83	1488
	1,3 butadiène	54	98	1822
Alcène biogénique	Isoprène	68	149	2191
Alcyne	Acétylène	26	1,2	46
Composés aromatiques	Triméthyl-1,3,5 benzène	177	84,9	726
	Toluène	92	8,8	96
	m-Xylène	106	34,9	328
	Benzène	78	1,8	23
Carbonyles	Formaldéhyde	30	14,4	481
	Acétone	58	0,33	6
	Méthyléthylcétone	72	1,7	24
Acide carbonique	Acide formique	46	0,7	24
Alcanes/alcènes chlorés	Trichloro-1,1,1 éthane	134	0,03	0
	Dichlorométhane	85	0,22	3
	Tétrachloroéthylène	166	0,25	2
Composés arom. chlorés	Chlorobenzène	113	0,59	5
Éthers	Diméthylether	46	4,4	95
	Méthoxy-2 isobutane	88	4,2	47

Tableau 2  
Secteurs d'activités

SECTEURS	ACTIVITÉS
<b>MÉTALLURGIE</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- SIDÉRURGIE ET ACIÉRIE</li> <li>- FONDERIES DE FONTE ET D'ACIER</li> <li>- BOULETTES DE FER</li> <li>- ALUMINIUM ET MAGNÉSIUM</li> <li>- CUIVRE ET ZINC</li> <li>- ABRASIFS ET FERRO-ALLIAGES</li> <li>- ÉLECTRODES DE CARBONE</li> </ul>
<b>PÂTES ET PAPIERS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- PÂTE AU SULFITE OU BISULFITE</li> <li>- PÂTE AU SULFATE (KRAFT)</li> <li>- PÂTES MÉCANIQUE ET THERMOMÉCANIQUE</li> <li>- PÂTE CHIMICO-THERMOMÉCANIQUE</li> <li>- PRODUITS DÉRIVÉS DE PÂTES ET PAPIERS</li> <li>- USINES DE PLACAGES ET CONTREPLAQUÉS</li> </ul>
<b>PÉTROCHIMIE ET SECTEURS CONNEXES</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- RAFFINERIES DE PÉTROLE</li> <li>- INDUSTRIE PÉTROCHIMIQUE</li> <li>- PRODUITS DE PLASTIQUES</li> </ul>
<b>AUTRES INDUSTRIES</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- CHIMIE ORGANIQUE ET INORGANIQUE</li> <li>- MINES ET MOULINS D'AMIANTE</li> <li>- CIMENTERIES ET USINES DE CHAUX</li> <li>- USINES DE BÉTON</li> <li>- PRODUITS D'ASPHALTE</li> <li>- PRODUITS RÉFRACTAIRES</li> <li>- INDUSTRIE ALIMENTAIRE</li> <li>- BRÛLEURS CONIQUES</li> <li>- INCINÉRATEURS DE DÉCHETS DOMESTIQUES</li> <li>- INCINÉRATEURS INDUSTRIELS ET COMMERCIAUX</li> <li>- USAGE GÉNÉRAL DES SOLVANTS</li> <li>- REVÊTEMENTS DE SURFACE</li> <li>- INDUSTRIES NON CLASSÉES</li> </ul>
<b>COMBUSTION DANS DES INSTALLATIONS FIXES AUTRES QU' INDUSTRIELLES</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- CENTRALES THERMIQUES</li> <li>- SECTEUR DOMESTIQUE</li> <li>- SECTEURS COMMERCIAL ET INSTITUTIONNEL</li> <li>- SECTEUR AGRICOLE</li> <li>- CHAUFFAGE AU BOIS</li> </ul>
<b>DIVERS NON INDUSTRIELS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- COMMERCIALISATION DE L'ESSENCE ET DIESEL</li> <li>- NETTOYAGE À SEC</li> <li>- REVÊTEMENTS DE SURFACE NON INDUSTRIELS</li> <li>- USAGE GÉNÉRAL DES SOLVANTS NON INDUSTRIELS</li> </ul>
<b>TRANSPORTS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- VÉHICULES AUTOMOBILES ET HORS-ROUTE</li> <li>- CHEMINS DE FER</li> <li>- BATEAUX</li> <li>- AÉRONEFS</li> <li>- AUTRES</li> </ul>

Tableau 3  
Résumé des émissions

ÉMISSIONS DE NO <sub>x</sub> ET COV AU QUÉBEC (en tonnes métriques)				
SECTEURS	NO <sub>x</sub>		COV	
	1985	1990	1985	1990
MÉTALLURGIE	4 300	6 330	4 670	4 370
PÉTROCHIMIE	7 300	6 300	32 460	31 150
PÂTES ET PAPIERS	10 000	16 990	2 180	2 450
AUTRES INDUSTRIES	16 750	16 270	53 970	55 840
DIVERS NON INDUSTRIELS	---	---	63 850	71 080
COMBUSTION DANS DES INSTALLATIONS FIXES AUTRES QU' INDUSTRIELLES	11 920	14 090	40 240	51 580
TRANSPORTS	174 000	173 040	128 680	99 210
<b>TOTAL</b>	<b>224 270</b>	<b>233 020</b>	<b>326 050</b>	<b>315 680</b>

# Émissions de NOx au Québec

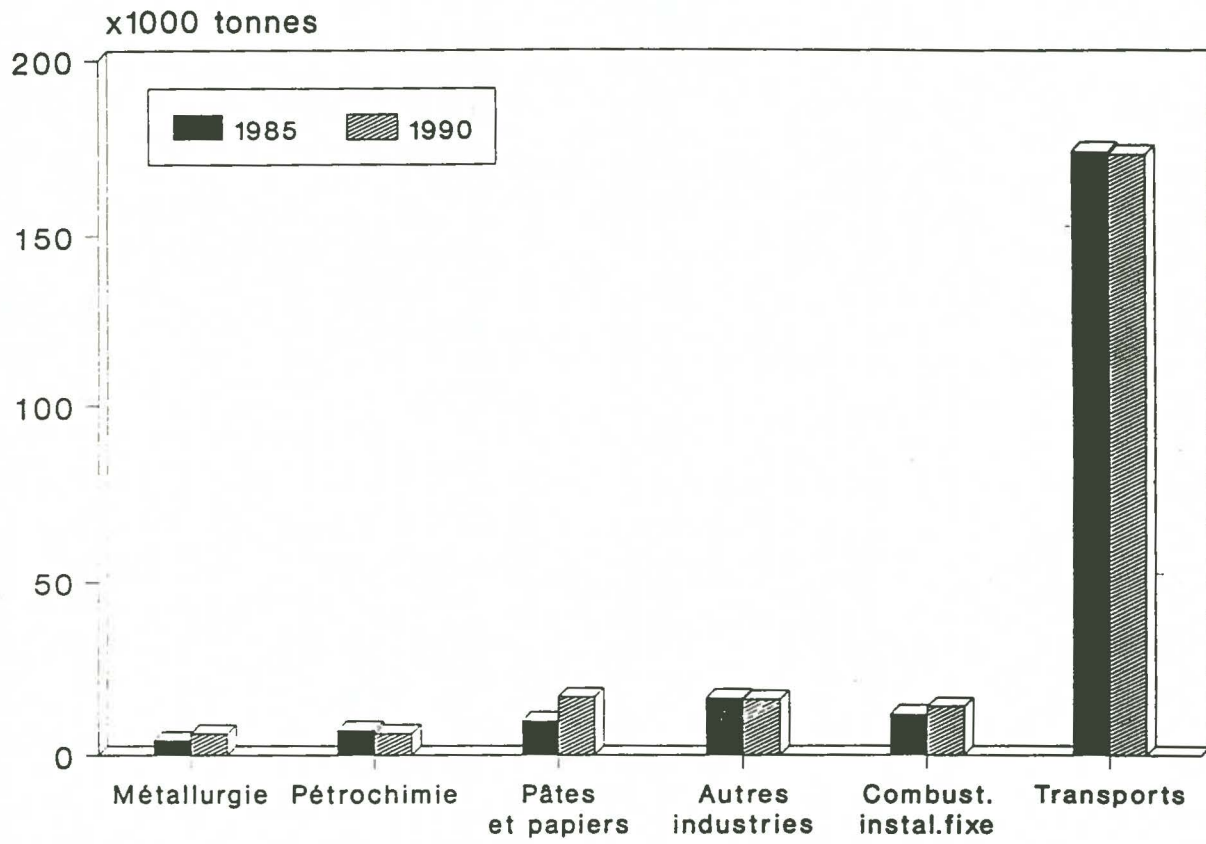


Figure 1

## Québec

ion installations fixes 5,3 %

Autres industries 7,4 %

Pétrochimie 3,3 %

Métallurgie 1,9 %

Pâtes et papiers 4,5 %

## Québec

Installations fixes 6,0 %

Autres industries 7,0 %

Pétrochimie 2,7 %

Métallurgie 2,7 %

Pâtes et papiers 7,3 %

# Émissions de COV au Québec

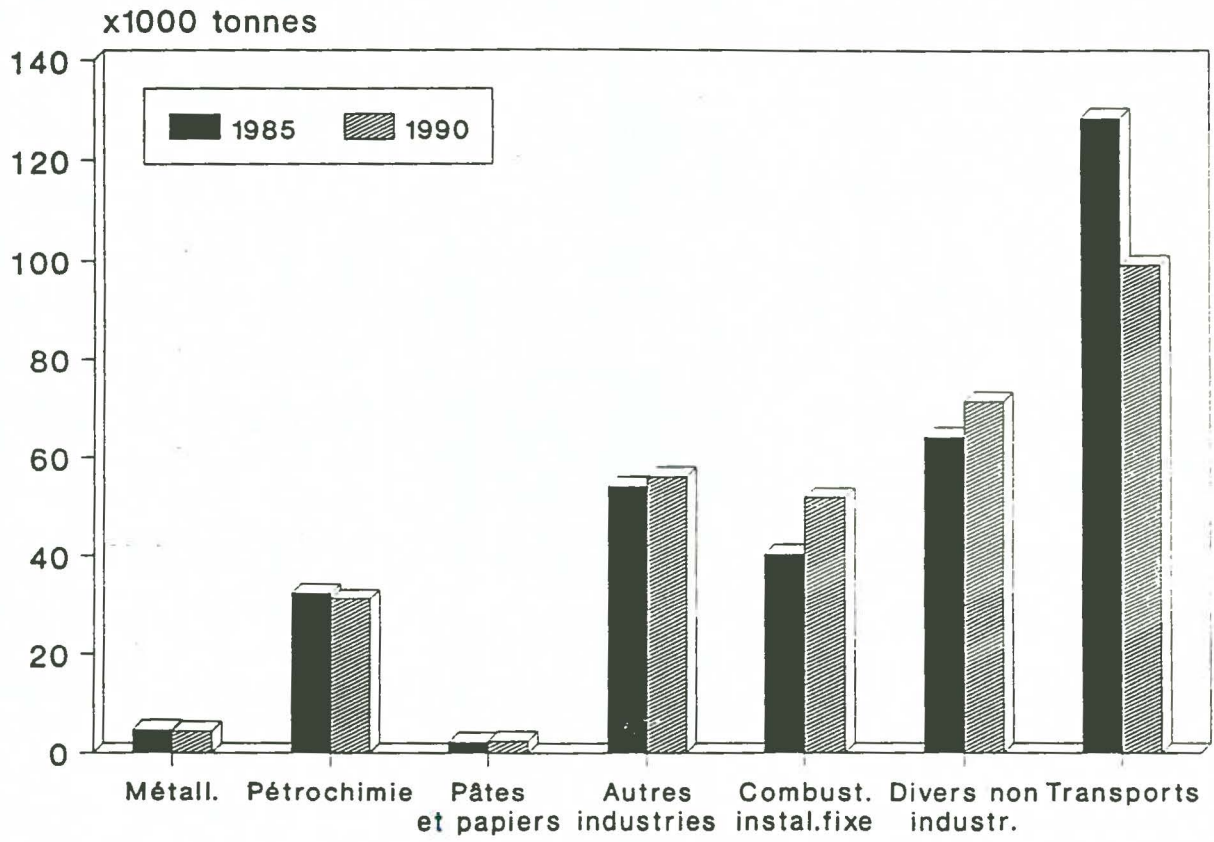


Figure 4

**Émissions de COV au Québec  
Année 1985**

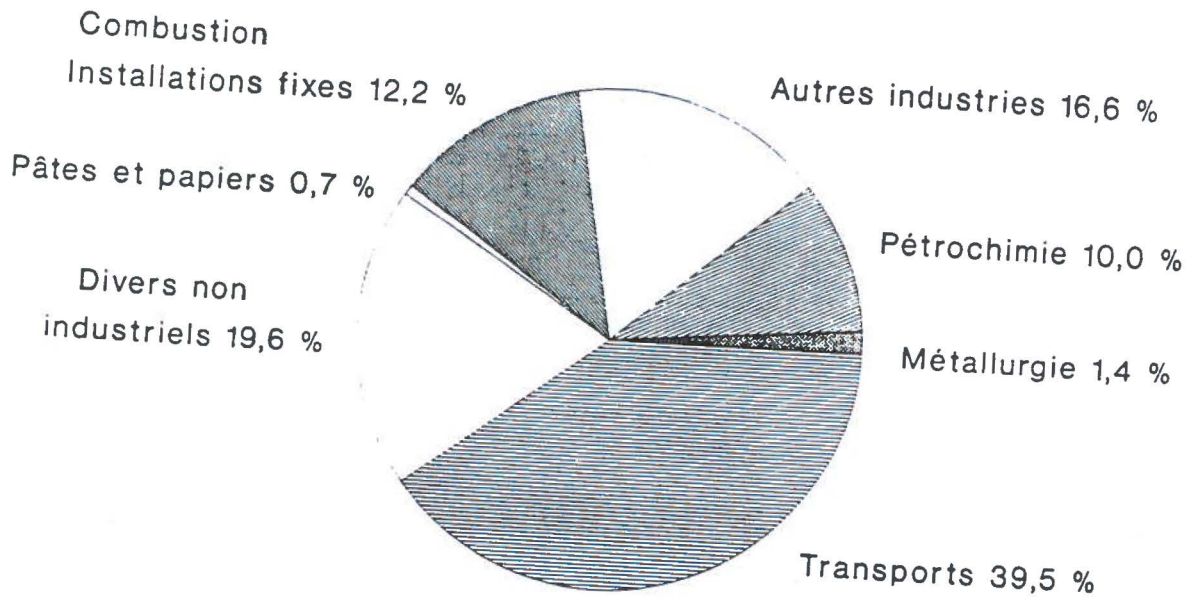


Figure 5

**Émissions de COV au Québec  
Année 1990**

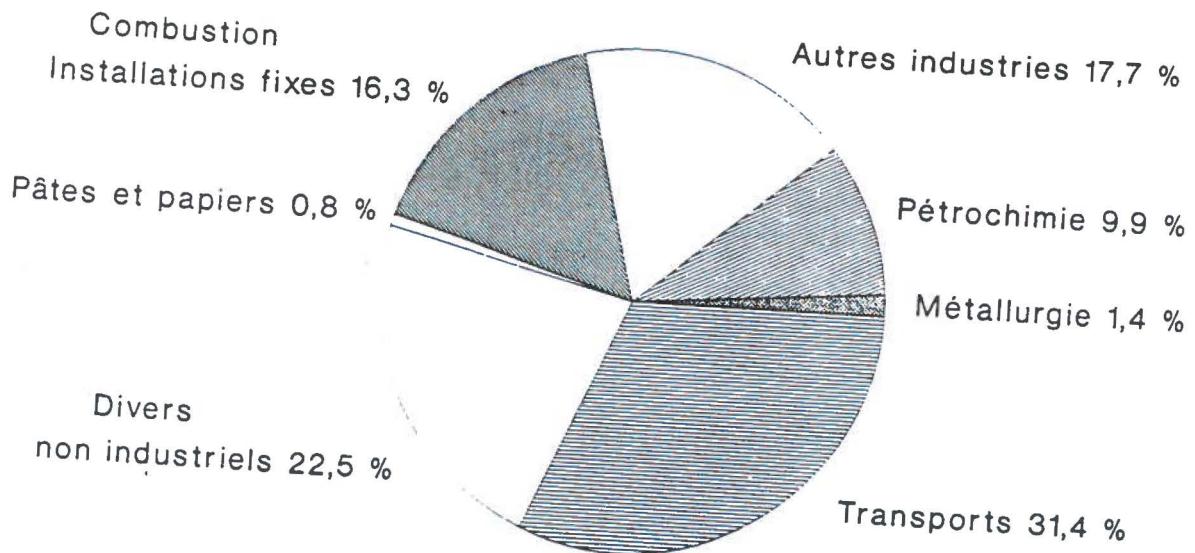


Figure 6

# Mesure des hydrocarbures biogéniques volatils à Duchesnay, Québec

## Résumé

Ce texte a pour but de présenter les résultats obtenus lors de la campagne de mesures (en continu) des concentrations, des taux et des flux d'émission des principaux monoterpènes en érablières dans la forêt de Duchesnay, près de Québec, du 19 au 31 août 1991. Les résultats obtenus montrent la variation journalière des émissions. On constate la régularité des émissions en rapport avec la température. De plus, bien que plusieurs terpènes soient émis, ils ne le sont pas dans les mêmes proportions.

## Abstract

*This paper presents real time ambient air and source measurements of the principal monoterpenes obtained in the maple forest of Duchesnay (near Québec City) during the period August 19-31, 1991. Results show the close link between temperature and emissions; even though many terpenes are emitted in the air, they are not emitted in the same proportion.*

## 1. Introduction

La pollution atmosphérique par les oxydants photochimiques, particulièrement l'ozone, est identifiée comme un problème environnemental majeur avec des répercussions pour la santé, l'agriculture et les forêts. Les gouvernements américain et canadien ont donc l'intention de mettre en place des programmes de contrôle des émissions des polluants précurseurs qui, par des réactions chimiques complexes donnent naissance à l'ozone et à d'autres photo-oxydants. Au Canada, le coût total du plan de contrôle, qui devra être sanctionné par le CCME, est évalué à plus de 600 millions de dollars par année.

Le transport à grande distance de l'ozone troposphérique et de ses précurseurs contribue considérablement à de fortes concentrations d'ozone dans l'axe Montréal-Québec. Cet axe subit aussi l'influence du flux qui a traversé la région montréalaise en raison de la quantité de précurseurs émis dans cette agglomération urbaine. Des études sur le terrain ont clairement démontré que les niveaux d'ozone dans la vallée du Saint-Laurent affectent de manière directe la qualité des productions agricoles, particulièrement sous le vent de Montréal. De plus, en milieu urbain, contrairement aux autres polluants qui sont à la baisse, les niveaux d'ozone troposphérique montrent une tendance à la hausse à certains endroits. Les émissions des précurseurs tels les NOx ont aussi tendance à croître, à cause de l'augmentation de la circulation automobile. Une partie de plus en plus grande de la population risque donc d'être exposée à des niveaux d'ozone qui iront en s'accroissant.

## 2. Formation de l'ozone : importance des sources biogéniques

L'ozone est un polluant secondaire dont la formation résulte d'une grande quantité de réactions chimiques complexes entre des polluants précurseurs soumis à des conditions environnementales favorables. Les précurseurs sont d'origine anthropogénique ou naturelle. Parmi les premiers, on retrouve les oxydes d'azote et les composés organiques volatils. Ces polluants sont émis en quantités importantes en milieux urbains. Selon leur réactivité, ces polluants participent de manière plus ou moins directe à la formation de l'ozone.

La pollution par l'ozone a aussi une cause naturelle. Les hydrocarbures biogéniques (de même que les oxydes d'azote) émis par la végétation en milieu naturel participent à des réactions photochimiques pour former l'ozone et certains de ces hydrocarbures comme l'isoprène ou les monoterpènes sont hautement réactifs.

En milieu naturel, la présence de précurseurs anthropogéniques a aussi pour effet de favoriser les réactions photochimiques avec les émissions d'origine naturelle, ce qui entraîne une augmentation des niveaux d'ozone par rapport aux milieux naturels non touchés par ces précurseurs. Il est donc impossible de préciser de manière exacte l'effet du contrôle des émissions anthropogéniques autrement que par voie de modélisation mathématique et sans tenir compte des émissions naturelles.

La mesure des hydrocarbures volatils biogéniques a été identifiée au niveau national comme une priorité d'action dans le plan national de recherche sur les oxydants photochimiques (CIRAC, 1990). En effet, ces données sont essentielles au fonctionnement adéquat des modèles photochimiques sur lesquels se baseront les politiques de gestion gouvernementale en matière de contrôle des émissions de NOx et de composés organiques volatils (COV).

### 3. Objectifs et buts de la campagne de mesure

L'objectif du projet visait à fournir des données concernant la nature et la concentration des hydrocarbures naturels (monoterpènes) émis par une forêt d'érables à Duchesnay (Québec).

Plus spécifiquement, le projet visait à atteindre les buts suivants :

- a) mise au point d'une technique de mesure à la source en temps réel;
- b) vérification de l'efficacité de la technique d'analyse;
- c) identification du lien entre la source et les concentrations dans l'air ambiant;
- d) identification des cycles diurnes et nocturnes des taux et flux d'émissions;
- e) identification du lien entre les conditions météorologiques (température, humidité, rayonnement, vitesse et direction du vent), les concentrations, le taux et les flux d'émission des hydrocarbures biogéniques;
- f) vérification sommaire de techniques empiriques d'estimations des émissions d'hydrocarbures.

### 4. Résultats antérieurs

Ce projet fait suite à deux campagnes de mesures qui ont eu lieu en 1989 et 1990 à la station forestière de Duchesnay (Québec) dans le cadre de missions de coopération France-Québec.

Les résultats semi-qualitatifs de la campagne de 1989 (Clément et al., 1990a) se basent sur une technique d'échantillonnage développée par Clément (1990b). On a démontré que les principales espèces de monoterpènes échantillonnées en air ambiant à Duchesnay sont le limonène, l'alpha-pinène, le sabinène, le camphène et le myrcène. Des concentrations pour ces espèces ont été obtenues durant environ trois jours. La technique

d'échantillonnage consistait en un piégeage des composés par adsorption sur des pièges de Tenax GC (polymère poreux) suivie d'une thermodésorption et d'une analyse chromatographique avec détection par ionisation de flamme. L'analyse en laboratoire a été effectuée sur les équipements du Laboratoire de chimie-énergie et environnement de l'École nationale supérieure de chimie de Toulouse (France) où cette technique d'échantillonnage a été perfectionnée.

La seconde campagne de mesures (1990) a permis de souligner les problèmes liés à l'exploitation d'une technique en temps réel sur le terrain. Un appareil de préconcentration et d'analyse entièrement automatisé et réalisé à l'ENSCT (Clément, 1990b) a permis de réaliser les premières expériences de mesures des émissions d'hydrocarbures à la source. Les résultats ont montré que l'on peut établir des courbes d'émissions sur plusieurs semaines, et cela, durant les maxima d'activité de la végétation (été).

### 5. Méthode expérimentale

La méthode utilisée durant la campagne de 1991 se réfère à des techniques de préconcentration d'hydrocarbures volatils sur polymères poreux. Comme les concentrations terpéniques dans l'atmosphère sont très faibles (pptV à ppbV) et que les systèmes existants ne sont pas encore capables de mesurer directement ces concentrations, il a été nécessaire de développer une méthodologie basée sur la préconcentration. On utilise ainsi un piège rempli de Tenax GC au travers duquel on fait passer l'air à échantillonner. Les terpènes sont piégés sélectivement à froid et récupérés aux fins d'analyse grâce à une thermodésorption. Un module de préconcentration directement fixé sur l'injecteur d'un chromatographe en phase gazeuse HP 5890 équipé d'une colonne semi-capillaire (DB-5) et d'un détecteur à ionisation de flamme a été mis au point. Un système entièrement automatisé permet de procéder à des prélèvements à intervalles réguliers.

La température du four est programmée de manière à avoir un taux de montée en température de 5°C/min entre -20°C et 85°C. Des électrovannes supplémentaires permettent un choix entre deux circuits différents. Avec le premier, on peut prélever des échantillons d'air grâce à un tube téflon de 0,635 cm de diamètre et d'une longueur permettant un prélèvement au niveau de la canopée. Ce circuit permet d'établir les concentrations en terpènes dans l'air ambiant. Le temps dévolu pour un prélèvement et une analyse est de 54 minutes. Le second circuit est basé sur le même principe sauf que le tube en téflon est connecté à un sac en téflon de 8400 ml dans lequel on a placé une branche d'érable à sucre (*Acer saccharum*) et son feuillage. Ce circuit sert au prélèvement pour la détermination des taux et flux d'émission. Le sac est balayé en permanence par de l'air zéro ce qui permet d'établir une atmosphère ne contenant que les composés émis par le végétal emprisonné.

Un appareillage automatique permet d'effectuer des prélèvements suivis d'analyse alternativement sur les deux circuits; le temps entre deux prélèvements de même nature

(émission ou concentration) est de 108 minutes. Pour les mesures d'émission on a choisi une branche située dans la canopée (hauteur de 7m), mais ni au sommet ni à la base de celle-ci de manière à être représentative de la maturité des feuilles de l'arbre. La masse foliaire était de 3,005 g pour une surface de 591,78 cm<sup>2</sup>.

Les terpènes ont été identifiés relativement à leur temps de rétention et à leurs spectromètres de masse (en laboratoire). La méthode employée est unique, car elle permet, grâce à l'association d'un système analytique performant et d'un appareillage automatisé, d'effectuer séquentiellement des prélèvements d'air. Ceci permettra d'établir des courbes journalières de concentrations et de taux d'émissions durant des périodes pouvant dépasser plusieurs semaines. De la sorte, on peut suivre sur le terrain de manière beaucoup plus fine le comportement des végétaux quant à leurs émissions terpéniques et aux concentrations en air ambiant qui en résultent. À l'heure actuelle, aucun autre appareillage adapté à une étude sur le terrain n'a encore été mis au point.

## 6. Site d'échantillonnage

La station forestière de Duchesnay, située à 50 km au nord-ouest de la ville de Québec dans le bassin du lac Clair, se trouve à une altitude de 300 m et à 15 km à l'intérieur d'une érablière. Près de 80 % de la forêt est constituée d'arbres de 10 à 15 m et âgés de 80 à 100 ans.

## 7. Résultats de la campagne de mesures de 1991

L'ensemble des résultats porte sur 9 jours d'analyse en continu entre le 21 et le 30 août 1991. Les figures 1 à 4 montrent les tracés de concentrations, tandis que les tracés des taux et les flux d'émission sont représentés sur les figures 5 à 8.

### 7.1 Concentrations en air ambiant

Nous avons rapporté les principaux monoterpènes qui furent présents majoritairement à savoir l'alpha-pinène, le sabinène, le myrcène et le camphène. Lors de la campagne de 1989, les niveaux de concentrations observés étaient différents. Alors que l'on avait mesuré des concentrations comprises entre 0 et 2250 pptV durant la dernière semaine de juillet 1989, les niveaux de concentrations moyens sont maintenant compris entre 35 et 80 pptV avec des maximums dépassant rarement 100 pptV. Ces faibles valeurs sont associées aux basses températures observées durant la période (de 9°C à 23°C comparativement à 10°C à 32°C pour juillet 1989). De plus, de fortes pluies sont venues perturber les profils de concentrations habituellement notés par beau temps à savoir une alternance de maxima durant la nuit et de minima durant la journée. Ce phénomène de lessivage de l'atmosphère est bien connu et a souvent été observé. Cela se traduit par un tracé de concentration relativement plat durant ces jours de précipitations. En fin de campagne, avec un retour du beau temps, on a observé aussi un retour à une alternance de pics et de dépressions semblables à ceux remarqués lors des campagnes précédentes.

Ces variations diurnes sont le reflet de la réactivité des terpènes. Ces concentrations sont la résultante de leur production et de leur destruction, notamment avec les réactions photochimiques. Bien que l'émission des terpènes soit plus forte le jour que la nuit (figures 5 à 8), ils sont non seulement détruits par des réactions photochimiques avec l'ozone et les radicaux OH, mais ils subissent également une grande dispersion due aux phénomènes de turbulence atmosphérique. Pendant la nuit, l'absence de ces réactions et la meilleure stabilité de l'atmosphère conduisent à des accumulations de terpènes. Après le coucher du soleil, la production de terpènes est encore importante, leur destruction par les radicaux OH cesse, les réactions avec l'ozone sont moins importantes (quoique le site montre des concentrations d'ozone nocturnes parfois élevées), et les réactions avec les radicaux NO<sub>3</sub> sont supposées faibles. Tous ces phénomènes permettent une forte accumulation de terpènes conduisant normalement à une concentration maximale la nuit. Ensuite, leur émission diminue principalement en raison d'une baisse importante de la température et elle n'arrive plus à compenser leur destruction par l'ozone et par les radicaux nitrates. À partir de 6 h environ, l'émission des terpènes augmente à nouveau.

### 7.2 Émissions

Les tracés de taux et de flux d'émission sont beaucoup plus significatifs. En effet, protégés par le sac téflon, les terpènes émis n'ont pas été entraînés par les précipitations. Les profils sont caractéristiques et montrent des maxima centrés sur le milieu de la journée correspondant aux maxima de température, alors que, durant la nuit, ces émissions sont proches de zéro. Le composé le plus émis est l'alpha-pinène, suivi du sabinène, avec des maxima d'émission de 21 ng/g.h et 9 ng/g.h respectivement. Le myrcène et le camphène n'atteignent pas 6 ng/g.h durant le même temps. Ces valeurs sont faibles mais significatives des émissions durant cette période de l'année (Yokouchi et al., 1984). Les taux et les flux que nous avons calculés sont uniquement typiques de la végétation contenue dans le sac. Afin de connaître les valeurs d'émissions pour la forêt d'érables, il est essentiel de connaître la valeur du coefficient de biomasse de l'érable à sucre dans cet écosystème. Les résultats de ce calcul apparaîtront dans une publication ultérieure.

## 8. Conclusion

Ce travail avait pour but de déterminer les valeurs d'émissions des principaux monoterpènes en fonction du temps dans une érablière. Les résultats obtenus montrent les variations journalières de ces émissions, ce qui n'avait pas encore été fait sur le terrain sur des périodes aussi longues. On peut voir la régularité des émissions en rapport avec les profils de températures. On peut y voir aussi que, bien que plusieurs terpènes soient émis, ils ne le sont pas dans les mêmes rapports. L'efficacité de la technique d'analyse a pu être éprouvée par l'utilisation en continu du matériel durant toute la campagne. Aucune anomalie de fonctionnement n'a été observée. La comparaison de la réponse du FID pour les monoterpènes étudiés avec les courbes d'étalonnage montre que le

système est fiable et ne connaît pas de dérives dans le temps. La technique des sacs montre avec précision le type de terpènes émis. Cependant, comme on peut le voir en comparant les courbes de concentrations à celles des taux d'émission, on ne peut pas lier la source en monoterpènes et les concentrations observées. En effet, quand durant la nuit les émissions sont nulles, il reste quand même des concentrations de l'ordre de 50 pptV pour l'alpha-pinène par exemple.

Une étroite relation entre le profil des températures et celui des émissions a été observée ce qui confirme les résultats obtenus par d'autres auteurs. La relation empirique liant la température et le taux d'émission donne des résultats différents de ce qui est suggéré par Lamb et al. (1987). En effet, à 23°C, une émission de 120 ngC/g.h a été obtenue, alors que la relation empirique donne un résultat de 330 ngC/g.h. Il est donc nécessaire d'avoir un plus grand nombre de mesures si l'on tient à déterminer les valeurs des coefficients empiriques avec le plus de justesse possible pour cette forêt.

## 9. Références

- Cirac (Canadian Institute for Research in Atmospheric Chemistry), 1990 : *A plan for the canadian oxydant research program*. Canadian Institute for Research in Atmospheric Chemistry, York University, Toronto, Canada.
- Clément, B., Riba, M.L., Leduc, R., Haziza, M. et Torres, L., 1990a : *Concentration of monoterpenes in a maple forest in Quebec*. Atmospheric Environment, 24A, 9, 2513-2516.
- Clément, B., 1990b : *Dispositif automatique de dosage des composés organiques volatils (COV) biogéniques*. Application à l'étude des terpènes atmosphériques au cours de la campagne BIATEX/EUROTRAC. Thèse de doctorat, Institut national polytechnique de Toulouse, 106 p.
- Lamb, B., Guenther, A., Gay, D. et Westberg, H. 1987 : *A national inventory of biogenic hydrocarbon emissions*. Atmospheric Environment, 21, 8, 1695-1705.
- Yokouchi, Y. et Ambe, Y., 1984 : *Factors affecting the emission of monoterpenes from red pine (Pinus densiflora)*. Plant physiology, 75, 1009-1012.

## Remerciements

Nous tenons à remercier la Direction de la recherche et des technologies environnementales, la Direction de l'expertise scientifique (ministère de l'Environnement du Québec) ainsi que le ministère des Forêts, Direction de l'environnement, qui ont permis la réalisation de ce projet grâce à leur appui financier et technique.

Les travaux faisant l'objet de ce texte ont été conduits grâce à la collaboration étroite du Laboratoire de physique atomique et moléculaire du P<sup>r</sup> Baril, Université Laval, et du Laboratoire de chimie-énergie et environnement du P<sup>r</sup> Torres, E.N.S.C. Toulouse (France).

Bruno Clément <sup>(1)</sup>  
chimiste

Valérie Simon <sup>(1)</sup>  
chimiste

Liberto Torres <sup>(1)</sup>  
professeur

Marcel Baril <sup>(2)</sup>  
professeur

Richard Leduc <sup>(3)</sup>  
météorologiste

1. École nationale supérieure de chimie  
Toulouse, France
2. Département de physique  
Université Laval
3. Direction de l'expertise scientifique  
Ministère de l'Environnement

Figure 1  
Concentration Alpha-pinène

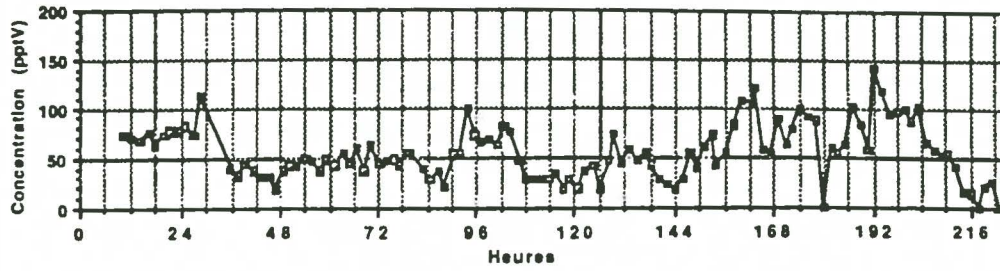


Figure 2  
Concentration de Sabinène

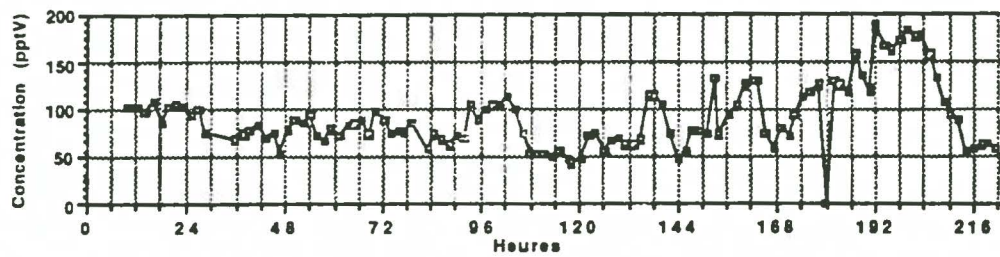


Figure 3  
Concentration de Myrcène

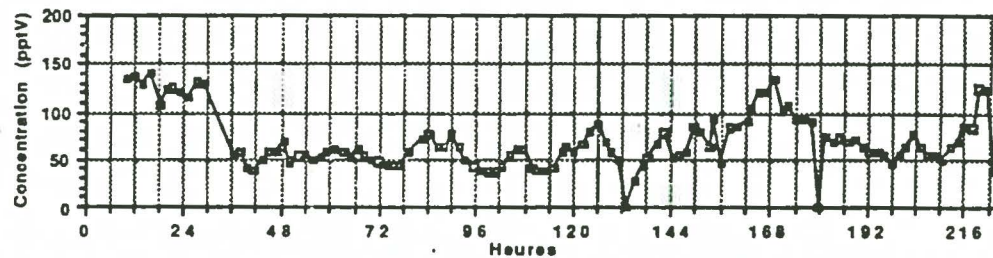


Figure 4  
Concentration de Camphène

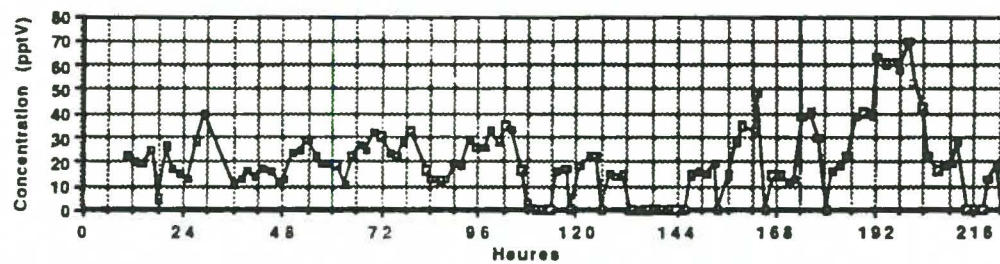


Figure 5  
Émission d'Alpha-pinène

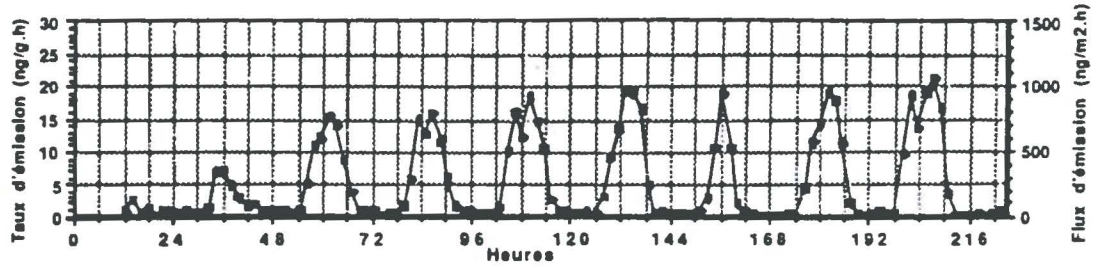


Figure 6  
Émission de Sabinène

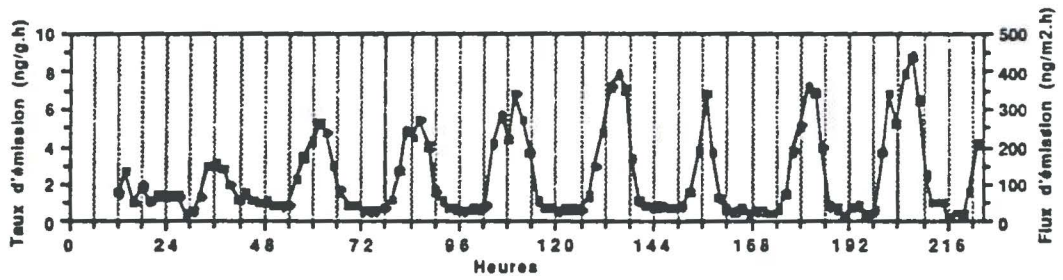


Figure 7  
Émission de Myrcène

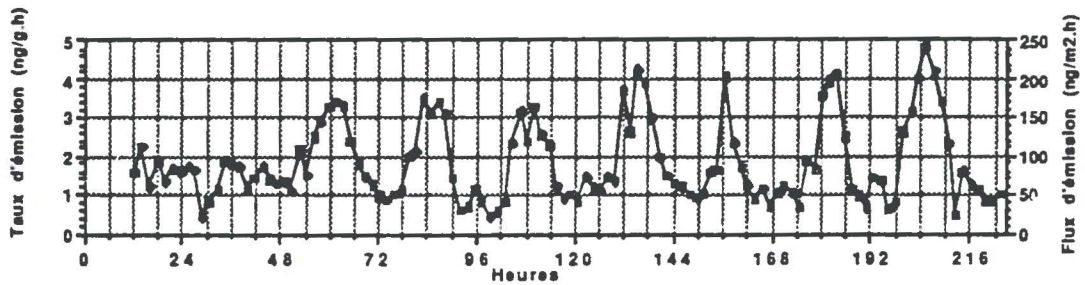
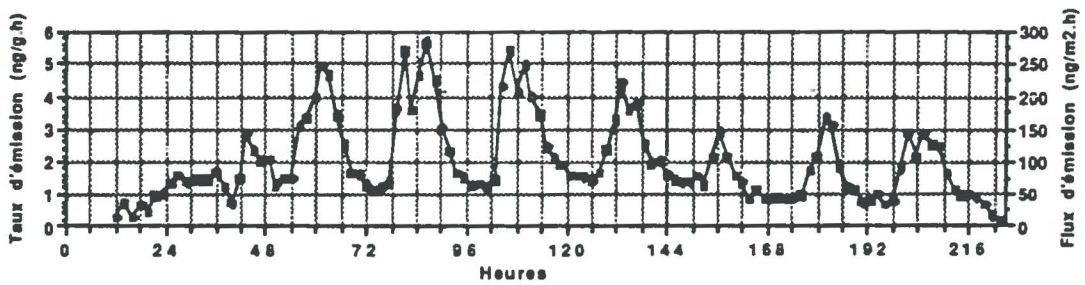


Figure 8  
Émission de Camphène



**Chapitre 4**  
**LE CONTRÔLE DE L'OZONE**  
**ET DE SES PRÉCURSEURS**



# Stratégie de réduction des niveaux d'ozone dans le nord-est des États-Unis

## Résumé

Les épisodes d'ozone sont fréquents durant les mois d'été dans le Nord-Est des États-Unis. De plus, les résultats de la modélisation du projet ROMNET montrent les difficultés à faire respecter la norme d'air ambiant de 120 ppb dans toutes les régions d'intérêt pour NESCAUM. Le présent texte discute des diverses stratégies de lutte contre les polluants précurseurs (COV et NOx) pour les sources fixes et les sources mobiles, de même que de l'incidence des mesures sur les États membres.

## Abstract

*Ozone episodes in the Northeast States are frequent during the summer months; modeling results from the ROMNET project show that there are difficulties in the attainment of the ambient air quality standard of 120 ppb. This paper discusses the various control strategies for ozone precursors (VOC and NOx) from stationary and mobile sources as well as their benefits for the NESCAUM States.*

## 1. Introduction

Le Northeast States for Coordinated Air Use Management (NESCAUM) est un organisme régional de planification sur la qualité de l'air formé en 1967 dans le but d'aider les États du Nord-Est (NE) à évaluer les problèmes de qualité de l'air et à développer des règlements destinés à résoudre ces problèmes de manière efficace. Le comité directeur du NESCAUM est formé des plus hauts responsables de la qualité de l'air de chacun des États de la Nouvelle-Angleterre et des États de New York et de New Jersey.

Selon les données d'émissions les plus récentes, les véhicules automobiles forment, au total, la plus importante source de polluants précurseurs à l'ozone (les hydrocarbures et les oxydes d'azote), de monoxyde de carbone et de polluants atmosphériques toxiques. Des mesures récentes sur la route et sur banc d'essai indiquent que les émissions des véhicules routiers sont considérablement plus élevées que ce que l'on croyait précédemment.

## 2. Niveaux d'ozone

Les résultats de la modélisation effectuée dans le cadre du projet ROMNET démontrent l'étendue du problème de l'ozone dans le Nord-Est (NE) et font ressortir les difficultés à faire respecter la norme NAAQS de 0,12 ppm dans toutes les régions d'intérêt pour NESCAUM. Mis de l'avant par l'EPA en collaboration avec les agences régionales et locales du NE, le projet ROMNET vise à aider au développement de programmes de lutte efficaces et équitables permettant de respecter la norme d'ozone. En dernière analyse, les résultats de la modélisation indiquent bien la difficulté qu'il y aura à respecter la norme d'ozone pour la santé dans tout le corridor du NE même avec la mise en place de programmes dynamiques de réduction des hydrocarbures et des NOx.

De toute évidence, pour que la stratégie régionale mène à l'atteinte de la norme d'ozone pour la santé, elle doit compter principalement sur la réduction substantielle des émissions automobiles.

Les épisodes d'ozone sont fréquents durant les mois d'été dans le Nord-Est des États-Unis. Au cours des cinq dernières années (1987-1991), les épisodes d'ozone de plusieurs jours couvrant plusieurs États (épisodes EEL) se sont produits environ une fois toutes les deux semaines en juin, juillet et août (Tableau 1). La plupart des épisodes durent 3 ou 4 jours, bien que quelques-uns s'étendent au-delà d'une semaine.

Ce sont principalement les conditions météorologiques qui déterminent la durée et la fréquence des épiso-

des EEL dans le NE. Il y a dans cette région suffisamment d'émissions de précurseurs (composés organiques réactifs et oxydes d'azote) pour produire de fortes concentrations d'ozone. Durant l'été, alors que la circulation atmosphérique sur l'Est des États-Unis amène du temps chaud, humide et ensoleillé, et des vents du sud, les conditions sont favorables à des épisodes d'ozone pouvant atteindre des milliers de kilomètres carrés et persister plusieurs jours. Lors de ces épisodes prolongés, des dizaines de millions de personnes des États du NE et le long de la côte respirent de l'air insalubre pollué par l'ozone.

La concentration maximale horaire d'ozone dans le NE n'a que peu varié de 1988 à 1991. Les niveaux d'ozone les plus élevés ont été enregistrés durant les épisodes de 1988 à plusieurs endroits du Connecticut. Des concentrations horaires de plus de 200 ppb (parties par milliard) ont été observées dans le New Jersey (1987 et 1988), l'État de New York (1987, 1988 et 1991), au Connecticut (1987, 1988 et 1989), au Massachusetts (1988) et dans le Maine (1988). Des concentrations d'ozone de plus de 150 ppb ont été fréquentes durant les épisodes EEL des cinq dernières années.

La persistance des épisodes d'ozone dans le Nord-Est des États-Unis se comprend par le fait que les émissions de COV et de NOx de toute la région sont équivalentes et aussi diversifiées que celles d'autres régions des États-Unis aux prises avec des problèmes d'ozone aigus. La densité de population, les industries variées et l'utilisation généralisée des véhicules automobiles sont autant de facteurs contribuant à la difficulté d'atteindre et de maintenir la norme d'ozone.

La figure 1 illustre bien la difficulté que rencontrent les États du NE à respecter la norme puisque tous, sauf le Vermont, la dépassent. Le problème persiste donc dans la majorité des comtés et des centres urbains de la région. Au New Jersey, la situation est sérieuse ou très sérieuse dans presque tout l'État, sauf dans les comtés de Warren et Cape May. La ville de New York, Long Island et les comtés d'Orange, Rockland et Putnam font tous partie des régions à problèmes sérieux. Plusieurs comtés le long de la vallée de la rivière Hudson de même que trois comtés en bordure des lacs Ontario et Érié dépassent légèrement la norme. Le Connecticut est dans une situation sérieuse, et le comté de Fairfield est classé très sérieux. Tous les comtés du Massachusetts et du Rhode Island et deux autres dans le sud du New Hampshire sont classés sérieux. Dans les comtés de York, Cumberland, Androscoggin, Sagadahoc, Kennebec, Knox et Lincoln du Maine, la norme est légèrement dépassée tandis que dans ceux de Waldo et Hancock, elle l'est très peu.

### 3. Contrôle des sources fixes et mobiles

Dans le NE, les stratégies de lutte contre les précurseurs ont fait uniquement appel à la réduction des émissions de COV. Presque aucune mesure ne portait sur les sources de NOx (sauf pour les véhicules automobiles qui devaient satisfaire aux exigences d'émissions du fédéral). Au cours des cinq dernières années, on a démontré scientifiquement la nécessité de tenir compte des NOx lors de l'élaboration des stratégies de lutte pour les ré-

gions à problème. De telles stratégies englobant à la fois les NOx et les COV sont courantes en Californie et pourraient aussi être généralisées dans les États du NE.

Les modifications apportées au Clean Air Act (CAA) en 1990 exigent des moyens additionnels de lutte contre l'ozone par la réduction des émissions de COV et de NOx. De plus, les stratégies de réduction seront basées sur les stratégies développées à partir des modèles ROM (Regional Oxidant Model) et UAM (Urban Airshed Model). Les simulations du ROM pour un des épisodes les plus sérieux des cinq dernières années (4 au 18 juillet 1988) indiquent que des réductions importantes de COV et de NOx seront nécessaires pour la presque totalité des régions sources, afin de respecter la norme d'ozone aux récepteurs urbains et extra-urbains. Les réductions simulées par le ROM sont beaucoup plus grandes que celles exigées dans la région de NESCAUM par le CAA de 1990. En fait, pour les régions où le problème est soit sérieux, soit très sérieux, les simulations prévoient des réductions de l'ordre de 50 % à 70 % pour atteindre la norme tandis que, pour ces mêmes régions, le CAA de 1990 exige des États une réduction des COV de 15 % pour 1996 et de 3 % par année, à partir de 1997, jusqu'à ce que la norme soit atteinte. Les États doivent aussi réduire les émissions de COV des sources moins importantes : 25 tonnes par année (actuelle) dans les régions où le problème est sérieux et 50 tonnes par année là où il est très sérieux. La section 182 du CAA de 1990 exige le recours à des techniques de lutte raisonnablement accessibles (Reasonable Available Control Technology-RACT) pour les bouilloires des services publics et autres sources de NOx. L'utilisation des techniques RACT pour la réduction des NOx est à l'étude pour les entreprises de services publics, les bouilloires industrielles et commerciales, les moteurs à effet réciproque et les générateurs d'urgence, les incinérateurs de boues et de déchets médicaux et municipaux, les turbines, les fours à verre, les aciéries et les usines d'asphalte.

Dans le NE, les sources fixes comptent pour environ 40 % des émissions totales de NOx et les sources mobiles pour environ 50 %. Aussi, le CAA de 1990 prévoit des réductions importantes de NOx et de COV issus des sources mobiles. D'ailleurs des mesures supplémentaires seront nécessaires, car l'augmentation du trafic routier diminuera les bénéfices du programme fédéral de réduction des émissions. Le programme « Low emission vehicle-LEV » de la Californie est le programme de réduction à long terme le plus important permis par le CAA. Celui-ci exige la mise en service en 10 ans de véhicules émettant énormément moins de COV et de NOx. Il fera également en sorte qu'à la fin du siècle les manufacturiers vendent un nombre significatif de véhicules à très faibles émissions et à émissions nulles. On procède actuellement à l'adoption de règlements visant à mettre sur pied le programme californien dans la plupart des États de NESCAUM.

Le CAA de 1990 continue d'insister sur la réduction des émissions de COV par les sources fixes. De nouvelles catégories de sources seront régies par de nouveaux règlements dans les régions à problème. De plus, les catégories de sources ayant fait l'objet de mesures de lutte dans les régions où le problème était des plus graves ont été appliquées aux autres régions.

Les nouvelles catégories de sources visées par le RACT comprennent le recouvrement de surface des aéronefs, des matières plastiques, du bois et des véhicules automobiles, la construction de navires, les eaux usées industrielles, le nettoyage par des solvants, l'impression lithographique, la distillation, les procédés par lot et en réacteur de l'industrie de la fabrication des composés organiques synthétiques (FCOS) et les réservoirs à toit flottant d'entreposage des liquides organiques volatils. Les sources actuelles déjà visées par les directives du RACT comprennent une variété de revêtements (verre, uréthane, papier, réservoir, bobine métallique et meubles, tissus, gros appareils électroménagers, fil magnétique, automobiles et camions légers), le nettoyage à sec, les produits pharmaceutiques, la rotogravure, les produits d'asphalte, les arts graphiques, la récupération de vapeur-phase I, plusieurs terminaux de chargement du pétrole et les raffineries, le revêtement de surface des bâtiments, les fuites des FCOS, les industries des pâtes et papiers, la valorisation des résidus et les usines de traitement publiques. Un grand nombre de ces sources, auparavant soustraites aux mesures de lutte dans le NE y seront soumises à cause du nouveau barème de points élaboré par le CAA pour ces catégories.

En plus des mesures de lutte pour les sources mobiles et stationnaires, les stratégies d'intervention comprendront vraisemblablement des mesures pour les sources diffuses comme les produits de consommation à des fins commerciales ou personnelles. L'EPA a déjà des programmes en marche devant lui fournir des informations pour réduire les COV d'articles de consommation tels que les produits de nettoyage domestique et les produits de beauté. Pour les produits commerciaux, l'EPA examine des mesures pouvant s'appliquer aux ingrédients inertes des pesticides, aux agents de nettoyage commerciaux et industriels, et aux produits d'entretien des véhicules automobiles. La Californie et les États du NE ont reconnu ces sources de COV comme des précurseurs importants de l'ozone. D'ailleurs, ils s'appêtent à adopter des règlements supplémentaires en vue de réduire certaines émissions de COV de ces sources.

Les directeurs du NESCAUM reconnaissent l'importance du rôle des véhicules automobiles dans les problèmes de qualité de l'air et appuient la mise en place d'une combinaison de stratégies incluant la conception, la production, la certification et la vente de véhicules moins polluants, la distribution et l'utilisation de combustibles plus propres, des programmes d'entretien et de vérification améliorés, des politiques de transport encourageant une moins grande utilisation des véhicules, une réduction du kilométrage et des voies de circulation moins congestionnées.

#### **4. Réduction des émissions des nouveaux véhicules**

Conformément à la section 177 du CAA de 1990, les États conservent le pouvoir leur ayant été accordé par le CAA de 1977 d'adopter et de faire respecter des normes, pour les nouveaux véhicules, différentes des normes fédérales. Ces normes doivent toutefois être identiques à

celles de la Californie et être adoptées au moins deux ans avant l'année de la mise en service d'un nouveau modèle.

En réponse à son problème d'ozone, la Californie a mis au point un plan à long terme comprenant de nouvelles stratégies de réduction draconienne des émissions de COV, de NOx et d'autres polluants. De manière à réduire davantage les émissions des sources mobiles, le California Air Resources Board (CARB) a adopté des normes d'émissions sévères. Selon ce programme, quatre nouvelles catégories de véhicules seront introduites dans les dix prochaines années, les véhicules à faibles émissions transitoires (TLEV), les véhicules à faibles émissions (LEV), les véhicules à très faibles émissions (ULEV) et les véhicules à émissions nulles (ZEV). La conformité à ces normes sera possible grâce à la combinaison d'une meilleure technologie de réduction des émissions et l'emploi d'essence reformulée ou d'autres combustibles propres. Les ZEV étant définis comme des véhicules n'ayant aucune émission directe et aucune perte par évaporation, seuls les véhicules électriques peuvent rencontrer cette norme à court terme. Il semble d'ailleurs que, durant la dernière année, les fabricants d'automobiles ont annoncé à toutes les deux semaines une percée technologique importante dans le domaine des véhicules électriques. Le même phénomène se produit en ce qui concerne les techniques de réduction des émissions visant les TLEV, LEV et ULEV. De plus, on rapporte que les manufacturiers américains de l'automobile vont consacrer un milliard de dollars à la recherche et au développement dans le domaine de la réduction des émissions à la suite de l'adoption par le CARB du programme en question. De tels investissements devraient faire en sorte que les véhicules rencontreront les exigences futures relatives aux LEV.

En Californie, dès le début de l'année des modèles 1994, les manufacturiers devront rencontrer progressivement, sauf pour le méthane, des normes plus sévères pour les composés organiques volatils (NMOG) pour l'ensemble de leur flotte. Les manufacturiers pourront rencontrer la norme moyenne pour leur flotte par la combinaison des normes de TLEV, LEV, ULEV, ZEV ou des véhicules standards, pourvu que les émissions NMOG moyennes pondérées par la vente ne soient pas supérieures à la moyenne prescrite pour leur flotte, pour l'année en cours. Les normes de certification pour les NOx et le CO selon le programme LEV seront réduites à la moitié de celles du fédéral. Le programme californien prévoit aussi la possibilité de mettre en réserve et d'échanger des crédits, afin de réajuster des ventes trop faibles ou des projections trop optimistes pour une certaine année en utilisant des crédits accumulés par un manufacturier ou un compétiteur. S'ils souscrivent à ce programme, les États bénéficieront des normes plus sévères et des efforts constants de la Californie pour améliorer son programme et trouver des solutions à tout nouveau problème.

#### **5. Répercussions sur la région**

NESCAUM a joué un rôle très actif en aidant tous les États du NE dans leur évaluation des problèmes reliés aux émissions des véhicules automobiles et la mise au point de programmes réglementaires efficaces concer-

nant ces problèmes. Étant donné la nature régionale des marchés des véhicules automobiles et des combustibles, de même que celle des problèmes de pollution atmosphérique (reliés aux véhicules), l'application de stratégies de lutte régionales est logique.

Depuis 1988, NESCAUM a aidé les États à évaluer les avantages et les effets relatifs à l'adoption des normes californiennes pour les véhicules automobiles. Pour le compte des États du NE, NESCAUM a aidé à l'organisation de rencontres entre des représentants du CARB, de l'EPA et de l'industrie automobile, afin de bien comprendre les conséquences de l'adoption des normes d'émissions californiennes. À la suite de ces rencontres, plusieurs États ont adopté le programme californien ou se proposent de le faire.

En septembre 1991, Pechan Associates a rédigé un rapport pour NESCAUM dans lequel on compare les avantages du programme californien à ceux du programme fédéral à venir. Le rapport final montre que la mise en place du programme LEV dans le NE réduira les émissions d'hydrocarbures, d'oxydes d'azote, de monoxyde de carbone et de toxiques atmosphériques de manière significative et à peu de coût. Une analyse basée sur les méthodes de calcul de l'EPA et du CARB fait ressortir les avantages possibles. On estime ainsi qu'en 2015 les réductions d'émissions obtenues à partir du programme LEV seront supérieures à celles du programme fédéral de 62 % pour les COV, 42 % pour les NOx et 33 % pour le CO. Des avantages substantiels sont aussi prévus pour trois composés toxiques : le benzène, le formaldéhyde et le 1,3-butadiène. Ces prévisions se fondent sur l'utilisation de l'essence conventionnelle et ne comprennent pas les réductions attendues des programmes d'entretien et de vérification, de diagnostics internes et d'essence reformulée. Dans le rapport, on conclut également au très haut rendement du programme LEV, beaucoup plus économique que les mesures exigées des industries et des services publics durant les années 80.

Dans le cadre du programme à émissions nulles ou véhicules électriques, NESCAUM examine actuellement les conséquences du transfert des émissions automobiles aux centrales de production d'énergie. Les résultats préliminaires, basés sur le réseau électrique actuel du NE, indiquent que l'utilisation des véhicules électriques diminuera nettement les émissions de COV et de CO dans le NE. En supposant une efficacité de 0,3 à 0,4 kW/mille pour la flotte de véhicules, on s'attend aussi à des réductions substantielles dans les émissions de NOx et de CO<sub>2</sub>. Le volet véhicule électrique du programme californien constitue donc un élément clé qui produira des bénéfices substantiels en ce qui concerne la qualité de l'air.

## 6. Programmes dans le NE

Douze États du Nord-Est des États-Unis se sont entendus pour proposer l'adoption du programme LEV de la Californie. Ceux-ci représentent approximativement 40 % de la flotte de véhicules américains.

Ces États examinent aussi d'autres stratégies visant à réduire les émissions des sources mobiles comprenant,

entre autres, l'essence reformulée, les programmes améliorés d'entretien et de vérification, et des mesures de lutte dans le domaine du transport. Le programme fédéral sur l'essence reformulée exigera que les raffineries produisent de l'essence émettant 15 % de moins de COV au 1<sup>er</sup> janvier 1995 et 25 % de moins au 1<sup>er</sup> janvier 2000. Ce programme s'appliquera aux neuf régions du pays aux prises avec les pires problèmes d'ozone incluant Baltimore (Maryland), Hartford (Connecticut), New York (New York) et Philadelphie (Pennsylvanie). Toutes les autres régions à problème sont libres de participer ou non à ce programme. Le Maine, le Massachusetts et le Rhode Island ont déjà décidé en sa faveur et on s'attend à ce que d'autres États du NE en fassent autant.

Les États songent aussi à améliorer leurs programmes d'entretien et de vérification, afin de s'assurer que les automobiles rencontrent les normes d'émissions tout le long de leur vie utile. Les États envisagent aussi des mesures visant à réduire le nombre de milles voyagés, de sorte que l'augmentation du nombre de véhicules n'annule pas les avantages de la réduction des émissions. Par exemple, à Boston, la population a augmenté de 4 % durant les années 80, alors que le nombre de milles parcourus a augmenté de 40 %. De nombreuses autres villes connaissent une augmentation similaire relativement à l'utilisation des véhicules par rapport à l'augmentation de la population.

## 7. Conclusion

Les États du Nord-Est croient vraiment à la nécessité de prendre toutes les mesures raisonnables qui s'imposent pour réduire les niveaux de pollution conduisant à des taux d'ozone dépassant les normes de santé. Puisque la source principale des oxydes d'azote, des composés organiques volatils et des toxiques, est l'automobile, il est vital que des mesures de lutte la visant soient mises en place dans la région.

Michael J. Bradley  
directeur  
Northeast States for Coordinated Air Use Management

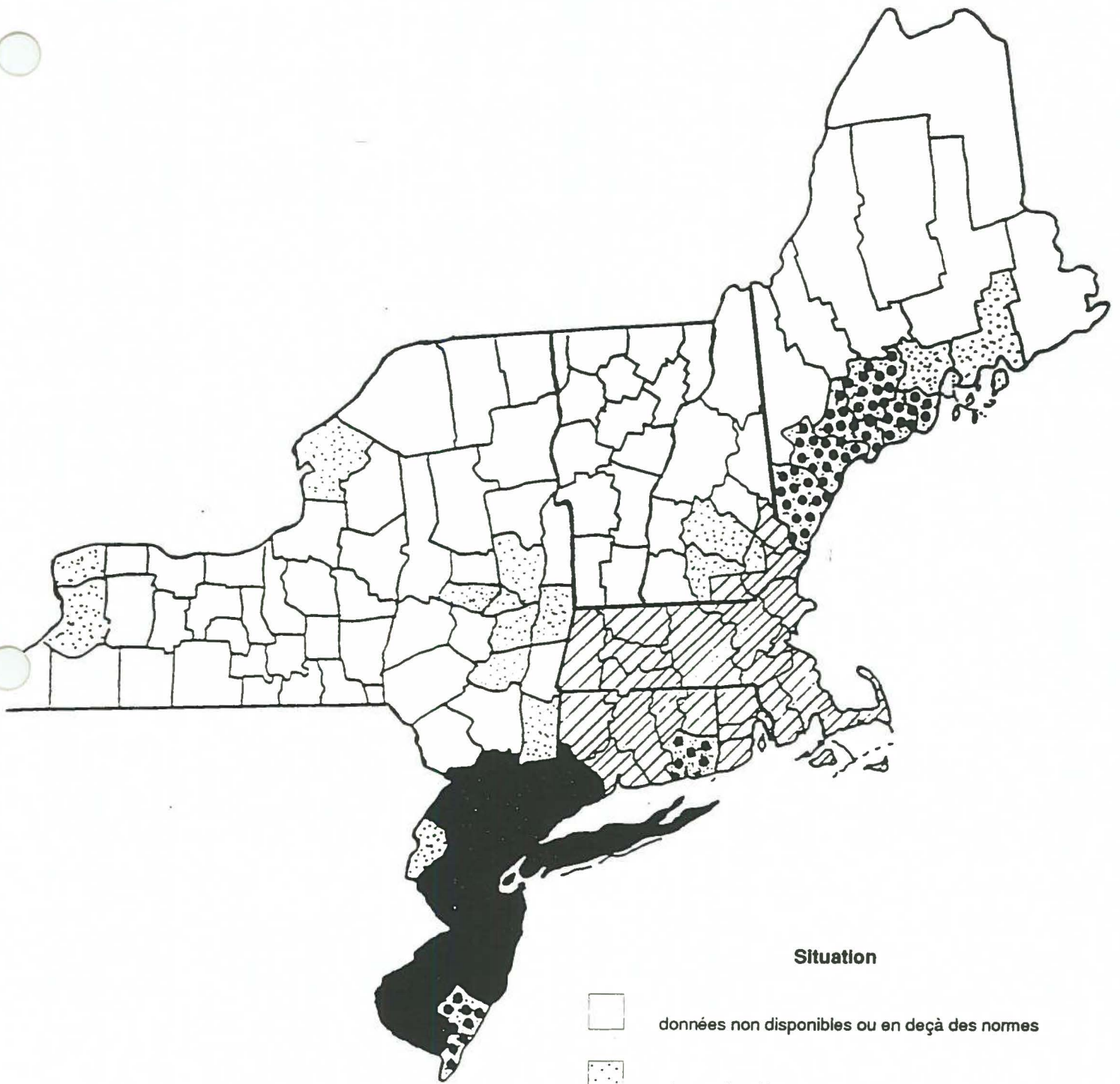
Texte présenté au Colloque sur les précipitations acides et sur la pollution par l'ozone (smog), Montréal, 4-5 novembre 1991.

Traduit de l'anglais par Richard Leduc  
Révisé par Richard Laurin






Tableau 1  
Nombre d'épisodes de plusieurs jours couvrant plusieurs États dans les 8 États de NESCAUM

mois	1987	1988	1989	1990	1991
juin	3	2	2	0	2
juillet	2	2	2	2	1
août	2	1	1	2	2

# Les niveaux d'ozone dans les États membres de NESCAUM



## Situation

-  données non disponibles ou en deçà des normes
-  très peu inquiétante
-  peu inquiétante
-  sérieuse
-  très sérieuse



# Protocole international sur les composés organiques volatils

## Résumé

Ce texte nous fait part des négociations entre le Canada, les États-Unis et 33 pays européens, et qui ont abouti à un projet de protocole juridique international visant la réduction des composés organiques volatils.

## Abstract

*This paper discusses of the negociations that were held between Canada, the United States and 33 other European countries that led to an international law protocol aimed at reducing volatile organic compounds emissions.*

## 1. Introduction

En août 1991, les négociations entre le Canada, les États-Unis et 33 pays européens ont abouti à un projet de protocole juridique international visant la réduction des émissions de composés organiques volatils ou COV, principaux responsables des graves problèmes d'ozone troposphérique ou de smog auxquels l'Amérique du Nord et l'Europe font face.

En 1989, au tout début des négociations, on m'a demandé de diriger la délégation canadienne, en m'assurant que la tâche serait simple. Laissez-moi vous dire qu'elle n'a jamais été simple. Cependant, j'ai acquis une expérience tout à fait unique et je suis fier des résultats obtenus : des obligations légales concrètes qui constituent ce qui deviendra sans aucun doute une loi internationale efficace.

Lorsque le protocole sur les COV a été signé en novembre 1991 à Genève, il devenait alors la troisième loi sur la pollution transfrontalière développée sous les auspices de la Commission économique des Nations Unies pour l'Europe (CENUE).

La CENUE a joué un rôle important dans des dossiers prioritaires en matière de qualité de l'air, comme celui des pluies acides.

En 1979, le Canada et 34 autres pays membres de la CENUE, y compris les États-Unis, ont signé une entente qui allait marquer la protection de l'environnement atmosphérique. Il s'agissait de la convention sur la pollution atmosphérique transfrontalière à longue distance. La convention concrétisait un objectif que jamais encore les pays n'avaient atteint. En effet, les 35 pays signataires se sont entendus en principe pour ne pas se nuire mutuellement par des polluants atmosphériques.

Par ailleurs, pour que les ententes juridiques particulières soient ensuite négociées et mises en force, il fut décidé de créer un organisme exécutif.

Depuis la création de cet organisme exécutif, des groupes de travail techniques et des groupes de négociation qui en relèvent sont devenus étonnamment dynamiques et efficaces au sein de la CENUE. En un peu plus de dix ans seulement, trois grands protocoles sur la pollution atmosphérique transfrontalière ont été signés sous les auspices de la convention: le protocole sur les COV, qui a été signé le 19 novembre 1991, le protocole sur l'anhydride sulfureux ou protocole d'Helsinki, signé en 1985, et le protocole sur les oxydes d'azote ou protocole de Sofia, signé en 1988.

La prochaine cible en matière de pollution atmosphérique transfrontalière sera probablement les polluants

toxiques à longue distance, comme les composés organiques persistants et les métaux lourds. Déjà, on s'emploie à recueillir des données scientifiques et techniques sur ces polluants sous la direction de l'organisme exécutif.

## 2. Remarques historiques concernant le protocole sur le SO<sub>2</sub>

Avant de discuter du protocole sur les COV, il est opportun de faire quelques remarques historiques concernant certains aspects des négociations entourant le protocole sur le SO<sub>2</sub> et les NOx, et qui sont réapparus lors des négociations sur les COV.

Au début des années 80, quand nous avons entrepris les négociations relatives à l'anhydride sulfureux, très peu de pays étaient sensibilisés aux conséquences de la pollution atmosphérique. Le Canada était probablement l'un des plus engagés. Les pluies acides figuraient déjà parmi les priorités gouvernementales de l'époque.

Aujourd'hui, la politique menée par les « verts » influence directement la position de nombreux gouvernements européens en matière d'environnement. Toutefois, à cette époque, les « verts » étaient moins influents et des pays comme l'Allemagne et les Pays-Bas n'étaient pas encore convaincus des dommages causés par les pluies acides sur leurs lacs et leurs rivières.

Il a fallu cinq ans pour négocier le premier protocole sur les émissions transfrontalières d'anhydride sulfureux, et le Canada a joué à cette occasion un rôle prépondérant sur son contenu.

En fait, le protocole sur le SO<sub>2</sub> stipulait une réduction de 30 % des émissions, ce sur quoi les gouvernements fédéral et provinciaux s'étaient déjà entendus, afin de respecter l'objectif environnemental canadien (ou charge critique) de 20 kg/ha/an pour ce qui est des dépôts de soufre.

Les scientifiques canadiens étaient convaincus qu'une réduction de 30 % des émissions nationales signifiaient que la plupart sinon la totalité des lacs et des rivières sensibles du Canada seraient protégés des dépôts acides de l'industrie canadienne. Seulement quelques autres délégations présentes à la négociation avaient une idée de ce que cette réduction aurait comme effet sur leur propre problème de précipitations acides.

Le Canada a dû être très convaincant pour que les autres parties acceptent cette réduction de 30 %, objectif considéré essentiellement comme initiative canadienne.

En Europe, l'obligation de réduire les émissions selon un taux uniforme de 30 % a gagné les suffrages. Cet objectif est devenu le chiffre magique à fixer, sans égard à la qualité de l'air ambiant ni à la contribution réelle de chaque source à la gravité du problème régional de qualité de l'air.

Le fait que ce chiffre était tout à fait arbitraire n'y changeait rien. À mesure que le public international prenait conscience du problème et que les négociations de la CENUE devenaient dignes de faire la manchette, toute délégation nationale qui souhaitait être vue comme res-

pectueuse de l'environnement devait manifester un appui total envers cette réduction souhaitée de 30 %.

Quand le chiffre a été de nouveau avancé, pendant les négociations du protocole sur les oxydes d'azote, le Canada s'est trouvé aux prises avec un grave problème. Nous qui avons insisté pour faire adopter cette proportion pour l'anhydride sulfureux ne pouvions plus maintenant l'accepter, puisqu'il était impensable de réduire de 30 % les émissions d'oxydes d'azote. Nous savions que les oxydes d'azote ne contribuaient que pour une faible part au problème des pluies acides au Canada, et ce n'est que bien des années plus tard que nous allions mieux comprendre leur rôle dans le problème de l'ozone troposphérique au Canada. Impossible, donc, d'accepter cette fois les 30 % de réduction globale.

Les négociateurs canadiens ont donc réagi en avançant le concept de la charge critique selon lequel la réduction des émissions d'oxydes d'azote doit être en fonction de l'objectif environnemental visé. Il s'agit, en d'autres mots, de la charge critique des oxydes d'azote.

Logique sur le plan scientifique, mais pratiquement impossible à « vendre », le concept de charge critique a finalement été accepté comme obligation légale pour la deuxième étape du protocole devant être négociée plus tard.

C'était là quand même une réelle percée pour le Canada, puisque cette notion de charge critique devait être retenue dans les protocoles subséquents.

Ce long préambule vous permettra de mieux comprendre le protocole sur les COV qui est essentiellement un accord en deux étapes, comme le protocole sur les oxydes d'azote. Il comprend un premier palier d'obligations engageant les pays signataires à réduire sans délai le volume de leurs émissions de composés organiques volatils ainsi qu'un second palier d'obligations engageant les pays signataires à négocier de nouvelles réductions en fonction de l'objectif environnemental ou du niveau critique d'ozone troposphérique.

## 3. Protocole sur les COV

Il faut cependant souligner que le protocole sur les COV diffère considérablement de ceux qui l'ont précédé.

D'abord, et pour la première fois depuis le début des ententes signées en vertu de la convention sur la pollution atmosphérique transfrontalière à longue distance, le protocole propose trois façons de satisfaire aux obligations fondamentales : en réduisant les émissions de COV du pays de 30 %, en réduisant les émissions de COV de 30 % dans certaines régions, mais aussi en s'assurant qu'il n'y a pas d'augmentation des COV totaux, c'est-à-dire un gel des émissions, à compter d'une date déterminée dans tout le pays.

Deuxième différence entre le protocole sur les COV et ceux qui l'ont précédé : l'introduction d'un tout nouveau concept, celui des zones de gestion de l'ozone troposphérique.

Enfin, ce qui pour nous, de la délégation canadienne, était tout à fait nouveau, c'est que, pour la première fois, les positions défendues par le Canada découlaient du plan canadien réalisé suite à la plus vaste consultation publique jamais entreprise en vue de dresser un plan de gestion de la qualité de l'air.

Les négociations qui ont abouti au protocole sur les COV étaient les premières négociations internationales pour lesquelles la position canadienne était fondée sur un plan conçu par tous : les gouvernements, les industries, les groupes d'intérêt public et les groupes écologiques.

Le plan de gestion a été développé par un processus de consultation qui a engagé tous les secteurs de la société incluant l'industrie, les groupes de pression, les groupes environnementaux et les gouvernements. Tous les aspects du plan, de son objectif général jusqu'aux options de contrôle, ont été adoptés en deux années au cours desquelles de 20 à 30 intervenants des secteurs industriels, des groupes de pression et des gouvernements fédéral, provinciaux et municipaux ont effectué des consultations approfondies.

Par exemple, au début des consultations, il a été entendu que l'objectif principal du plan canadien devrait être la protection de la santé humaine et de l'environnement, et que le respect de la norme horaire de 82 ppb d'ozone en air ambiant rencontrerait cet objectif.

Bien que le problème actuel d'ozone troposphérique expose environ la moitié de la population canadienne à des niveaux d'ozone reconnus pour altérer la santé, le problème de la qualité de l'air est circonscrit à trois régions seulement. Au total, ces régions ne couvrent même pas 5 % de la superficie de l'ensemble du pays.

Notre plan de gestion des oxydes d'azote et des COV a été adapté à la nature des problèmes d'ozone au Canada. Cette caractéristique a été tout à fait primordiale pour nous dès le début de la négociation.

Le processus de négociations n'en était qu'à ses débuts quand un groupe des pays européens parmi les plus industrialisés a proposé de réduire les émissions nationales de 30 %. Cette proposition nous mettait dès le départ dans une position difficile, puisque le Canada éprouverait de sérieuses difficultés à respecter une obligation entraînant des réductions de 30 % à l'échelle nationale. Au contraire des négociations précédentes, toutefois, nous avons un plan de gestion des émissions d'oxydes d'azote et de COV qui permettrait d'établir notre position et de la justifier.

Le Canada n'a pas besoin de réduire globalement les émissions de COV de 30 %, comme le montre nettement le plan de gestion, pour atteindre d'ici l'an 2005 l'objectif correspondant à la norme de qualité de l'air ambiant de 82 parties par milliard. Il suffirait de réduire les émissions totales de COV d'environ 16 % pendant la première phase et d'augmenter les réductions d'une proportion un peu plus grande pour la seconde phase.

À la cinquième séance de négociations, l'avant-dernière, il a alors semblé à tous les pays participant aux négociations que, si la seule option retenue était de réduire

les émissions nationales de l'ordre de 30 %, le protocole serait signé par un petit nombre de pays et qu'il n'aurait que peu d'effets sur le problème de l'ozone troposphérique dans la région de la CENUE. C'est alors que l'option du gel a été proposée en vue d'obtenir l'adhésion des pays de l'Europe de l'Est dont les émissions, nationales et par individu, sont faibles en comparaison des pays de l'Ouest.

Nous étions presque au dernier jour de travail de la cinquième séance, quand enfin la solution est apparue. Le Canada a introduit un tout nouveau concept appelé « zones de gestion de l'ozone troposphérique » (territoire). L'idée suggérait que chaque nation réduise ses émissions de COV de 30 % dans toutes les régions qui contribuaient à augmenter la teneur des États voisins en ozone troposphérique. C'était donc dire qu'au Canada, il faudrait désigner comme zone de gestion le corridor Québec-Windsor et la vallée inférieure du Fraser.

Fait sans précédent dans le domaine du droit environnemental international, ces idées correspondent directement au plan de gestion des NOx et des COV canadien. Ce plan est techniquement et scientifiquement valable en principe et en pratique. Il tient compte de l'aspect régional du problème de pollution par l'ozone dans les grands pays ou ceux bomés par de grandes surfaces d'eau.

#### 4. Conclusion

Le Canada a donc de signé cet important protocole international auquel nous avons activement contribué. Cette contribution a été valable principalement, parce que le Canada avait bien fait ses devoirs en réalisant son propre plan national de réduction des COV, mais aussi grâce à l'expertise scientifique de haut calibre dont il disposait.

Ce que, personnellement, j'ai appris au cours de ces trois années de négociations, c'est que nous vivons maintenant dans le même village global et qu'il ne sera jamais plus possible pour un pays de se développer sans considération pour ses voisins. Nous devons concevoir des règles environnementales internationales basées sur la science, sur les différences sociales, économiques et politiques, et surtout sur des compromis équitables.

Jean-Pierre Gauthier  
directeur général  
Conservation et protection  
Environnement Canada

Texte présenté au Colloque sur les précipitations acides et la pollution par l'ozone (smog), Montréal, 4 et 5 novembre 1991.



# Contrôle des émissions de composés organiques volatils sur le territoire de la communauté urbaine de Montréal

## Résumé

Les concentrations d'ozone au sol dans le corridor Québec-Windsor dépassent, de façon systématique, les normes acceptables de qualité d'air ambiant. L'île de Montréal, située dans ce territoire, enregistre régulièrement des taux élevés d'ozone, et ceci, particulièrement durant la période estivale.

La CUM a entrepris, il y a plusieurs années, des programmes de réduction des COV pour les activités industrielles tombant sous son autorité. Ainsi, les émissions de diverses sources ont été réduites massivement au début des années 80. Le règlement 90 de la CUM, datant de la fin de l'année 1987, va encore plus loin et exige une réduction de 90 % des émissions de COV qui proviennent des activités utilisatrices de solvants. Le programme de réduction des COV de la CUM vise chaque secteur d'activité industrielle de façon indépendante à cause des particularités et des difficultés d'utilisation des technologies de contrôle.

## Abstract

*Ground-level ozone concentrations systematically exceed ambient air quality standards in the Windsor-Québec City corridor. The island of Montréal, located within this corridor, regularly records high ozone levels specially during the summer months.*

*Years ago, the MUC undertook VOC reduction programs for industrial activities under its jurisdiction. During the 1980's emissions from various sources decreased significantly. MUC Regulation 90 (1987) goes further by requiring a 90 % reduction of VOC emissions from solvent consuming activities. MUC's VOC reduction program is concerned with the industrial sector in an independent way owing to the particularities and the difficulty of using control technologies.*

## 1. Historique

L'air est l'élément le plus essentiel à la vie humaine et animale en général. Nous devons considérer que, comme humains, nous aspirons de l'air en moyenne 22 000 fois par jour pour un total de 15 kg qui sont filtrés par l'appareil respiratoire. Nous devons également reconnaître que l'air est le milieu se prêtant le moins bien à un conditionnement idéal tandis que l'eau pure peut être achetée et les aliments sélectionnés. Il est établi qu'un homme peut survivre à six semaines de jeûne, à trois jours sans eau, alors qu'il périra d'asphyxie en quelques minutes sans air.

Il n'est donc pas étonnant qu'historiquement les problèmes de pollution de l'air aient été les premiers à préoccuper les sociétés industrialisées. L'apparition des villes densément peuplées a entraîné une dégradation marquée de la qualité de l'air dans ces milieux. Ainsi, les premières réglementations antipollution de l'air ont été adoptées par des villes comme Londres et plusieurs autres d'Europe et des États-Unis. Les particules, la suie et le dioxyde de soufre qui résultent d'une combustion plus ou moins efficace du charbon, en particulier, sont en général responsables de cette pollution.

Il y a plus d'un siècle (le 12 mars 1872), la Ville de Montréal a décrété la première réglementation au Canada pour lutter contre la pollution de l'air. Le règlement 56 a alors été adopté pour réduire les inconvénients reliés à l'exploitation d'engins à vapeur, de chaudières et d'usines. En 1882, un nouveau règlement était adopté et cinq autres devaient suivre jusqu'en 1970 comme le montre le tableau 1. Trois règlements antipollution de l'air ont été mis en application par la Ville de Montréal avant que son geste ne soit imité par une autre ville canadienne, soit Toronto, en 1907.

À la formation de la Communauté urbaine de Montréal en 1970, le règlement 9 a été adopté. Celui-ci devait être remplacé par le règlement 44 en février 1979 qui, à son tour, a fait place au règlement 90 en août 1987. Ce dernier règlement est encore en vigueur aujourd'hui. Les changements successifs ont eu pour effet de contrôler de façon plus sévère les sources importantes de pollution industrielle. Par ailleurs, le ministère de l'Environnement du Québec défraie le budget de l'assainissement de l'air du Service de l'environnement, et le ministre de l'Environnement doit approuver les règlements avant leur mise en application.

## osés

oit les  
ompo-  
nt à la  
éogra-  
ne de  
nom-  
iné de  
nique.  
spon-  
biles et

le des  
avant-  
ement  
ige de  
de la  
cation  
% du  
age à  
roliers  
orce la  
90 %.  
munis

t 44 et  
exige  
diffé-  
ent qui  
ont les

pl pour  
com-  
ssions

r plu-

dans  
s dont

atières

véhi-

it être

je de  
s : ré-  
h par

atière  
90 %  
maxi-

- d) dégainage de fils électriques : réduction de 90 % exigée ou 5 kg/h par usine au maximum;
- e) fabrication et recyclage de sabots de frein et de barils : réduction de 90 % exigée ou 5 kg/h par usine au maximum;
- f) dégraissage de pièces métalliques : réduction de 90 % exigée ou 5 kg/h par usine au maximum;
- g) recyclage des fils métalliques et moteurs électriques : réduction de 90 % exigée ou 5 kg/h par usine au maximum;
- h) séchage au four ou traitement thermique des tissus : réduction de 90 % exigée ou 5 kg/h par usine au maximum;
- i) torréfaction, trempe, refroidissement du café ou du cacao : émission maximale de 500 g/t;
- j) transformation des matières animales dans une usine d'équarrissage : réduction exigée de 99 %;
- k) réception, lavage et entreposage des peaux de tannerie : réduction exigée de 99 %;
- l) opérations d'une usine de saturation du papier d'asphalte : réduction exigée de 90 %;
- m) oxydation de l'asphalte : réduction exigée de 90 %;

article 6.02 :

article 6.03 : réduction des émissions de COV des réservoirs de produits pétroliers;

article 6.04 :

article 6.08 : activités nouvelles prohibées sur le territoire;

article 6.11 : réduction des rejets gazeux aux torches;

article 7.10 : réduction de la concentration de composés odorants hors des limites de la propriété.

Sans vouloir couvrir toutes les activités du territoire qui génèrent des émissions atmosphériques de COV, on discutera des secteurs d'activités suivants :

- le raffinage du pétrole,
- l'industrie pétrochimique,
- l'imprimerie sur papier,
- l'imprimerie sur film,
- le séchage au four de résine,
- la finition de surfaces métalliques,

- la torréfaction du café,
- le textile,
- autres tels que l'enfouissement sanitaire et la saturation du papier d'asphalte.

### 3. Investissements consentis par l'industrie de 1980 à 1990 sur le territoire pour réduire les émissions de COV

À l'exception de l'industrie du meuble de bois qui n'a pas encore fait l'objet de nos interventions et des secteurs de l'imprimerie et de la finition des surfaces métalliques qui terminent actuellement leurs projets, tous les autres secteurs d'activités ont atteint les réductions qui leur étaient demandées. Il convient de souligner que la plupart des exigences formulées par le règlement 90 dont il est fait mention ici font partie des initiatives du plan fédéral de gestion des NOx/VOC à être développées. C'est donc dire qu'en ce qui concerne les réductions de composés organiques à l'atmosphère, la CUM possède une certaine avance.

Les tableaux 2 à 9 montrent les moyens qui ont été pris par l'industrie pour réduire les émissions atmosphériques et les coûts qui en ont résulté entre 1980 et 1990. Il faut cependant noter que les chiffres fournis sont prudents, car il est difficile de comptabiliser les modifications technologiques.

Le bilan montré au tableau 10 montre les résultats obtenus entre 1970 et 1989 en ce qui concerne la réduction des émissions de COV à l'atmosphère. Il ne tient pas compte des éléments suivants qui étaient et sont encore non réglementés :

- a) émissions industrielles fugitives;
- b) émissions des réseaux de distribution de l'essence;
- c) émissions des sites anciens et existants d'enfouissement sanitaire;
- d) émissions résultant de l'utilisation publique de solvants.

Par ailleurs, le bilan prend en considération les émissions des automobiles sans pour autant qu'une législation spécifique ait été adoptée sur le territoire. Les baisses notées à ce chapitre résultent particulièrement de réglementations fédérales et provinciales.

## 4. Les principaux équipements antipollution de l'air

### 4.1 Les toits flottants et équivalents

Le stockage des produits pétroliers était responsable d'émissions très élevées de COV dans l'atmosphère. Selon la compagnie Sandborn, un fabricant de toits flottants, le stockage de produits ayant une tension de vapeur Reid de 11psi à 55°F entraîne les émissions montrées au tableau 11.

Selon le bilan effectué par le Service en 1989 et montré au tableau 10, quelque 66 000 tonnes métriques

de composés organiques étaient émises dans l'atmosphère à partir de stockage des produits pétroliers avant l'installation de toits flottants ou l'équivalent.

Les toits flottants ont permis de réduire ces émissions de plus de 90 %. Comme son nom l'indique, celui-ci flotte sur le liquide et empêche ainsi son contact avec l'air et, par le fait même, son évaporation. Pour les pétroles bruts, on utilise généralement un toit flottant constitué de panneaux d'acier, alors que des sandwiches de polyuréthane entre deux panneaux d'aluminium sont utilisés pour les produits plus légers. Les coûts de ces appareils dépendent du diamètre du réservoir et vont de l'ordre de 200 000 \$ pour un petit réservoir à plus de 400 000 \$ pour les plus gros. On parle en moyenne d'un coût de 300 000 \$ par réservoir.

Par ailleurs, plus récemment, on a commencé l'installation de systèmes de récupération des vapeurs. Ceux-ci, bien que plus dispendieux, ont généralement une durée de vie plus longue et une plus grande efficacité à réduire les COV. Leur coût minimum est de 300 000 \$.

### 4.2 L'incinération

L'incinération peut être thermique ou catalytique et elle peut être accompagnée d'un échange de chaleur. L'incinération thermique consiste à chauffer directement les gaz à incinérer jusqu'à une température variant de 1400 à 1600°F. L'incinération catalytique est une oxydation qui se produit à des températures variant de 700 à 900°F et qui dépend du catalyseur, du produit à incinérer et de l'état du catalyseur. En général, les catalyseurs utilisés sont à base de métaux précieux tels le platine, le palladium ou encore à base d'oxyde de métaux tel l'oxyde de manganèse. Un type particulier d'incinération thermique avec échange interne de chaleur est appelé « régénératif ». Celui-ci est constitué en général de trois lits de céramique utilisés en alternance pour absorber et désorber la chaleur. On peut ainsi récupérer jusqu'à 95 % de la chaleur, alors que la récupération conventionnelle de chaleur par échangeur intérieur se situe autour de 70 %. La disposition de cette chaleur n'est également pas un problème, puisque celle-ci est utilisée pour l'incinérateur lui-même. Ce type d'équipement est particulièrement intéressant en ce qui concerne les frais d'opération qui sont très élevés pour l'incinération conventionnelle et quelque peu moindre pour l'incinération catalytique.

Sur l'île de Montréal, toutes les combinaisons sont utilisées. En règle générale, l'incinérateur thermique simple coûte 10 \$/pi<sup>3</sup>/min, l'incinérateur catalytique simple coûte 20 \$/pi<sup>3</sup>/min, et il faut presque doubler ces montants pour ajouter l'échange de chaleur. L'incinération de type régénératif coûte de 60 \$ à 80 \$/pi<sup>3</sup>/min. Il va de soi que les coûts d'opération (combustible) de ce dernier incinérateur sont à peu près nuls.

L'incinération est utilisée par plusieurs types d'industrie : torréfaction du café; oxydation de l'asphalte; imprimerie sur papier; fabrication des sabots de frein; saturation du papier d'asphalte; friture; émaillage de fils; émaillage de cannettes métalliques; évaporation de solvants (dégraissage).

Les figures 1, 2 et 3 montrent les investissements requis en fonction du volume de gaz à traiter pour les différents types d'incinérateurs.

### 4.3 Le charbon actif

Le charbon actif est utilisé pour récupérer et permettre une réutilisation des solvants. L'industrie qui se prête le mieux à cette récupération est celle des adhésifs, puisque le solvant y est dans bien des cas une substance pure tel le toluène. Les épurateurs de ce type et qui sont installés sur l'île de Montréal comptent en général deux lits d'absorption. Une colonne remplie de charbon absorbe les solvants, pendant qu'une deuxième est en période de régénération. Cette régénération est effectuée à l'aide de vapeur qui est condensée à la sortie de la colonne. Le solvant est recueilli au-dessus de l'eau. Un refroidissement du lit à l'air suit cette opération. Les changements de colonne et les régénérateurs sont effectués de façon automatique à l'aide de minuteries ou d'appareils de mesure des concentrations de COV. Il en coûte environ 30 \$/pi<sup>3</sup>/min d'investissement pour ce type d'épurateur.

### 4.4 L'électrofiltre

L'électrofiltre peut être utilisé en combinaison avec des laveurs et des refroidisseurs pour réduire les émissions atmosphériques de COV. Une grande partie des COV lourds peut être condensée par refroidissement avec ou sans contact direct. L'effluent gazeux est par la suite légèrement réchauffé pour éviter la formation d'arc et est passé dans des électrofiltres. Ceux-ci captent alors les COV à l'aide d'un champ électrique. Cet appareil concurrence les incinérateurs qui sont dispendieux à l'achat et à l'opération. Son coût est approximativement de 25 \$/pi<sup>2</sup>/min. Il a été utilisé entre autres par le secteur de l'imprimerie sur papier et par celui de la friture.

### 4.5 Les changements aux procédés

Plusieurs initiatives ont été prises par les imprimeurs sur film pour abaisser leurs émissions. Les colles à base de solvant de laminateurs ont en partie été changées pour des colles à base d'eau et des encres à haute teneur en solide ont été essayées. Pour ce faire, les rouleaux « Anilox » ont dû être changés sur les machines. Ce type de rouleau a une durée de vie beaucoup plus longue que celle des rouleaux conventionnels, de sorte que l'investissement initial peut se justifier d'un point de vue économique. On a ajouté des « doctor blade » pour contrôler l'épaisseur d'encre sur les rouleaux et des couvercles sur les stations d'encre. L'émission moyenne d'une imprimante est de près de 10 kg/h, alors que celle d'un laminateur est de l'ordre de 40 kg/h. Les imprimeurs sur film ont réduit leurs émissions atmosphériques de 50 % à 60 % depuis 1980. Le tableau 12 qui suit montre les coûts occasionnés par quelques-unes des modifications effectuées.

## 5. Conclusion

L'industrie de la finition des surfaces métalliques a aussi en grande partie recours aux changements technologiques. Ces mêmes technologies sont actuellement

disponibles ou sont en voie de l'être pour le secteur de la finition des surfaces en bois comme le montre le tableau 13.

Le Service évalue actuellement les efficacités de transfert de peinture pour les différents types d'équipements d'application existants. Les crédits approuvés pourront ainsi être accordés à ce secteur d'activité.

Deux projets d'envergure concernant l'inspection des automobiles et la récupération de vapeur d'essence retiendront spécialement l'attention du Service dans les années à venir.

Dans le cadre du plan de gestion des NOx/COV, le Service a participé activement, en tant que membre du groupe d'étude national, à l'élaboration de recommandations techniques pour la protection de l'environnement applicables à la récupération des vapeurs dans les réseaux de distribution d'essence. Un code de recommandations techniques de même qu'une norme relative aux systèmes de récupération ont été rédigés. À plus ou moins brève échéance, il est possible que le Service soit engagé dans l'élaboration d'une réglementation spécifique au territoire ou à tout le moins soit responsable de l'application sur l'île d'un règlement provincial à cet effet.

En ce qui concerne l'automobile, déjà en 1987, le Service recommandait dans un rapport la mise sur pied de cliniques obligatoires d'inspection des véhicules automobiles sur l'île de Montréal. En septembre dernier, la CUM était engagée dans la tenue de trois journées de cliniques d'inspection des automobiles organisées par le ministère de l'Environnement. Des données récentes ont ainsi pu être obtenues sur le parc automobile de l'île de Montréal. Le Service aimerait qu'une action soit entreprise dans ce domaine, qu'elle soit provinciale ou municipale.

Nous pouvons affirmer que des diminutions importantes dans les émissions de composés organiques à l'atmosphère ont été obtenues sur l'île de Montréal. La réglementation en vigueur et l'application des mesures contenues dans la législation sont responsables de ces résultats. Les secteurs industriels ont été définis et chaque usine a été avisée de soumettre un projet de réduction au Service. Le territoire de la Communauté urbaine de Montréal possède une avance certaine au Canada en ce qui concerne la réduction des émissions de COV. En effet, un bon nombre des initiatives recommandées par le Conseil canadien des ministres de l'Environnement (CCME) pour le Canada sont déjà en place depuis plusieurs années sur notre territoire.

Yves Bourassa  
ingénieur  
Service de l'environnement  
Direction de l'assainissement de l'air  
et de l'eau  
Communauté urbaine de Montréal

Texte présenté au Colloque sur les précipitations acides et sur la pollution par l'ozone (smog), Montréal, 4 et 5 novembre 1991.

Tableau 1  
Évolution de la réglementation antipollution de l'air à Montréal

12 mars 1872	Règlement 56 (Ville de Montréal)
13 février 1882	Règlement 130 "
4 février 1901	Règlement 206 "
3 février 1931	Règlement 1112 "
9 mars 1950	Règlement 1953 "
22 avril 1966	Règlement 3300 "
4 mars 1970	Règlement 4007 "
30 mars 1970	Règlement 9 (CUM)
12 novembre 1970	Règlement 20 "
7 février 1979	Règlement 44 "
25 août 1987	Règlement 90 "

Tableau 2  
Raffinage et pétrochimie  
Investissements consentis en assainissement de l'air de 1980 à 1990

I- Réservoirs de produits pétroliers volatils:	
Toits flottants	18 130 000,00\$*
Système de récupération	2 550 000,00\$
II- Torches	
Installation et modifications	30 250 000,00\$
Système de récupération des gaz	4 400 000,00\$
III- Oxydation du bitume	
Incinérateurs thermiques	530 000,00\$
Lavage des gaz	125 000,00\$
IV- Dégazage d'eau de contact direct de procédé	
Incinérateur (avec récupération d'énergie)	378 000,00\$
V- Effluent gazeux de procédé	
Tours d'absorption	1 075 000,00\$

\* On estime qu'entre 1970 et 1980, quelque 15 000 000,00\$ ont été investis à ce chapitre par l'industrie.

Tableau 3

**Imprimerie sur papier et sur film plastique****Investissements consentis en assainissement de l'air de 1980 à 1990**

Incinérateurs thermiques	722 000,00\$
Incinérateurs catalytiques	400 000,00\$
Incinérateurs avec récupération d'énergie	1 150 000,00\$
Changement aux procédés	915 000,00\$
Électrofiltres	762 000,00\$
Biofiltre (ingénierie et appareils pilotes)	2 000 000,00\$

Remarque: Les coûts de changement pour utiliser les encres à base d'eau n'ont pas été évalués

Tableau 4

**Séchage au four de résines et autres****Investissements consentis en assainissement de l'air de 1980 à 1990**

I- Séchage et évaporation de solvants (adhésifs surtout)	
Incinérateur thermique	120 000,00\$
Charbon actif avec régénération	1 170 000,00\$
Électrofiltre	280 000,00\$
II- Émaillage de fils	
Incinérateurs catalytiques	72 000,00\$
III- Cuisson au four de matériaux de friction	
Incinérateurs thermiques	115 000,00\$
Incinérateurs avec échange de chaleur	60 000,00\$
IV- Émaillage de canettes métalliques	
Incinérateurs thermiques	220 000,00\$
Incinérateurs catalytiques	825 000,00\$
Électrofiltres	330 000,00\$
Incinération (régénérative)	660 000,00\$

Tableau 1

## Évolution de la réglementation antipollution de l'air à Montréal

12 mars 1872	Règlement 56 (Ville de Montréal)
13 février 1882	Règlement 130 "
4 février 1901	Règlement 206 "
3 février 1931	Règlement 1112 "
9 mars 1950	Règlement 1953 "
22 avril 1966	Règlement 3300 "
4 mars 1970	Règlement 4007 "
30 mars 1970	Règlement 9 (CUM)
12 novembre 1970	Règlement 20 "
7 février 1979	Règlement 44 "
25 août 1987	Règlement 90 "

Tableau 2

## Raffinage et pétrochimie

## Investissements consentis en assainissement de l'air de 1980 à 1990

I- Réservoirs de produits pétroliers volatils:	
Toits flottants	18 130 000,00\$*
Système de récupération	2 550 000,00\$
II- Torches	
Installation et modifications	30 250 000,00\$
Système de récupération des gaz	4 400 000,00\$
III- Oxydation du bitume	
Incinérateurs thermiques	530 000,00\$
Lavage des gaz	125 000,00\$
IV- Dégazage d'eau de contact direct de procédé	
Incinérateur (avec récupération d'énergie)	378 000,00\$
V- Effluent gazeux de procédé	
Tours d'absorption	1 075 000,00\$

\* On estime qu'entre 1970 et 1980, quelque 15 000 000,00\$ ont été investis à ce chapitre par l'industrie.

Tableau 3

**Imprimerie sur papier et sur film plastique****Investissements consentis en assainissement de l'air de 1980 à 1990**

Incinérateurs thermiques	722 000,00\$
Incinérateurs catalytiques	400 000,00\$
Incinérateurs avec récupération d'énergie	1 150 000,00\$
Changement aux procédés	915 000,00\$
Électrofiltres	762 000,00\$
Biofiltre (ingénierie et appareils pilotes)	2 000 000,00\$

Remarque: Les coûts de changement pour utiliser les encres à base d'eau n'ont pas été évalués

Tableau 4

**Séchage au four de résines et autres****Investissements consentis en assainissement de l'air de 1980 à 1990**

I- Séchage et évaporation de solvants (adhésifs surtout)	
Incinérateur thermique	120 000,00\$
Charbon actif avec régénération	1 170 000,00\$
Électrofiltre	280 000,00\$
II- Émaillage de fils	
Incinérateurs catalytiques	72 000,00\$
III- Cuisson au four de matériaux de friction	
Incinérateurs thermiques	115 000,00\$
Incinérateurs avec échange de chaleur	60 000,00\$
IV- Émaillage de canettes métalliques	
Incinérateurs thermiques	220 000,00\$
Incinérateurs catalytiques	825 000,00\$
Électrofiltres	330 000,00\$
Incinération (régénérative)	660 000,00\$

Tableau 5

## Finition de surfaces métalliques

Investissements consentis en assainissement de l'air de 1980 à 1990

I- Changement pour des systèmes d'application de peintures en poudre électrostatique	532 000,00\$
--	--------------

Remarque: Les coûts d'installation des nouvelles lignes de peinture en poudre ajoutées ou des nouveaux utilisateurs n'ont pas été évalués.

Tableau 6

## Torréfaction du café

Investissements consentis en assainissement de l'air de 1980 à 1990

Incinérateurs thermiques	200 000,00\$
Incinérateurs catalytiques	780 000,00\$
Charbon actif sans régénération	50 000,00\$

Tableau 7

## Friture

Investissements consentis en assainissement de l'air de 1980 à 1990

Condenseur (électrofiltration)	380 000,00\$
Incinérateur	310 000,00\$

Tableau 8

## Textile

Investissements consentis en assainissement de l'air de 1980 à 1990

I- Fours à tissus	
Condenseurs	50 000,00\$
Électrofiltres	50 000,00\$

Tableau 9

## Autres catégories d'activités

Investissements consentis en assainissement de l'air de 1980 à 1990

I- Nettoyage avec solvants	
Charbon actif avec régénération	73 000,00\$
Condenseurs	20 000,00\$
II- Incinération et séchage de boues	
Incinérateur (post-combustion)	561 000,00\$
III- Enfouissement sanitaire	
Récupération des gaz	23 225 000,00\$
IV- Saturation d'asphalte	
Système de filtration	120 000,00\$
Lit électrostatique	1 400 000,00\$
Incinérateur (régénératif)	600 000,00\$

Tableau 10

## Réduction des émissions atmosphériques des polluants de sources Industrielles

ACTIVITÉS ET NOMBRE D'USINES ENGAGÉES	POLLUANTS	ÉMISSIONS T/AN		RÉDUCTION EN %
		AVANT INTERV.	APRÈS INTERV.	
Raffineries de pétrole (3)	- Particules	3 760	220	94 %
	- Monoxyde de carbone	133 600	10	100 %
	- Oxydes de soufre	83 950	7 100	91 %
	- Oxydes d'azote	11 000	3 870	65 %
	- Composés organiques	66 280	10 330	84 %
Usine d'extraction de soufre (1)	- Oxydes de soufre	120 000	3 440	97 %
Usines de bardeaux d'asphalte (4)	- Composés organiques	580	190	67 %
Industrie type gypse (1)	- Particules	22 750	73	99,7 %
Bétonnières (11)	- Particules	13 470	250	98 %
Carrières (3)	- Particules	25 500	3 140	88 %
Cimenterie (1)	- Particules	42 200	445	99 %
Usines de béton bitumineux (8)	- Particules	18 300	220	99 %
Seconde fusion du plomb (7)	- Particules	194	2	99 %
	- Plomb	39	0,4	99 %
Industrie de la fonte et de l'acier (6)	- Particules	3 225	94	97 %

Tableau 10 (suite)

## Réduction des émissions atmosphériques des polluants de sources industrielles

Affinage du cuivre (1)	- Particules	270	27	90 %
	- Oxydes de soufre	2 310	936	59 %
	- Pb, As, Se	154	5	97 %
Usine de polyéthylène (1)	- Composés organiques	5 920	780	87 %
Fabrication de polymères et résines (1)	- Monoxyde de carbone	2 250	2 250	0 %
	- Composés organiques	310	310	0 %
Textiles (15)	- Composés organiques	302	142	53 %
Imprimeries sur papier et sur pellicules (25)	- Composés organiques	3 950	1 820	47 %
Fabrication de contenante et bouchons métalliques (6)	- Composés organiques	4 420	555	87 %
Séchage de résines (18)	- Composés organiques	3 435	385	89 %
Application de peintures, laques et vernis (80)	- Composés organiques	2 788	1 953	30 %
	- Particules	140	7	95 %
Atelier de débosselage et de peinture (300)	- Composés organiques	180	180	0 %
	- Particules	16	1	95 %
Manutention et transformation des céréales (12)	- Particules	28 865	289	99 %

Tableau 10 (suite)

## Réduction des émissions atmosphériques des polluants de sources industrielles

Torréfaction du café (11)	- Particules	40	0,4	99 %
	- Composés organiques	100	13	87 %
Fabrication de sabots de frein (5)	- Particules	4 300	1	99,9 %
	- Composés organiques	341	11	97 %
Nettoyage à sec (600)	- Perchloro-éthylène	17 400	1 042	94 %
Incinération des déchets municipaux (1)	- Particules	3 150	44	98,6 %
	- Oxydes de soufre	785	344	56 %
	- Oxydes d'azote	945	106	89 %
	- Composés organiques	472	206	56 %
	- Monoxyde de carbone	11 025	60	98 %
	- Acide chlorhydrique	1 500	1 018	32 %
Postes d'essence	- Composés organiques	3 820	2 879	25 %
Véhicules motorisés	- Plomb	1 460	37	97 %
	- Oxydes de soufre	2 684	1 640	39 %
	- Composés organiques	111 400	44 382	60 %
	- Monoxyde de carbone	843 100	370 260	56 %
	- Oxydes d'azote	33 160	35 430	-7 %
Chauffage	- Oxydes de soufre	74	13	82 %

Tableau 11

**Réservoirs de produits pétroliers**  
**Émissions de COV en fonction du diamètre et du nombre de remplissages**

Diamètre du réservoir en pieds		100	120	130	150	180
Nombre de remplissages par année	Capacité du réservoir (BBLs)	61 500	88 600	104 000	138 500	199 400
	Pertes par respiration (BBLs)	1180	1620	1860	2385	3270
	Pertes par remplissage (BBLs)					
15		1485	2155	2525	3395	4935
25		2475	3590	4210	5655	8230
40		3960	5740	6740	9050	13 165
	Pertes totales (BBLs)					
15		2665	3775	4325	5780	8205
25		3655	5210	6070	8040	11 500
40		5140	7360	8600	11 435	16 435

Tableau 12  
Imprimerie sur film

Installation de stations d'encre fermées :	1 000,00 \$/station environ (5 000,00 \$ par imprimante) en moyenne
Changements de rouleaux « Anilox » :	5 000,00 \$ par rouleau environ (20 000,00 \$ par imprimante)
Installation de « doctor blade » fermé :	15 000,00 \$/par station environ

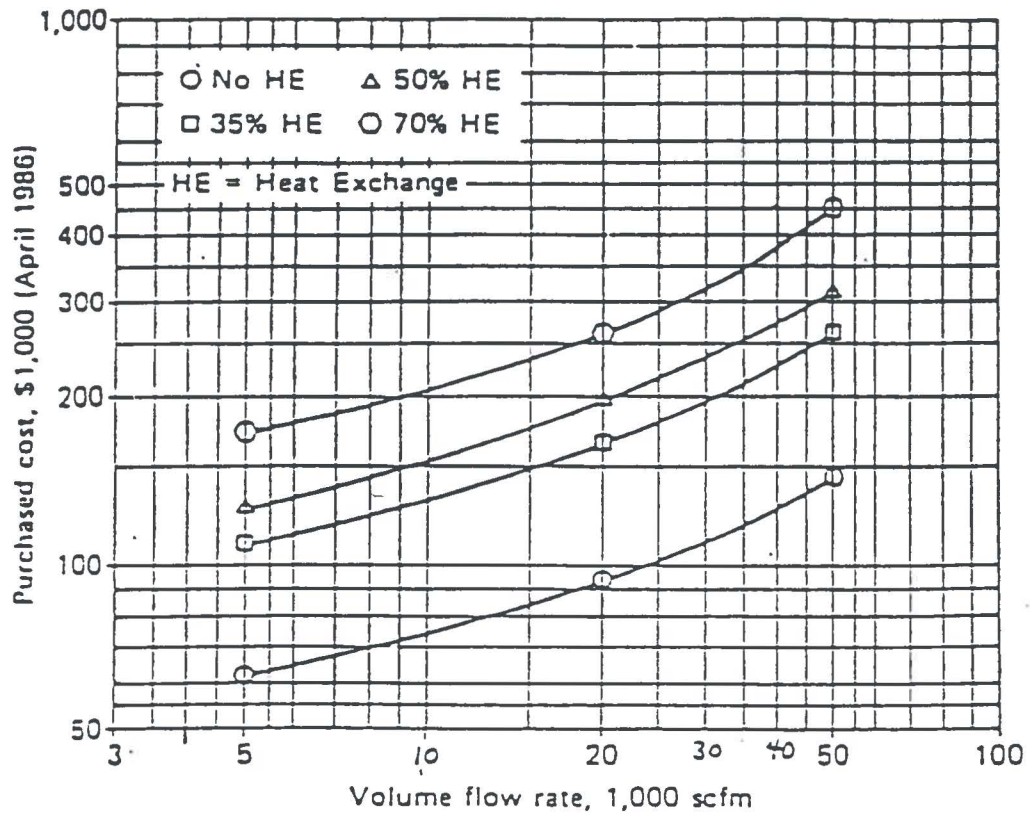
Tableau 13  
Industrie du meuble de bois et de métal  
Moyens proposés pour réduire les émissions de SOV à l'atmosphère

---

a) changement des peintures :	à base d'eau à haute teneur en solides à base de produits polymérisant aux rayons UV électrostatiques
b) augmentation des efficacités de transfert des peintures :	utilisation de robots utilisation de disques électrostatiques atomisation sans air atomisation sans air assistée à l'air atomisation H.V.L.P. (High Volume, low pressure) combinaison de ces derniers
c) changement de procédés :	élimination des solvants (procédé Unicarb)

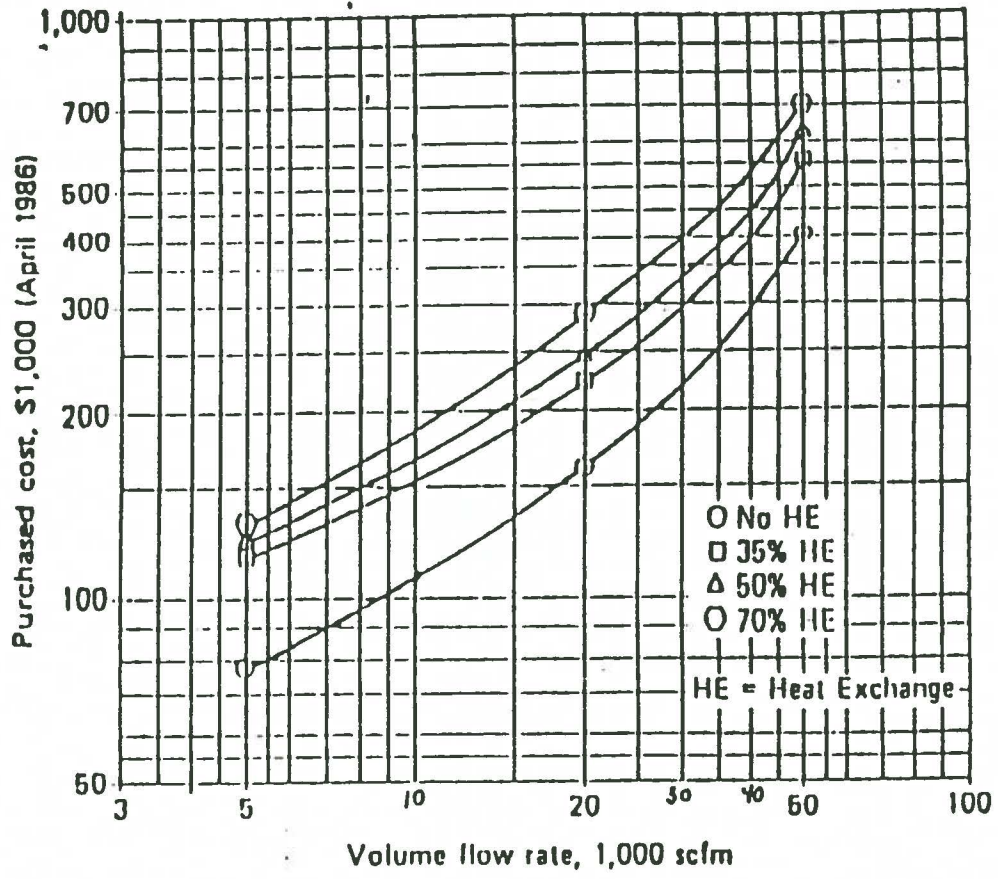
---

Figure 1  
 Thermal incinerator equipment cost estimates

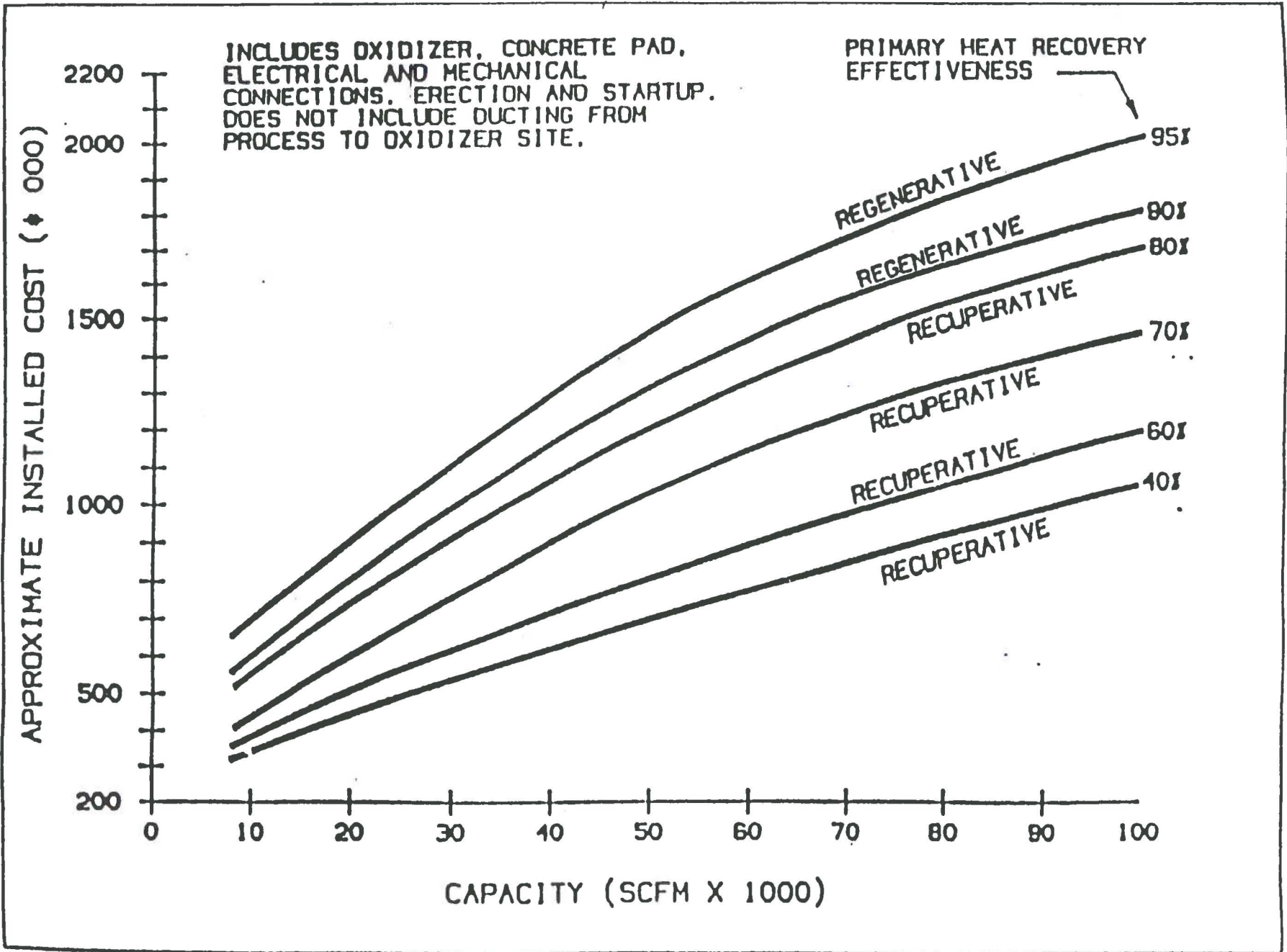


Source : Japca, février 1987, Volume 37, N° 2

Figure 2  
 Catalytic Incinerator equipment cost estimates <sup>4-8</sup>



Source : Japca, février 1987, Volume 37, N° 2



Conférence de M. Roy J. McIlwee, P.E. de la compagnie Smith Engineering  
 Présentée au congrès annuel de l'association des fabricants de meubles en 1990

# Impact des initiatives du plan de gestion du CCME en matière de réduction des NOx et des COV sur l'industrie canadienne du raffinage et de la distribution du pétrole

## Résumé

L'Institut canadien des produits pétroliers reconnaît qu'on doit adopter des mesures de contrôle pour réduire les niveaux d'ozone dans les régions canadiennes qui font problème. L'Institut appuie les mesures de contrôle qui peuvent être mises en oeuvre pendant la période estivale, période pendant laquelle on enregistre des excédents d'ozone. Cependant, de telles mesures doivent être efficaces d'un point de vue économique et doivent s'accompagner de progrès réels. Le texte présente une analyse sommaire concernant les retombées économiques qu'auront les initiatives du CCME pour les oxydes d'azote et les composés organiques volatils sur l'industrie du raffinage et de la distribution du pétrole. Cette analyse démontre qu'il y a des variations importantes en matière de rentabilité et d'efficacité.

## Abstract

*The Canadian Institute of Petroleum Products recognizes that control measures must be taken in order to reduce ozone levels in Canadian regions with an ozone problem. The Institute agrees with the control measures that can be taken during summer when ozone levels are high. However, these measures must be economically efficient and must show real progress. This paper presents a brief analysis of the economic impacts of CCME initiatives for NOx and COV on petroleum refining and distribution industry. It shows important variations in terms of benefits and efficiency.*

## 1. Introduction

L'industrie canadienne du raffinage et de la distribution du pétrole risque gros par suite de l'adoption du Plan de gestion pour les COV et les émissions de NOx du CCME. En effet, l'industrie produit 98 300 tonnes d'émissions de COV, soit environ 5,5 % de l'inventaire national de COV (Levelton, 1991). Le seul secteur des transports, le principal consommateur des produits de notre industrie, émet 745 000 tonnes de COV, soit 40 % de l'inventaire national de COV (CCME, 1990).

L'industrie a reconnu les efforts importants qu'on a dû déployer à l'échelle nationale pour en arriver au plan du CCME. L'industrie a participé de façon dynamique aux consultations nationales ainsi qu'aux travaux des groupes de travail mis sur pied pour élargir la base de renseignements sur laquelle s'appuie le plan. L'association représentant l'industrie, soit l'Institut canadien des produits pétroliers (ICPP), n'a pas tardé non plus à commenter le plan préliminaire, lorsque celui-ci a été dévoilé. La position de l'ICPP s'est appuyée sur les principes importants mis de l'avant par le Groupe de travail sur la répartition. C'est ce même groupe qui avait imposé les balises suivantes au plan : a) trouver des solutions canadiennes à des problèmes canadiens; b) trouver des solutions économiques qui résoudre les vrais problèmes; c) privilégier une approche étapiste et régionale.

L'industrie canadienne des produits pétroliers voit d'un bon oeil l'approche régionale retenue par le plan. On doit reconnaître qu'il n'existe au Canada que deux régions importantes où, pendant l'été, les concentrations d'ozone peuvent dépasser durant un certain nombre de jours les objectifs nationaux de qualité de l'air découlant du niveau acceptable de 82 ppm et où ces dépassements ne proviennent pas uniquement de l'ozone venant du sud. Ces deux régions sont évidemment la vallée inférieure du Fraser (VIF) et le corridor Windsor-Québec (CWQ). L'ICPP favorise donc l'adoption de mesures de contrôle visant à corriger le problème d'ozone dans ces deux régions pendant l'été.

Notre industrie est touchée directement par les initiatives de réduction des NOx et des COV. D'ailleurs, certaines d'entre elles visent les sources de transport qui pourraient avoir un impact considérable sur l'industrie du raffinage du pétrole. En effet, cette industrie pourrait se voir forcée de développer de nouvelles formules pour ses essences. Pour nous en convaincre, nous n'avons qu'à jeter un coup d'oeil sur ce qui se passe aux États-Unis où la nouvelle *Loi sur l'assainissement de l'air* impose des

changements radicaux aux formules de fabrication des essences. Ces initiatives sont les suivantes :

- N301 : limite d'émissions de NOx — véhicules/camions légers;
- N302 : limite d'émissions de NOx — véhicules lourds;
- N303 : limite d'émissions de NOx — moteur diesel de construction;
- V301 : limite d'émissions de COV — véhicules/camions légers.

## 2. Initiatives de réduction des NOx

Les initiatives de réduction des NOx affectant notre industrie sont les suivantes :

- N103 : efficacité énergétique dans l'industrie;
- N104 : vérification des bilans énergétiques par l'industrie;
- N306 : NRSN — chaudières industrielles;
- N603 : modernisation — chaudières industrielles existantes;
- N605 : modernisation — procédés de raffinage existants.

Il existe trois sortes d'initiatives de réduction des NOx : les initiatives visant l'efficacité énergétique; celles qui favorisent une réduction directe des émissions de NOx dans les chaudières et les brûleurs des raffineries; et, finalement, une diminution des NOx dans certains processus utilisés dans les raffineries. Le plus important de ces processus est sans doute le craquage catalytique.

### 2.1 Efficacité énergétique

Le raffinage du pétrole exige des quantités considérables d'énergie : on doit brûler environ 6 % de la matière première de la raffinerie pour produire l'énergie thermique nécessaire à la distillation du brut et aux différents procédés de raffinage, de conversion et de traitement qui doivent s'effectuer à des températures élevées.

L'industrie du raffinage du pétrole participe depuis 1972 au Programme canadien d'économie d'énergie industrielle (Canadian Industry Program for Energy Conservation — CIPEC). Dans le cadre de ce programme volontaire, les industries canadiennes ont enregistré leur rendement en matière de conservation d'énergie et en ont fait état publiquement. Ainsi, l'industrie du raffinage a pu démontrer qu'elle avait réalisé des progrès constants depuis le lancement du programme en 1972. La consommation d'énergie nette a subi une diminution de 7 % entre 1985 et 1989. Il ne s'agit là que d'une partie de la diminution de 32,6 % enregistrée pour la période allant de 1972 à 1989 (CIPEC, 1990). Les raffineries sont toujours à la recherche de processus plus efficaces. Cependant, il est de plus en plus difficile de réduire la consommation d'énergie par suite d'un accroissement constant de l'intensité du traitement. Cette intensité provient de l'élimination du plomb (maintenant terminée), de la désulfuration accrue des produits et d'autres modifications apportées à la composition des produits.

Pour l'industrie du raffinage, les occasions de conserver l'énergie sont maintenant une composante essentielle de ses pratiques de raffinage efficaces. L'industrie appuie l'initiative du CCME. Selon elle, on peut très bien promouvoir la conservation de l'énergie sans avoir recours au contrôle et à la coercition.

### 2.2 Réduction des NOx provenant des fours et des chaudières

Les raffineries de pétrole consomment plusieurs types de combustibles : du gaz de raffinerie, du gaz naturel, du fuel résiduel et du coke de pétrole. On peut parvenir à une réduction des émissions de NOx provenant de ces combustibles de la manière suivante :

- i) en changeant la géométrie de combustion, c'est-à-dire en utilisant des brûleurs à faible émanation de NOx, ou
- ii) en réduisant chimiquement les NOx qui se sont formés dans la flamme en ayant recours soit au processus de réduction catalytique sélective, soit au processus de réduction non catalytique sélective.

Une étude menée par la firme Padgett Process Services pour le compte de l'Institut a permis d'évaluer les exigences de la modernisation et ce qu'il en coûterait aux raffineries canadiennes pour se conformer aux limites de NOx proposées dans le plan du CCME (Padgett Process Services, 1990). La modernisation des raffineries de la Colombie-Britannique, de l'Ontario et du Québec (VIF et CWQ) coûterait 138 millions de dollars. Le rapport coût-efficacité varie beaucoup d'une région à l'autre. Ainsi, il s'établit à 0,21 kg/j de NOx éliminé par 1 000 \$ d'équipement installé en Ontario et à 0,11 kg/j de NOx éliminé par 1 000 \$ en Colombie-Britannique.

Pour respecter les lignes directrices, les quelque 500 fours et chaudières des raffineries canadiennes devraient avoir recours aux techniques suivantes :

— brûleurs à faible émanation de NOx	13,7 %
— passage du tirage naturel au tirage forcé	5,6 %
— recirculation du gaz de cameau	8,1 %
— réduction non catalytique sélective	72,6 %

Le plan du CCME estime que l'initiative N603 s'accompagnera d'un coût de réduction de 1 000 \$ la tonne. Compte tenu d'un rendement du capital investi fixé à 20 %, les données de l'Institut mentionnées ci-dessus en arrivent à des coûts annuels beaucoup plus élevés, des coûts variant entre 2 600 \$ et 5 000 \$ la tonne.

### 2.3 Modernisation des procédés de raffinerie existants

Dans le plan du CCME, l'initiative N605 soutient qu'il n'en coûtera que 3 000 \$/t pour éliminer 7 200 tonnes de NOx par année des procédés de raffineries, en particulier du craquage catalytique. L'Institut a commandé une étude à la firme Padgett Process Services pour évaluer la faisabilité d'un tel programme de réduction et pour

estimer les coûts. L'étude doit être terminée à la mi-décembre 1991.

Toutefois, la faisabilité et les coûts rattachés à cette initiative préoccupent déjà l'industrie du raffinage du pétrole. En raison de l'élimination du coke par combustion des catalyseurs, les émissions de NOx devraient provenir des sources mêmes des procédés. Or, il n'existe présentement aucune technique éprouvée de contrôle dans l'ensemble de l'industrie. La mise en oeuvre d'une telle initiative représenterait donc un défi technique de taille pour l'industrie canadienne.

### 3. Les initiatives de réduction des COV

Les initiatives de réduction des COV susceptibles d'affecter notre industrie sont :

- V302 : NRSN — Réservoirs de stockage des liquides volatils;
- V602 : limite de volatilité de l'essence — 62 kPa;
- V603 : équilibre vapeurs — dépôts d'essence anciens et nouveaux;
- V604 : équilibre vapeurs — stations-service nouvelles et anciennes;
- V605 : plein d'essence — équilibre vapeurs (phase II);
- V606 : modernisation — réservoirs de stockage des liquides volatils;
- V607 : contrôle des émissions fugitives — raffineries.

#### 3.1 Limite de volatilité de l'essence — 62 kPa (9 lb/po<sup>2</sup>)

L'Institut a appuyé l'objectif du CCME de limiter la TVR de l'essence d'été à 10,5 lb/po<sup>2</sup>. Cet objectif avait été énoncé en octobre 1989. En fait, depuis l'été de 1990, les membres de l'ICPP ont volontairement restreint la TVR à cette limite dans les provinces où la TVR ne fait pas l'objet de réglementation. Toutefois, l'Institut est d'avis qu'il reste à démontrer l'efficacité d'une limite de la TVR à 9 lb/po<sup>2</sup>, et que cette nouvelle limite ne devrait être mise en vigueur que dans les régions où elle aura un effet réel. À cet égard, l'Institut s'est dit d'accord avec le gouvernement de la Colombie-Britannique, lorsque ce dernier l'a consulté sur la nouvelle réglementation limitant la TVR de l'essence d'été à 9 lb/po<sup>2</sup> à compter de 1992, et ce, dans la seule région de la vallée inférieure du Fraser où cette mesure aura des conséquences importantes.

D'après une étude menée pour le compte de l'Institut (RTM Engineering, 1989), les raffineurs canadiens paieront environ 21 cents de plus le litre pour faire passer la TVR de l'essence d'été des niveaux d'avant 1990, soit 11,5 lb/po<sup>2</sup>, au niveau de 10,5 lb/po<sup>2</sup>. Le montant total serait donc d'environ 26 millions de dollars par année. D'autre part, si on faisait passer la TVR d'été de 11,5 à 9 lb/po<sup>2</sup>, les coûts annuels de raffinage au Canada subiraient alors une hausse d'environ 81 millions de dollars, soit environ 0,5 cent de plus le litre. L'augmentation dans les seules provinces de la Colombie-Britannique, de l'Ontario, du Québec et des Maritimes serait d'environ 65 millions de dollars.

Il est difficile d'évaluer la réduction des émissions de COV provenant d'une volatilité réduite de l'essence. Les émissions de vapeurs de toutes les sources d'émissions suivantes diminueront aussi en conséquence : a) les pertes par respiration des réservoirs de stockage; b) les opérations de transfert de l'essence; c) le ravitaillement des véhicules et d) les pertes courantes des véhicules. L'ICPP n'a pas évalué les réductions qui pourraient en découler. Selon le plan du CCME, la réduction sera de 49 000 tonnes par année en l'an 2005, dans la VIF et le CWQ seulement, et il en coûtera 1 000 \$ par année pour éliminer une tonne de COV. L'évaluation des coûts de l'ICPP correspond en gros à l'évaluation des coûts apparaissant dans le plan du CCME.

#### 3.2 Émissions de COV du réseau de distribution de l'essence

Selon l'inventaire de 1988 des émissions de l'industrie du raffinage et de la commercialisation des produits pétroliers, les stations-service, les terminaux et les installations de stockage en vrac produisent environ la moitié des émissions de COV de l'ensemble de l'industrie, alors que les raffineries sont responsables de l'autre moitié. Les émissions provenant des réseaux de distribution résultent principalement de la manipulation de l'essence.

Trois opérations précises de manipulation de l'essence s'accompagnent d'émissions :

- i) l'entreposage : les émissions proviennent des concentrations élevées de vapeurs d'essence dans l'espace situé au-dessus du liquide. Bien que la plupart des réservoirs importants soient munis de systèmes de confinement et de récupération, les petits réservoirs ne le sont pas. Ils sont responsables du plus grand volume des pertes;
- ii) le chargement : le transfert d'essence s'accompagne toujours d'un déplacement d'air et de vapeurs dans les véhicules chargés. À défaut de récupérer ces vapeurs, celles-ci s'échappent dans l'atmosphère. Le réseau de distribution, de la raffinerie au véhicule, comporte un certain nombre de contenants intermédiaires de stockage et de transfert, soit le réservoir du terminal ou de l'installation de stockage en vrac, le camion-citerne et le réservoir de la station-service. Chacun de ces contenants peut laisser échapper des vapeurs dans l'atmosphère;
- iii) le ravitaillement : le dernier transfert d'essence, soit celui entre le réservoir de la station-service et le véhicule, s'accompagne d'un déplacement de vapeurs d'essence du réservoir du véhicule. À défaut de récupérer ces vapeurs, celles-ci s'échapperont aussi dans l'atmosphère.

#### 3.3 Réservoirs de stockage des liquides volatils

Le contrôle des réservoirs de liquides volatils a constitué l'une des premières mesures prises par l'industrie du raffinage et de la distribution des produits pétroliers. Tous les réservoirs des grandes raffineries et des terminaux

contenant de l'essence et d'autres produits volatils ou intermédiaires, sont des réservoirs à toit flottant. L'inventaire des émissions de COV des raffineries, des terminaux et des réservoirs de stockage en vrac a permis d'apprendre que la plus grande partie des émissions provient des petits réservoirs, là où les coûts d'installation de mécanismes de contrôle seraient prohibitifs.

L'initiative V-606 exige qu'on modernise tous les réservoirs de liquides volatils des régions à ozone élevé en y installant des mécanismes de contrôle des vapeurs. Les terminaux et les installations de stockage en vrac des compagnies membres de l'Institut et de leurs agents comptent plus de 2 000 réservoirs. Les trois quarts de ces réservoirs sont à toit fixe. Munir ceux-ci de mécanismes de contrôle des vapeurs entraînerait des coûts énormes.

L'Institut est en faveur du contrôle des vapeurs qui s'échappent des réservoirs, mais l'industrie doit être invitée à participer à la préparation des lignes directrices si on veut que celles-ci soient efficaces, pratiques, réalisables et économiques.

### 3.3.1 Phase I

#### *La récupération des vapeurs aux stations-service et aux dépôts d'essence*

L'équilibrage et la récupération ou le retour en boucle des vapeurs sont des moyens très efficaces de confiner et de récupérer les vapeurs de combustibles durant les opérations de transfert et de chargement. Pendant le transfert, les vapeurs déplacées du réservoir recevant l'essence sont tout simplement retournées au réservoir chargeant l'essence. Il s'y trouve déjà un volume équivalent au liquide qui a été déplacé dans le réservoir recevant l'essence. La figure 1 montre bien comment fonctionne le système (CCME, 1991).

Le retour en boucle des vapeurs peut être un moyen de contrôle efficace. En effet, son efficacité moyenne se situe entre 80 % et 85 %. Cependant, l'efficacité du système dépend en grande partie de la qualité de l'entretien et du bon fonctionnement de tous les éléments du système. Il va sans dire que l'élément le plus crucial est sans doute le camion qui livre le pétrole brut. Si le chauffeur du camion ne branche pas les raccords de vapeur pendant le chargement et le déchargement, il n'y a ni retour en boucle des vapeurs ni récupération. Par conséquent, l'efficacité est alors nulle. De plus, si le camion ne fait pas l'objet d'un entretien adéquat, on enregistrera des pertes, pendant que s'effectue le retour en boucle. L'efficacité s'en trouvera donc considérablement réduite.

Au mois de mai 1991, les quatre membres de l'Institut qui exploitent des terminaux de distribution d'essence dans la grande région de Vancouver ont lancé un programme de phase I. Ce programme comporte l'installation d'unités de récupération des vapeurs dans quatre terminaux, dans quelque 550 stations-service et sur environ 70 camions-citernes (Mohr, 1991). À ce jour, le programme a coûté entre 10 et 15 millions de dollars. D'après les premières estimations, on réussira à retenir environ 40 % des quelque 6 500 tonnes d'émissions de COV provenant de la commercialisation de l'essence.

L'Institut, le district régional de l'agglomération de Vancouver, le ministère de l'Environnement de la Colombie-Britannique et Environnement Canada ont entrepris une analyse coûts-avantages du projet de Vancouver. Cette étude permettra d'identifier toutes les sources d'émissions dans la région, de mettre à l'épreuve l'efficacité des éléments du système, de comparer les niveaux d'émissions aux niveaux enregistrés avant le lancement du programme, et, finalement, de calculer le coût global du programme. Entreprise en 1990, l'étude doit être terminée en 1992.

Les premières données sur le projet de Vancouver nous indiquent que le rapport capital/tonne de la phase I serait de l'ordre de 4 000 \$ à 6 000 \$ par année pour chaque tonne de COV éliminée. Ces chiffres correspondent à l'estimation de CONCAWE, soit 1 300 \$ à 9 000 \$ par tonne de vapeurs d'essence récupérée (CONCAWE 1990). Cette estimation varie grandement en fonction de l'importance du réseau de distribution qui peut aller de 50 000 tonnes à 1 million de tonnes par année.

Pour sa part, le Plan de gestion pour les NOx et le COV estime qu'il en coûtera entre 100 \$ et 200 \$ pour chaque tonne de COV enlevée. Pendant la phase I, les frais d'exploitation annuels de l'équipement sont minimes. La dépense la plus importante est sans doute celle qui est liée aux frais d'exploitation de l'unité de récupération. Ces frais seront considérables si l'on doit procéder au remplacement du charbon actif. On peut évidemment tirer profit de la faible quantité de produit récupérée par les systèmes de phase I. Selon CONCAWE, le produit récupéré représente au total 0,170 % du débit. Pour un terminal moyen manipulant 500 millions de litres par année, la valeur du produit récupéré s'établit donc à environ 170 000 \$ par année, ce qui équivaut aux frais d'exploitation. Cependant, on ne doit pas négliger les frais intangibles qui découlent, entre autres, des délais supplémentaires de chargement et de déchargement imposés aux camions-citernes.

Compte tenu d'un rendement du capital investi de 20 %, ce coût d'installation de 4 000 \$ à 6 000 \$ représente donc le coût annuel le plus important, soit de 800 \$ à 1 200 \$ pour chaque tonne de COV éliminée.

L'industrie a pris les devants en lançant un programme de phase I en Colombie-Britannique. Elle lancera sous peu un programme semblable à Toronto. Ces gestes ont été posés avant même d'être exigés par une réglementation. L'industrie voit dans la phase I une façon pratique et rentable de contrôler les émissions de COV.

### 3.3.2 Phase II

#### *Le retour en boucle des vapeurs durant le ravitaillement des véhicules*

Il existe deux méthodes pour récupérer les vapeurs d'essence provenant des véhicules lors du ravitaillement : le retour en boucle des vapeurs de phase II ou l'installation de pots d'absorption sur les véhicules ravitaillés. Dans le cas de la phase II, les vapeurs déplacées du réservoir d'essence de l'automobile ou autre véhicule ravitaillé sont retournées au réservoir souterrain de la station-s

grâce à des pistolets de remplissage munis de manchons, et à un boyau coaxial ou à deux points. Dans le cas des pots d'absorption installés sur les véhicules, les vapeurs provenant du réservoir d'essence du véhicule seraient acheminées vers un pot contenant du charbon actif qui les absorberait. Les vapeurs d'essence ainsi récupérées seraient ensuite purgées sous l'effet de l'air puis introduites dans le moteur en marche.

Les automobiles actuelles sont déjà dotées d'un petit pot qui récupère les pertes par respiration du véhicule. Pour absorber également les vapeurs de ravitaillement, ce pot devrait avoir une capacité agrandie de 4 à 5 litres.

D'autre part, installer des systèmes de phase II dans les stations-service est une entreprise particulièrement complexe. En plus d'installer des pistolets de remplissage spéciaux, des boyaux coaxiaux et des soupapes ou des pompes à vide, on doit mettre en place un tube souterrain pour récupérer les vapeurs. Ce tube doit partir des îlots de service pour se rendre jusqu'aux réservoirs souterrains.

Selon les compagnies membres de l'Institut, il en coûterait entre 10 000 \$ et 15 000 \$ pour doter les nouvelles stations-service de pistolets et boyaux coaxiaux de phase II et pour installer la tuyauterie requise. Dans le cas des stations-service existantes, les coûts seraient encore plus élevés. En effet, il faudrait enlever le tablier actuel et creuser une tranchée avant de pouvoir installer la nouvelle tuyauterie. C'est cette dernière qui reliera les îlots de services aux réservoirs souterrains et à travers laquelle passeront les vapeurs. Ce sont ces frais de creusement et de modernisation qui feront varier le coût total par station entre 20 000 \$ et 50 000 \$.

À l'heure actuelle, on compte environ 3 000 importants points de vente de plus d'un million de litres par année dans la VIF et dans le CWQ. L'investissement de l'industrie serait donc de l'ordre de 60 à 150 millions de dollars. Les frais d'entretien annuels seraient d'environ 1 000 \$ par station.

L'efficacité des systèmes de phase II dépend en grande partie d'une bonne utilisation du système. Les expériences menées aux États-Unis nous indiquent que l'efficacité de ces systèmes ne dépasse guère 60 %. Si le produit récupéré représentait 0,1 % du débit (CONCAWE, 1990), on réussirait à récupérer environ 1,1 tonne par année d'une station-service vendant 1,5 million de litres. Pour ce qui est de la rentabilité, le coût en installation est entre 18 000 \$ et 45 000 \$ pour éliminer une tonne de COV par an. La rentabilité de la phase II est donc de 5 à 8 fois inférieure à celle de la phase I.

Pour l'Institut, l'installation de pots d'absorption à plus grande capacité constitue un moyen beaucoup plus économique et efficace de contrôler les pertes de ravitaillement. L'efficacité d'un pot d'absorption peut atteindre près de 100 %. Aussi, cette méthode est à l'abri des coups que doivent encaisser les systèmes de phase II, des coups comme les rigueurs du climat, l'entretien insuffisant, les abus à l'usage, etc. Et aussi, en récupérant ainsi le produit, on augmente l'essence disponible pour l'automobiliste dans une proportion de 0,17 % (CONCAWE, 1990).

Non seulement un système installé sur le véhicule retient-il les pertes de ravitaillement, mais il capture aussi les pertes courantes qui sont souvent de 2 à 10 fois plus importantes, comme on peut le voir dans la figure 2 (tirée de MVMA Newsletter, 1989). S'il en coûtait environ 25 \$, ou même 100 \$ au pire, pour installer un plus grand pot sur les 1,5 million de véhicules neufs vendus au Canada chaque année, la société canadienne aurait à déboursier un total global comparable à ce qu'il en coûterait pour installer l'équipement de phase II dans la VIF et dans le CWQ. Le pot d'absorption est une solution plus efficace parce qu'il réussit à contrôler à la fois les pertes de ravitaillement et les pertes courantes. On doit aussi souligner que les niveaux les plus élevés des pertes courantes sont enregistrés, lorsque les températures ambiantes sont élevées, soit les jours où les niveaux d'ozone sont aussi les plus élevés.

L'Institut est d'avis que la phase II est une mesure de contrôle peu efficace d'un point de vue économique. Les pots d'absorption améliorés, eux, constituent une mesure beaucoup plus efficace. Une fois installés, ils rendraient superflus les systèmes de phase II. Vous n'êtes pas sans savoir que le débat sur les pots d'absorption se poursuit présentement aux États-Unis. Nous croyons que le Canada devrait attendre la fin de ce débat chez nos voisins du Sud avant de se lancer dans un programme de phase II sur son propre territoire.

#### **4. Le contrôle des émissions fugitives d'hydrocarbures des raffineries**

L'industrie du raffinage du pétrole a déjà reconnu que les programmes de contrôle des émissions fugitives d'hydrocarbures constituent un moyen économique de réduire les émissions. L'Institut a pris les devants dans ce domaine en identifiant clairement les différents éléments de tels programmes de contrôle et en évaluant l'impact de ces programmes sur l'industrie canadienne du raffinage. Il a parrainé un colloque sur ce sujet à Toronto, en mars 1991, pour renseigner tous les intervenants sur les incidences de tels programmes.

L'industrie est d'avis que ces programmes peuvent contribuer à réduire les émissions de COV. Pour y parvenir, ces programmes doivent s'attaquer aux vraies sources des émissions de COV et proposer des solutions raisonnables, des solutions qui tirent le maximum des efforts déployés pour réduire les émissions, tout en limitant au minimum les rapports inutiles et les autres fardeaux improductifs.

Les programmes de contrôle des émissions fugitives, appelés plus justement programmes de détection et de réparation des fuites, coûtent entre 0,2 et 1,5 million de dollars par année (ENSR, 1991). Ce coût est fonction de la fréquence d'inspection et de réparation (à chaque mois, à chaque année ou pour toute autre période intermédiaire) et de l'importance de l'analyse et de l'établissement de rapports. Ces coûts s'appliquent aux raffineries traitant 100 000 barils par jour et où l'on retrouve en moyenne 50 000 sources possibles d'émissions fugitives.

L'Institut est en faveur des programmes de contrôle des émissions fugitives pour les raffineries canadiennes. La contribution de l'industrie doit être mise à profit pour préparer le code de pratique proposé. Pour être efficace et facile à appliquer, ce code de pratique doit être axé sur les objectifs et non sur les procédures.

## 5. Conclusion

L'Institut reconnaît qu'on doit adopter des mesures de contrôle pour réduire les niveaux d'ozone dans les régions canadiennes qui font problème, soit la vallée inférieure du Fraser et le corridor Windsor-Québec. L'Institut appuie les mesures de contrôle visant ces deux régions et qui peuvent être mises en oeuvre pendant la période estivale, période pendant laquelle on enregistre des excédents d'ozone. Cependant, de telles mesures doivent être efficaces d'un point de vue économique et doivent s'accompagner de progrès réels.

La mise en oeuvre de la phase I à Vancouver et à Toronto, avant même que la réglementation ne l'exige, confirme que l'industrie est disposée à endosser les mesures qu'elle juge efficaces et rentables. Le colloque de mars 1991, à Toronto, est un autre exemple du rôle de chef de file que l'industrie veut jouer. À cette occasion, l'industrie a réuni à une même table des représentants de l'industrie et des gouvernements pour discuter des émissions fugitives dans les raffineries canadiennes et pour jeter les bases de programmes de contrôle en cette matière.

L'analyse sommaire présentée, concernant les retombées économiques qu'auront les initiatives du CCME pour les NOx et les COV sur l'industrie du raffinage et de la distribution du pétrole, démontre bien qu'il y a des variations importantes en matière d'efficacité et de rentabilité. On trouvera au tableau 1 le résumé des coûts énumérés. L'industrie recommande donc aux différents paliers de gouvernement d'étudier attentivement la rentabilité et les progrès qu'on peut réaliser avant d'adopter quelque mesure que ce soit. On doit également éviter de retenir des mesures superflues. Souvenons-nous que certaines mesures de réduction, telle que la phase II, les pots d'absorption et la réduction de la TVR dans l'essence, peuvent se recouper. En adoptant des mesures superflues, on diminue du même coup la rentabilité de chacune des mesures.

Au Canada, l'industrie pétrolière d'aval doit investir de façon importante dans plusieurs projets touchant l'environnement. Certains de ces investissements atteignent des millions de dollars comme le souligne le tableau 2. L'industrie doit donc scruter à la loupe le rendement du capital investi, autant en ce qui concerne la rentabilité que les bienfaits pour l'environnement.

L'Institut continuera de mettre au point, avec les gouvernements et les autres intervenants, des instruments efficaces qui nous permettront de réduire les émissions de NOx et de COV et d'atteindre les niveaux cibles. L'Institut canadien des produits pétroliers s'engage à offrir son expertise et ses ressources aux groupes de travail du CCME, comme il l'a fait dans le passé, pour établir et

maintenir un inventaire permanent, pour en arriver à de solides évaluations scientifiques et techniques, ainsi qu'à des codes de pratique et à des lignes directrices qui seront applicables.

## 6. Références

- CCME, 1990 : *Le Conseil canadien des ministres de l'Environnement, « Plan de gestion pour les oxydes d'azote (NOx) et les composés organiques volatils (COV) — Phase I », novembre 1990.*
- CCME, 1991 : *Le Conseil canadien des ministres de l'Environnement, « Code de recommandations techniques pour la protection de l'environnement applicable à la récupération des vapeurs dans les réseaux de distribution d'essence », mars 1991.*
- CIPEC, 1990 : *Canadian Industry Program for Energy Conservation, 1990, Annual Report — 1989, October 1990.*
- CONCAWE, 1990 : *VOC Emissions from Gasoline Distribution and Service Stations in Western Europe — Control Technology and Cost-Effectiveness, Préparé pour CONCAWE Air Quality Management Group's Special Task Force on VOC Emissions Control and Cost-Effectiveness (AQ/STF-36), mars 1990.*
- ENSR, 1991 : *Fugitive hydrocarbon emissions discussion paper. Rapport préparé pour l'Institut canadien des produits pétroliers, Rapport CPPI 91-5, février 1991.*
- Levelton, B.H. & Associates and RTM Engineering Ltd., 1991 : *Atmospheric emissions from canadian petroleum refineries and the associated gasoline distribution system for 1988. Rapport préparé pour l'Institut canadien des produits pétroliers, Rapport CPPI 91-7, février 1991.*
- Mohr, S., 1991 : *Stage I Vapour Recovery Pilot Project in the Vancouver Lower Mainland. Présenté au 84<sup>e</sup> congrès annuel du Air and Waste Management Association, Vancouver, juin 1991.*
- MVMA, 1989 : *MVMA Newsletter. JAPCA, 39, 6, 862.*
- Padgett Process Services Ltd., 1990 : *A Study to Assess the Available Technology and Associated Costs of Reducing NOx Emissions from the Canadian Petroleum Refining Industry. Rapport préparé pour l'Institut canadien des produits pétroliers, Rapport CPPI 91-1, novembre 1990.*
- RTM Engineering Ltd., 1989 : *Canadian Refinery RVP Phasedown Impact Survey. Rapport préparé pour l'Institut canadien des produits pétroliers, Rapport PACE/CPPI 89-7, novembre 1989.*

Roger J. Lafleur  
coordonnateur de l'environnement  
Institut canadien des produits pétroliers

Texte présenté au Colloque sur les précipitations acides et sur la pollution par l'ozone (smog), Montréal, 4-5 novembre 1991.

Tableau 1  
Rentabilité des initiatives

Initiative	Coût total pour l'industrie canadienne	RENTABILITÉ (\$ /tonne/année de NOx/COV éliminés)	
		Évaluations de l'ICPP	Évaluations du CCME
Réduction des NOx des fours	138 000 000 \$ (dans la VIF et le CWQ seulement)	2 000 \$ à 5 000 \$	1 000 \$
Réduction des NOx des procédés	?	réalisable ?	3 000 \$
Réservoirs de stockage — liquides volatils	?	?	400 \$
Volatilité de l'essence — limites d'été	65 000 000 \$ (coût annuel)	environ 1 000 \$, mais peut être superflu si autres mesures adoptées	1 000 \$
Phase I	100 000 000 \$ (installation)	800 \$ à 1 200 \$	200 \$
Phase II	150 000 000 \$ (installation)	4 500 \$ à 10 000 \$	3 000 \$
Émissions fugitives des raffineries	15 000 000 \$ (coût annuel)	environ 500 \$	400 \$
Pots d'absorption installés sur les véhicules	38-150 000 000 \$ (coût annuel)	?	pas envisagé

Tableau 2  
Coûts environnementaux auxquels l'industrie d'aval pourrait avoir à faire face

Programme	Dépenses de Coût en capital	Dépenses de fonctionnement
Désulfuration du carburant diesel	970 000 000 \$	115 000 000 \$
Élimination du benzène et des aromatiques de l'essence	700 000 000 \$	?
Récupération des vapeurs de phase I	100 000 000 \$	?
Récupération des vapeurs de phase II	150 000 000 \$	45 000 000 \$
Remplacement des réservoirs de stockage souterrains	?	?
Réduction de la TVR à 9 lb/pc pendant l'été	?	65 000 000 \$
Élimination du MMT de l'essence	?	75 000 000 \$
Capacité d'intervention en cas de déversements en milieu marin	20 000 000 \$	20 000 000 \$

Figure 1  
Gasoline distribution network with vapour control systems (VCS)

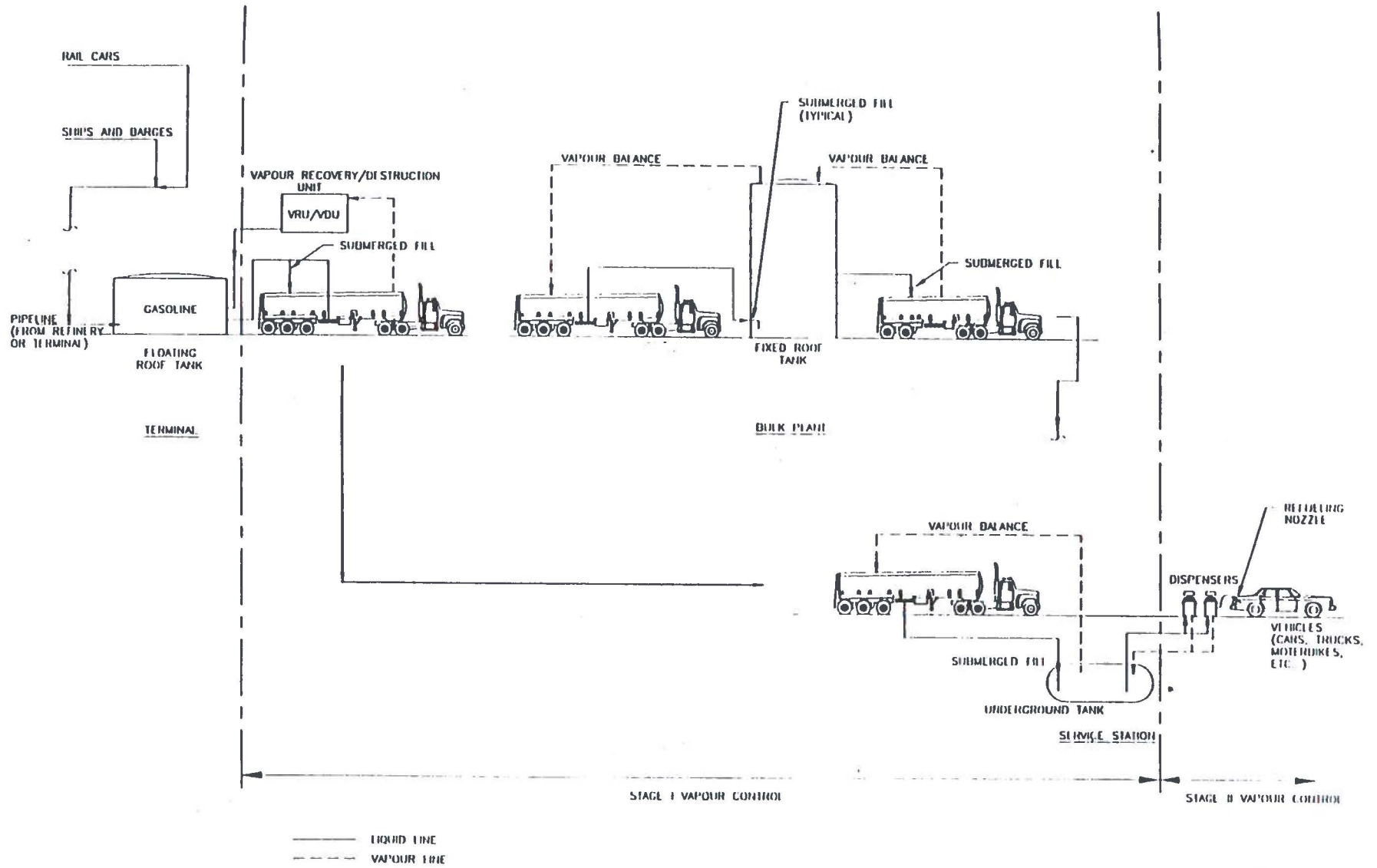
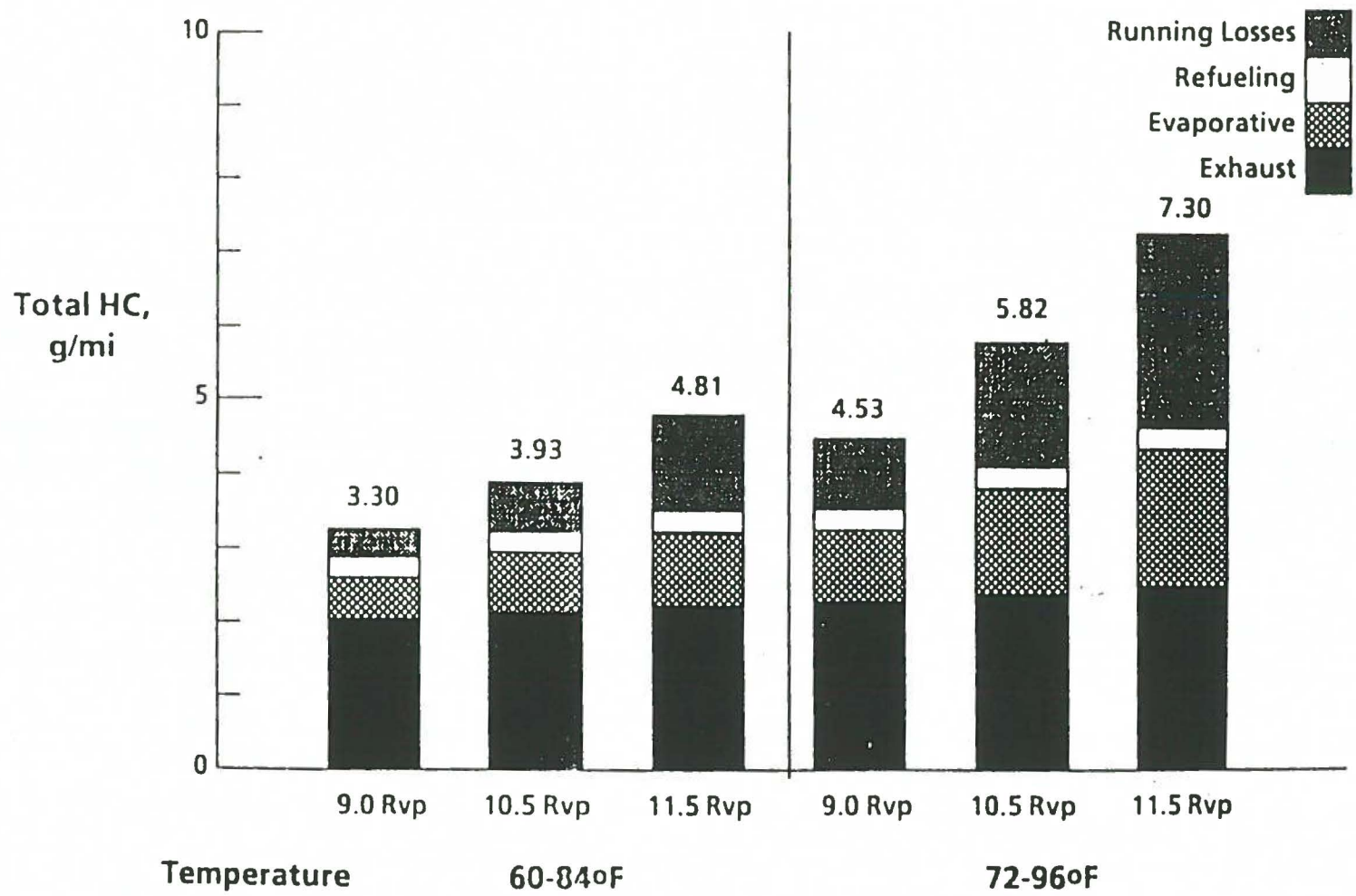


Figure 2  
**Passenger Car HC Emissions**  
 EPA MOBILE 4 Projections for 1989



# Participation d'Hydro-Québec au programme de gestion du conseil canadien des ministres de l'environnement (CCME) des émissions d'oxydes d'azote

## Résumé

Hydro-Québec exploite plusieurs centrales thermiques dont des centrales diesel et à turbine à gaz qui sont des sources d'anhydride sulfureux et d'oxydes d'azote. Hydro-Québec intègre maintenant dans son plan d'équipement les préoccupations environnementales qui visent à réduire à un minimum les émissions des contaminants atmosphériques. Dans ce texte, on discute des activités réalisées à ce sujet par Hydro-Québec.

## Abstract

*Hydro-Québec operates several fossil fueled power plants and gas turbines which emit sulfur dioxide and nitrogen oxides. In its equipment planification program, Hydro-Québec now considers environmental concerns in order to reduce pollutant emissions to a minimum. This paper discusses efforts by Hydro-Québec in this area.*

## 1. Introduction

Bien que plus de 98 % de la production d'électricité soit assurée par des centrales hydroélectriques, Hydro-Québec exploite plusieurs centrales thermiques, sans compter la centrale nucléaire de Gentilly 2. Les équipements thermiques d'Hydro-Québec comprennent une vingtaine de petites centrales diesel, la nouvelle centrale diesel des Îles-de-la-Madeleine d'une puissance de 60 MWe, deux centrales à turbines à gaz (TAG) à cycle simple, type aviation (La Cité et Cadillac), d'une puissance totale de 440 MWe, ainsi que la centrale thermique conventionnelle de Tracy, utilisant de l'huile lourde comme combustible, dont les quatre groupes totalisent 600 MWe. De plus, afin de répondre à la demande accrue d'électricité de pointe, Hydro-Québec, entreprend actuellement la construction d'une nouvelle centrale à turbines à gaz de 350 MWe, la centrale de Bécancour (HQ, 1991), qui sera installée sur le site de la centrale nucléaire de Gentilly 2. Cette centrale TAG à cycle simple, type industriel, utilisera de l'huile légère comme combustible et servira également pour alimenter les services auxiliaires de la centrale nucléaire en cas de panne de réseau.

L'une des principales préoccupations environnementales associées à l'exploitation de centrales thermiques utilisant des combustibles fossiles, est l'émission significative de polluants atmosphériques. Pour les équipements thermiques énumérés ci-devant, il s'agit surtout d'anhydride sulfureux ( $\text{SO}_2$ ), d'oxydes d'azote ( $\text{NO}_x = \text{NO} + \text{NO}_2$ ) et de particules d'oxydes de métaux et de carbone contenant des traces d'hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP).

Étant donné la faible hydraulité que nous connaissons au Québec depuis les sept dernières années et la demande accrue d'électricité de pointe, Hydro-Québec a dû produire plus d'électricité thermique d'origine fossile au cours des dernières années que par le passé. Si la faible hydraulité persistait encore pendant quelques années, il n'est pas invraisemblable que ce phénomène persiste, voire augmente en importance.

Tenant compte de cette situation ainsi que des politiques gouvernementales en matière de réduction de la pollution atmosphérique, notamment en ce qui concerne les polluants précurseurs des dépôts acides ( $\text{SO}_2$  et  $\text{NO}_x$ ) et ceux responsables de la formation de l'ozone troposphérique ( $\text{O}_3$ ) sous l'action du rayonnement solaire ( $\text{NO}_x$  et COV), Hydro-Québec intègre maintenant systématiquement dans son plan d'équipement thermique les préoccupations environnementales qui visent à réduire à un

minimum les émissions atmosphériques des contaminants mentionnés précédemment.

## 2. Activités réalisées par Hydro-Québec

Parmi les activités concrètes réalisées à ce chapitre par Hydro-Québec au cours des dix dernières années, on peut mentionner les suivantes : 1) une meilleure connaissance des sources de pollution suite à la caractérisation précise des émissions atmosphériques (échantillonnages en cheminées) et la mesure des niveaux ambiants de pollution atmosphérique dans la zone d'impact principale des sources concernées (réseaux de surveillance de qualité d'air ambiant); 2) les mesures d'atténuation sur les anciens équipements thermiques visant une meilleure dispersion atmosphérique des polluants (centrale Tracy et ancienne centrale diesel des Îles-de-la-Madeleine) et leur réduction à la source en améliorant la qualité de la combustion et celle du combustible utilisé (centrale Tracy); 3) une localisation adéquate des nouveaux équipements thermiques (centrale TAG La Citière, nouvelle centrale diesel des Îles-de-la-Madeleine et sites potentiels pour futures centrales TAG en pointe ou en base); 4) une meilleure connaissance de l'évolution chimique (Barringer, 1981, Varfalvy, 1984) des panaches de pollution (transformation du NO en NO<sub>2</sub> dans le panache de la centrale TAG La Citière); et 5) finalement, une meilleure évaluation de la dispersion atmosphérique des polluants atmosphériques (Radian, 1982) conduisant au choix optimal d'une variante (développement et validation de modèles de dispersion).

À l'automne 1988, le Conseil canadien des ministres de l'Environnement (CCME) a confié au Comité directeur fédéral-provincial du TADPA (transport à distance des polluants atmosphériques) de dresser, avant la fin de 1990, un plan détaillé de réduction des oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>) et des composés organiques volatils (COV) afin de satisfaire aux exigences de la protection de l'environnement au pays et de s'assurer que le Canada s'acquitte de ses obligations internationales. Le plan devait en particulier se baser sur les problèmes actuels de qualité de l'air reliés aux NO<sub>x</sub> et plus particulièrement sur le respect souhaité pour l'an 2005, partout au Canada, de la norme horaire de 0,08 ppm d'ozone troposphérique (O<sub>3</sub>), communément appelé « l'ozone au sol ». Deux versions du plan de gestion des NO<sub>x</sub>/COV ont été successivement déposées en 1990, et divers groupes de travail, réunissant les parties intéressées tant au niveau gouvernemental que privé, étudient actuellement les propositions qui y figurent (LRTAP, 1990). Selon les données actuelles des membres de l'Association canadienne de l'électricité (ACE), le coût des mesures proposées par le plan pourrait être substantiel (milliards) pour l'ensemble des régions où les normes d'ozone ambiant sont actuellement dépassées (CEA, 1991).

On doit préciser ici que, contrairement à l'ozone stratosphérique, indispensable à la vie sur terre, la présence d'ozone dans la basse couche de l'atmosphère, communément appelée la troposphère, à des niveaux supérieurs au bruit de fond (20 à 30 ppb) est hautement indésirable (Lee, 1989; Tilton, 1989; SCAQ, 1989) étant donné les impacts néfastes qui peuvent en découler sur

l'environnement naturel (réduction de la croissance de la végétation, oxydation accélérée des matériaux, etc.) et la santé des populations (incidence accrue des maladies respiratoires). L'ozone troposphérique accélère également la transformation chimique des précurseurs de dé-acides, SO<sub>2</sub> et NO<sub>x</sub>, en acides sulfurique et nitrique, sulfates et en nitrates, participant de la sorte de façon très active à ce phénomène (ICAAS, 1983; ACS, 1987; Graedel 1989; Penkett, 1989; ACE, 1990). Finalement, l'ozone participe également à l'effet de serre étant donné son potentiel élevé d'absorption du rayonnement infrarouge (Wuebbles, 1989). En somme, l'ozone, peu importe où il se trouve, participe très activement à la chimie et à la physique de l'atmosphère. L'ozone de la troposphère se forme principalement par des mécanismes photochimiques et chimiques complexes, à partir des oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>) issus principalement de la combustion fossile, et par les composés organiques volatils (COV) provenant de diverses sources industrielles et naturelles.

Hydro-Québec suit avec attention l'évolution du Plan de gestion des NO<sub>x</sub>/COV, étant donné sa production accrue, au cours des dernières années, d'énergie électrique à partir de la combustion fossile et tenant compte de la possibilité, mentionnée précédemment, que cette situation persiste encore pendant quelque temps, advenant la prolongation du cycle de faible hydraulicité. Dans une perspective d'attitude « proactive », Hydro-Québec tient déjà compte, dans la mesure du possible, des dernières recommandations (4 octobre 1990) du Comité fédéral-provincial du TADPA, non encore entérinées par le CCME, en ce qui concerne le contrôle des oxydes d'azote sur les centrales thermiques conventionnelles (initiative N-305) et les centrales à turbines à gaz (initiative N-307).

De façon concrète, les activités d'Hydro-Québec réalisées à ce chapitre au cours des deux dernières années, comprennent : 1) la décision d'utiliser l'injection d'eau dans les turbines de la future centrale à turbines à gaz de Bécancour (400 MWe), mesure qui se traduira par une réduction par un facteur de 6 environ des émissions de NO<sub>x</sub> des turbines proposées et 2) la décision d'inclure dans les études de la durée de vie optimale de la centrale thermique de Tracy (600 MWe), une étude technico-économique sur la faisabilité de la transformation complète ou partielle de la centrale de façon à permettre l'utilisation du gaz naturel (HQ, 1991b).

En ce qui concerne la future centrale TAG de Bécancour, plusieurs variantes ont fait l'objet de l'étude d'avant-projet. Les mesures de contrôle à la source des oxydes d'azote qui avaient été envisagées comprenaient : le choix des turbines (4 variantes), le choix du combustible (huile ou gaz) et l'injection d'eau dans les turbines à un taux similaire à celui du combustible, afin de réduire significativement les NO<sub>x</sub> sans perte significative de l'efficacité de la combustion. Les résultats de la simulation numérique ont clairement démontré que certaines des variantes étudiées ne rencontraient pas les normes québécoises d'air ambiant, tenant compte des niveaux ambiants relativement élevés de SO<sub>2</sub> et de NO<sub>2</sub> provenant du parc industriel de Bécancour. Toutefois, la variante retenue par Hydro-Québec (4 turbines GE de 1 MWe, avec injection d'eau), permet non seulement

respect des normes d'air ambiant en tout temps, mais également à ne pas dépasser le niveau négligeable à faible (i.e. les niveaux actuels) pour les impacts potentiels sur la santé des populations, attribuables aux niveaux cumulatifs de bioxyde d'azote et d'anhydride sulfureux estimés pour la zone d'étude.

Les études en cours sur la faisabilité de la transformation partielle ou totale de la centrale Tracy au gaz naturel (HQ, 1991b) comprennent : l'examen attentif de plusieurs variantes, incluant l'optimisation des brûleurs actuels à faible excès d'air; l'installation de nouveaux brûleurs; l'utilisation d'huile lourde à plus faible teneur en azote organique et en asphaltènes, etc. Plusieurs technologies de contrôle des NOx font l'objet d'un examen attentif à la lumière de leurs performances réelles mesurées sur des installations opérationnelles ainsi qu'en tenant compte de la faisabilité technique de leur adaptation aux équipements actuels de la centrale Tracy. Étant donné la difficulté inhérente à la dynamique de la combustion de contrôler simultanément les NOx et l'efficacité de la combustion (i.e. l'émission de particules), le choix final de la technologie de contrôle des NOx qui sera retenu par Hydro-Québec sera surtout le résultat d'un compromis technico-économique.

### 3. Conclusion

En guise de conclusion, on doit souligner que les objectifs d'Hydro-Québec en matière de protection de la qualité de l'atmosphère tiennent déjà compte des objectifs du CCME en matière de réduction à la source des émissions d'oxydes d'azote, même si les lignes directrices finales du CCME n'ont pas encore été promulguées. L'injection d'eau dans les turbines à gaz de la future centrale TAG de Bécancour de même que la possibilité envisagée d'utiliser le gaz naturel comme combustible partiel ou total pour la centrale thermique de Tracy, se traduiront sans doute par des diminutions substantielles des rejets atmosphériques de NOx par ces équipements au cours des années à venir.

### 4. Références

- ACE (Association canadienne de l'électricité), 1990 : *Rôle des nuages et des précipitations dans le transport, sur de grandes distances, des polluants atmosphériques et formation des pluies acides au Canada*. Projet n° 403G348, phase II, juin 1990.
- ACS, 1987 : *ACS Symposium Series: The Chemistry of Acid Rain-Sources and Atmospheric Processes*. American Chemical Society, 1987.
- Barringer, 1981 : *NO to NO2 Conversion and Plume Dispersion Study*. La Citière Gas Turbine Generating Station: Technical report prepared for Hydro-Québec Environmental Directorate. Barringer Research Limited, Rexdale, Ontario, juillet 1981.
- CEA (Canadian Electrical Association), 1991 : *Issues and Opportunities*. Position System. Briefing File. Confidential Report, 11 juillet 1991.
- Graedel, T. et Crutzen, P., 1989 : *L'évolution de l'atmosphère*. Pour la Science. Édition spéciale. Gérer la plante, 145, 36-44, novembre 1989.
- Hydro-Québec, 1991a : *Centrale de Bécancour*. Rapport d'avant-projet. Étude d'impact sur l'environnement, 3 volumes, janvier 1991.
- Hydro-Québec, 1991b : *Centrale thermique Tracy*. Étude de faisabilité relative à l'utilisation du gaz naturel comme source alternative de combustible. Vice-présidence Équipements de production. Direction réfections et modifications de centrales, juillet 1991.
- ICAAS (Interdisciplinary Center for Aeronomy and (other) Atmospheric Sciences), 1983 : *Acid Deposition: Causes and Effects — A State Assessment Model*. University of Florida, Gainesville, Proceedings of a Workshop, 23 et 24 mars 1983.
- Lee, S. D., 1985 : *Evaluation of Scientific Basis for Ozone/Oxidants Standards*. APCA Speciality Conference. November 1984, Houston, Texas. Air Pollution Control Association, Pittsburgh, PA.
- LRTAP, 1990 : *Federal-Provincial Long Range Transport of Air Pollutants Steering Committee*. Management Plan for Nitrogen Oxides (NOx) and Volatile Organic Compounds (VOCs). First Edition, Final Draft, 4 octobre 1990.
- Penkett, S.A., 1989 : *International Conference on Generation of Oxydants on Regional and Global Scales*. Norwich, U.K., 3-7 juillet 1989, Special Issue of Atmospheric Environment, 25A, 9, Pergamon Press, 1991.
- Radian, 1982 : Analysis of RPM-II Reactive Plume Model, Study No.4; Review of Techniques for Predicting Short-Term NO2 impacts, Study No.5; Evaluation of Plume Rise Models Applicable for Gas Turbines, Study No.6; Chemistry of Gas Turbine Plumes, Study No. 7 ; Adaptation of Models for Use by Hydro-Québec : section of Models for Adaptation, Study No.8; Users Manual for the Gaussian Evaluation Model (GEM/GEMGAR); Users Manual for the Multiple Atmospheric General Impact Calculation Model (MAGIC). Prepared by Radian Staff for Hydro-Québec, décembre 1982, Radian Corporation, Austin, Texas.
- SCAQ (South Coast Air Quality Management District, California), 1989 : *Where Does it Hurt? Answers to Questions about Smog and Health*. Prepared in consultation with the School of Medicine of University of California, Los Angeles, and the Environmental Health Service of University of Southern California, El Monte, mars 1989.
- Tilton, B.E., 1989 : *Health Effects of Tropospheric Ozone*. Environmental Science and Technology, 23, 3, 257-263.

Varfalvy, L., 1984 : *NO to NO2 Conversion and Plume Dispersion Study*. La Citière Gas Turbine Power Station (280 MWe). Conférence présentée au « First World Conference on Remote Sensing ». Part I : Symposium on Resource Management and Environmental Planning. 8-10 October 1984, Bayreuth, West Germany. Part II : Workshop on Acid Deposition. 11 October 1984, Mitwitz Castle, West Germany. Technical Papers pp. 238-275.

Wuebbles, D.J., 1989 : *Beyond CO2 — The other Greenhouse Gases*. Lawrence Livermore National Laboratory, California. Article (89-119.4) présenté au 82<sup>e</sup> Congrès annuel de Air and Waste Management Association, Anaheim, Californie, 25-30 juin 1989.

Louis Varfalvy, D.Sc.  
chimiste  
chargé de programme scientifique  
Service santé environnementale  
Direction recherche et encadrements  
Vice-présidence Environnement  
Hydro-Québec

---

Texte présenté au Colloque sur les précipitations acides et sur la pollution par l'ozone (smog), Montréal, 4 et 5 novembre 1991.

# Élaboration d'une stratégie d'intervention pour la lutte contre la pollution par l'ozone au Québec

## Résumé

Au cours des deux dernières décennies, la lutte contre la pollution atmosphérique causée par les polluants classiques s'est intensifiée. Aujourd'hui, on recueille des dividendes importants pour ce qui est de l'amélioration de la qualité de l'air ambiant sur l'ensemble du Québec.

Malgré tous les efforts, on réalise toutefois que le problème de qualité de l'air ambiant dû à l'ozone au sol demeure. Pour s'assurer que les niveaux d'ozone dans l'air ambiant respectent la norme horaire de 82 ppb, un programme plus dynamique est nécessaire.

Ce problème ne se pose pas seulement au Québec, mais plutôt sur un plan régional puisqu'il touche les provinces voisines et les États américains limitrophes.

En réponse à ce problème, le Québec a amorcé l'élaboration d'une stratégie devant par la suite lui permettre d'apporter les correctifs requis. Les divers éléments de cette stratégie seront examinés ainsi que les conséquences non seulement pour le Québec, mais aussi pour les juridictions voisines.

## Abstract

*During the last twenty years, air pollution actions against conventional pollutants have increased and have resulted today in benefits in terms of better air quality over the whole of Québec.*

*In spite of all the efforts, one nevertheless realizes that an air pollution problem by ground-level ozone still remains. In order to make sure that ozone meets the hourly standard of 82 ppb, a more aggressive program is necessary.*

*This problem is not limited to Québec alone but is more on a regional scale since it affects also neighbouring provinces and states.*

*In response to this problem, the province of Québec has undertaken the elaboration of a strategy which will eventually permit to take the necessary corrective actions. The various elements of this strategy and its implications not only for Québec but for bordering territories as well will be examined.*

## 1. Introduction

Comme il a déjà été souligné dans plusieurs des textes précédents, le Québec a connu de sérieux problèmes de pollution atmosphérique qui ont entraîné l'adoption de réglementations strictes visant particulièrement le secteur industriel et les véhicules automobiles. Cela a eu pour effet de réduire fortement les émissions de gaz polluants, et la qualité de l'air s'en est trouvée améliorée d'une manière significative.

Cependant, une telle amélioration ne s'est pas réalisée dans le cas de l'ozone au sol, et ceci nous amène à envisager l'élaboration de nouvelles stratégies pour combattre cette pollution. Nous présentons donc la démarche entreprise par le gouvernement du Québec dans sa lutte contre la pollution par les oxydants photochimiques, plus spécifiquement de l'ozone.

## 2. La pollution par les oxydants photochimiques : un défi insurmontable ou une solution utopique !

Voilà l'idée qui nous vient spontanément à l'esprit à l'examen de l'historique de la lutte contre la pollution par l'ozone entreprise aux États-Unis. La pollution atmosphérique par les oxydants photochimiques ne constitue pas un problème récent et on pourrait même lui attribuer en grande partie l'intérêt suscité pour le problème de pollution atmosphérique au début des années 70. Dès 1966, la région de Los Angeles édictait des normes de réduction des composés organiques volatils visant à solutionner le problème du smog urbain. Cette action fut suivie de près par le district de la baie de San Francisco. Cette préoccupation gagnait l'ensemble de l'Amérique du Nord au début des années 70.

Lors de l'adoption de la loi sur la salubrité de l'air, le « Clean Air Act (CAA) », en 1970, le gouvernement fédéral américain fixait l'échéance à 1975, pour satisfaire aux normes primaires de qualité de l'air ambiant. Dans le cas de l'ozone, la norme horaire de 80 ppb était adoptée en 1971. Cependant, devant l'impossibilité de satisfaire aux normes d'air ambiant, notamment pour l'ozone (plus de 78 régions étaient non conformes), le gouvernement s'est vu forcé de procéder en 1977 à une première révision du CAA. Celle-ci prolongeait le délai de conformité jusqu'en 1982 et imposait un nouveau programme de contrôle plus sévère. Les régions les plus touchées pouvaient même bénéficier d'une prolongation jusqu'en 1987. D'ailleurs, 40 régions se sont prévaluées de ce privilège.

Il est pertinent de souligner que les modifications comprenaient le resserrement des normes d'émission des

véhicules automobiles, l'élaboration d'un programme d'inspection et d'entretien pour les véhicules, la détermination de limites d'émission plus strictes pour les nouvelles sources fixes, notamment celles rejetant plus de 100 tonnes par année de composés organiques volatils (COV), l'imposition de mesures de contrôle pour les sources existantes dans les régions non conformes et, finalement, l'adoption de mesures de contrôle du transport.

En 1979, l'Agence de protection de l'environnement, « Environmental Protection Agency (EPA) », révisait la norme horaire pour l'ozone en accroissant la limite de 50 %. La norme horaire passant de 80 ppb à 120 ppb (cette norme est demeurée à 82 ppb au Canada), concentration maximale moyenne à ne pas excéder plus d'une fois par année en moyenne.

Malgré certains progrès réalisés entre 1977 et 1987, la situation ne s'est pas améliorée sensiblement, et plus de 60 régions en 1987 dépassaient alors la norme, et ce, même si celle-ci était 50 % moins contraignante qu'initialement.

En 1990, le gouvernement fédéral américain procédait pour une seconde fois à une révision en profondeur de la loi afin, entre autres, de s'attaquer aux problèmes des précipitations acides, aux polluants atmosphériques toxiques et aux régions non conformes en matière de qualité de l'air ambiant. On désirait particulièrement s'attaquer de façon rigoureuse au problème très sérieux et répandu de pollution de l'air causé par l'ozone : plus de 100 millions de personnes dans 90 régions aux États-Unis étaient exposées à des concentrations jugées insalubres.

Les amendements prévoient plusieurs mesures importantes de contrôle et fixent des délais pour satisfaire les normes d'air ambiant. Selon la sévérité du problème, les délais pour se conformer à la norme pour la santé peuvent s'échelonner entre trois et vingt ans dans le cas de Los Angeles, la ville la plus polluée. De plus, on a établi des niveaux spécifiques de réduction des émissions de COV à 15 % pour les six premières années et, par la suite, à 3 % par année.

Le principal constat qui s'impose à nous aujourd'hui, c'est que plus de vingt ans ont passé depuis l'adoption des premières séries de mesures en vue de solutionner le problème d'ozone au sol aux États-Unis. La situation ne s'est pas améliorée, par conséquent le problème se pose avec autant d'acuité et aucune amélioration n'est perceptible, et ce, malgré un relâchement de 50 % de la norme relative à l'ozone dans l'air ambiant.

On compte sur une période supplémentaire de vingt ans au cours de laquelle des mesures très strictes et sans précédent seront imposées à une multitude de petites et moyennes sources pour apporter une solution définitive au problème de l'ozone au sol.

Quant à la garantie que l'objectif ultime puisse être atteint, elle n'est pas évidente malgré les dispositions prévoyant l'évaluation périodique des améliorations en matière d'émissions de composés organiques volatils (COV). Il pourrait s'écouler encore une décennie avant de pouvoir juger de l'efficacité des mesures prévues dont l'application s'effectuera progressivement.

Il est donc important que, dans la démarche que nous entreprenons, nous puissions mettre à profit les leçons qui se dégagent de ces deux décennies chez notre puissant voisin où beaucoup d'efforts et d'énergie ont été déployés sans vraiment permettre d'améliorer la situation.

### **3. Élaboration d'une stratégie d'intervention pour le Québec**

Le Québec a entrepris à la fin de l'année 1990 des travaux en vue d'élaborer une stratégie d'intervention répondant au problème d'ozone dans l'air ambiant, tout en permettant aussi, dans une certaine mesure, de résoudre ou d'atténuer d'autres préoccupations environnementales dues aux polluants précurseurs, les NOx et les COV.

Plusieurs facteurs nous ont influencés dans notre décision dont les principaux sont :

- les dépassements fréquents et élevés de la norme horaire québécoise pour l'ozone fixée à 80 ppb;
- l'exposition d'une partie importante de la population à des niveaux d'ozone jugés insalubres;
- les dommages probables à la végétation, notamment aux grandes cultures (fèves soya, haricots, tabac, pommes de terre), aux plantes horticoles ainsi que le rôle potentiel de ce polluant dans le dépérissement des forêts;
- les actions envisagées par le fédéral et les autres provinces à la suite de l'adoption en principe de la phase I du plan de gestion NOx et COV développé sous l'égide du Conseil canadien des ministres de l'Environnement;
- les engagements internationaux du Canada;
- les programmes de contrôle que s'approprient à réaliser les États-Unis.

Un groupe de travail dont la tâche première a été de définir un plan d'action (en cinq étapes) devant déboucher sur une stratégie d'intervention en matière de lutte à la pollution par l'ozone au Québec a été formé. L'objectif principal et ultime recherché par l'élaboration et l'application d'une telle stratégie consiste à assurer le respect de la norme horaire pour l'ozone dans l'air ambiant afin de protéger la santé de la population, en particulier les récepteurs sensibles.

#### **3.1 Étape 1 : la définition du problème**

Le problème de pollution par l'ozone se manifeste essentiellement par des épisodes aigus et persistants, caractérisés par des pointes d'ozone pouvant atteindre plus de deux fois la norme (80 ppb, base horaire) pendant quelques jours et qui se produisent uniquement au cours de l'été (de mai à septembre). De tels épisodes sont le résultat de réactions photochimiques fort complexes entre les oxydes d'azote (NOx) et les composés organiques volatils (COV) qui interviennent lors de conditions météorologiques typiques: température élevée, rayonnement solaire intense et systèmes météorologiques favorables au transport atmosphérique à longue distance de l'ozone

et des polluants précurseurs (zone de haute pression sur la côte est de l'Amérique du Nord).

De plus, les réactions sont fortement dépendantes de la réactivité des composés organiques volatils. La proportion des différents COV à la formation d'ozone varie beaucoup. On a en effet noté que l'efficacité de la réduction des émissions des polluants précurseurs pour diminuer les concentrations d'ozone est particulièrement influencée par le rapport entre les concentrations de COV et de NOx dans l'air ambiant. Toutefois, faute de posséder une caractérisation convenable des COV dans l'atmosphère, il est difficile de valider une telle hypothèse et de préciser son importance.

Le problème de pollution par l'ozone présente un caractère très régionalisé, puisque, géographiquement, les zones touchées ne représentent qu'une portion du territoire. Pour le Québec, le territoire couvre une superficie de 69 000 km<sup>2</sup> (4,5 % du territoire) là où 94 % de la population habite (6 150 000). Cette région se situe dans l'axe du corridor Windsor, en Ontario, et celui de la ville de Québec lequel est largement influencé par les produits transportés à grande distance.

La gravité et l'étendue du problème de la qualité de l'air ambiant sont obtenues par la surveillance des concentrations d'ozone à l'aide d'appareils de mesure appropriés. Il apparaît souhaitable que ce type d'information puisse être complété par l'acquisition de données québécoises sur les effets néfastes à la santé et sur les dommages causés à la végétation. Cela nous permettrait d'établir la gravité des effets de l'ozone sur la santé de la population du Québec et sur son environnement, en fonction de l'intensité et de la durée de l'exposition à l'ozone, plutôt que de compter sur l'extrapolation des résultats obtenus ailleurs pour en déduire les répercussions.

L'ensemble de ces informations nous permettrait, entre autres, d'évaluer l'efficacité de tout programme de réduction ainsi que les gains réalisés en matière de santé et d'environnement.

Quant aux polluants précurseurs, la situation diffère nettement. On dispose présentement de données pour les NOx à un nombre restreint de sites et aucune mesure n'est prise pour les COV étant donné le peu de disponibilité d'instruments de mesure adéquats. Toutefois, en raison de la complexité de la chimie atmosphérique, il conviendrait que cet aspect soit approfondi et qu'on examine les possibilités de pallier cette lacune.

### **3.2 Étape 2 : l'inventaire des émissions des précurseurs et leur projection**

Une étape très importante et cruciale du plan d'action pour la lutte à la pollution par l'ozone consiste bien sûr en l'établissement d'un inventaire des émissions des polluants précurseurs, NOx et COV. Un tel inventaire doit être suffisamment précis et fiable, et couvrir l'ensemble des sources et leur distribution géographique autant que faire se peut. Dans un premier temps, on se doit d'établir la situation actuelle et dans un second temps, prévoir les changements des émissions dans le futur avec et sans intervention.

Il peut être pertinent d'indiquer ici certains éléments qui font mieux ressortir l'ampleur et la complexité de cette étape ainsi que les difficultés à prévoir lors de l'élaboration de toute stratégie d'intervention.

Contrairement au cas des précipitations acides où plus de 85 % des émissions de dioxyde de soufre provenaient de moins d'une centaine de sources industrielles, les sources responsables des émissions de composés organiques volatils comprennent une multitude de secteurs auxquels se greffent des milliers de petites et moyennes sources diverses dites diffuses. À cela s'ajoutent des millions de sources mobiles qui, considérées sur une base individuelle, rejettent en général une quantité minime de polluants.

D'autres facteurs contribuent encore à accroître la complexité de ce problème. Ainsi, dans une même catégorie de sources, les émissions, quantitativement et qualitativement, sont influencées par divers facteurs et sont donc très variables: matières premières utilisées, procédé de production retenu, mesures de contrôle, de surveillance et d'entretien, âge des équipements, etc. Tous ces facteurs doivent être considérés dans l'établissement d'un inventaire acceptable. Dans le même ordre d'idées, l'émission globale des véhicules automobiles est déterminée à l'aide d'un modèle, en l'occurrence « Mobile 4 » mis au point par EPA, dont on peut difficilement vérifier la véracité.

Un autre aspect à considérer a trait aux multiples substances de réactivité et de toxicité diverses que regroupent les composés organiques volatils et dont le rôle diffère dans la formation de l'ozone. Pour une meilleure appréciation de cet aspect, mentionnons à titre d'exemple que l'empreinte chimique pour l'essence comprend au-delà de 28 substances réparties en diverses catégories de COV (aliphatiques, oléfines, aromatiques et même une partie indéterminée) dont certaines, comme le benzène, le zylène, le toluène et l'éthylbenzène, font partie de la liste des substances d'intérêt prioritaire du fédéral et sont considérées dangereuses dans plusieurs pays. D'autres exemples pourraient être fournis pour plusieurs des secteurs faisant partie de l'inventaire.

Quant aux émissions de NOx, l'inventaire est beaucoup plus simple et facile à réaliser, puisque les émissions proviennent essentiellement de la combustion des combustibles fossiles et de la biomasse.

Il peut être utile d'indiquer certains points saillants qui se dégagent de l'inventaire préliminaire présenté plus tôt et qui doit être raffiné davantage et validé.

Le secteur des transports est largement responsable des émissions de NOx, y contribuant pour 74 % en 1990 dont près de 33 % sont attribuables aux automobiles et aux autres véhicules légers. L'apport de la combustion par les secteurs industriels compte pour 20 %, le secteur le plus important étant celui des pâtes et papiers.

Quant aux émissions de COV, le transport représentait un peu plus de 30 % des émissions totales en 1990 et les sources diverses, près de 23 %. Les procédés des secteurs industriels comptant pour 18 % dont 10 % associés à la pétrochimie. Les véhicules automobiles et les

véhicules légers représentaient 76 % des émissions dues au transport.

Pour les sources diverses, la répartition se lit comme suit :

— usage général de solvants	56 %
— revêtement de surfaces	27 %
— commercialisation des combustibles	15 %
— nettoyage à sec	2 %

Les données d'émission relatives au transport proviennent d'Environnement Canada et sont basées sur un parc automobile de 2,5 millions de véhicules automobiles. Ce nombre se situe à 2,9 millions en 1990. À ces millions de véhicules légers, il faut ajouter des centaines de milliers d'autres véhicules routiers (camions, autobus, motocyclettes), les véhicules hors-route ainsi que les locomotives, les bateaux et les aéronefs.

Soulignons aussi la forte concentration des émissions dans le corridor Québec-Montréal-Outaouais où l'on retrouve, d'après nos évaluations sommaires, plus de 85 % des émissions de COV et plus de 70 % des émissions de NOx.

La principale lacune de l'inventaire actuel réside dans la difficulté de caractériser les substances groupées sous les COV, de sorte qu'il est impossible d'établir leur degré de réactivité, c'est-à-dire leur potentiel de formation d'ozone et leur toxicité. Il y a lieu d'examiner cet aspect afin de pouvoir établir comment on peut l'améliorer.

### **3.3 Étape 3 : le processus de modélisation atmosphérique**

Cette étape couvre l'étude des procédés utilisés dans la formation, le transport et le dépôt des oxydants, et l'application de modèles de formation et de transport à distance.

À cause de la complexité du processus atmosphérique, les relations entre l'ozone et ses précurseurs sont obtenues, en général, par simulation à l'aide de la modélisation, soit à l'échelle locale ou urbaine, régionale ou continentale. La fiabilité et la précision des résultats obtenus par modélisation dépendent de l'exactitude des mécanismes chimiques et de transport utilisés pour simuler l'atmosphère réelle, de la précision des données de concentration des polluants précurseurs dans l'air ambiant et des données météorologiques ainsi que de l'exactitude des données relatives aux émissions des précurseurs.

La réalisation de ce type d'étude exige beaucoup de ressources, et il nous apparaît peu pratique et irréaliste pour le Québec de mener seul ce genre de travail. Nous croyons pertinent d'examiner les possibilités de nous associer à d'autres groupes, notamment le gouvernement de l'Ontario qui a déjà amorcé des études en ce sens, afin d'utiliser plus efficacement les compétences disponibles. Les résultats obtenus à cette étape devraient nous permettre, entre autres, d'évaluer l'importance de la contribution des émissions outre-frontières et le niveau des

réductions d'émissions à réaliser pour atteindre notre objectif.

En l'absence de telles informations, il y aura lieu de procéder à des analyses approfondies des épisodes majeurs à l'aide de rétrotrajectoires, ce qui devrait nous fournir des indications quant à l'importance du transport à longue distance de l'ozone et des précurseurs. Selon les analyses effectuées jusqu'à ce jour, plusieurs des épisodes majeurs au Québec apparaissent sous certaines conditions météorologiques caractérisées par des mouvements importants et prédominants de masses d'air en provenance du sud et du sud-ouest. Ces résultats indiquent que le problème d'ozone est étroitement lié au transport à grande distance de l'ozone et des précurseurs. Cependant, de telles analyses ne peuvent, seules, fournir une base rationnelle aux scénarios de contrôle des précurseurs.

### **3.4 Étape 4 : les options de réduction des émissions**

Cette étape consiste en l'identification et l'examen des technologies de réduction des émissions actuellement disponibles ou qui le deviendraient dans un avenir rapproché ainsi que tout autre type de mesure applicable pouvant entraîner des réductions des émissions de NOx et de COV. Cet examen couvrira l'ensemble des catégories de sources, bien qu'une attention particulière sera consacrée à celles qui sont susceptibles d'entraîner les réductions les plus substantielles, et ce, dans le territoire touché. À cet égard, les travaux réalisés par les groupes de travail chargés d'élaborer le plan national de gestion des NOx et des COV serviront de documents de référence. Cet exercice permettra d'établir l'importance des réductions potentielles par rapport à la situation actuelle.

Des réductions des émissions de NOx des installations de combustion de l'ordre de 15 % à plus de 80 % peuvent être obtenues par l'application des technologies actuellement disponibles sur le marché. Parmi les catégories de technologies qui méritent d'être citées, il y a les brûleurs à faibles émissions de NOx et les modifications au processus de combustion (la diminution de l'excès d'air, la recirculation des gaz de combustion, la réduction de l'intensité calorifique du foyer de la chaudière), l'injection de composés chimiques et le traitement des gaz de combustion par réduction catalytique sélective ou par réduction non catalytique sélective. On peut aussi recourir à la substitution de combustible dans le cas où le charbon ou le mazout est utilisé. En outre, des mesures qui devraient être analysées attentivement concernent la conservation de l'énergie et l'efficacité énergétique lesquelles permettraient des réductions substantielles non seulement des NOx et des COV mais aussi des autres polluants, notamment le CO<sub>2</sub>.

Quant aux émissions de NOx issues des moyens de transport, il convient de souligner que les normes (plus strictes) s'appliquant sur les véhicules automobiles de modèles postérieurs à 1987, permettront de réduire progressivement les émissions de NOx et atteindront leur plein effet lorsque l'essentiel du parc automobile aura été renouvelé par des modèles 1988 ou plus récents, soit

vers la fin de cette décennie. Néanmoins, la pollution en provenance du secteur des transports ne cesse de croître en raison de l'augmentation continue du parc automobile et du trafic. Ainsi, selon les données en provenance d'Environnement Canada, on prévoit que ce secteur continuera d'être à l'origine de plus de 70 % des rejets de NOx et de près du quart des rejets de composés organiques volatils, et demeurera ainsi un des premiers responsables de la pollution photochimique.

Diverses autres options s'offrent aussi à nous pour obtenir des réductions supplémentaires de NOx et de COV dans le secteur des transports. Il y a d'abord le resserrement des normes au niveau de celles promulguées par la Californie en ce qui concerne les gaz d'échappement et les pertes par évaporation, mesures qui devraient possiblement être adoptées par Environnement Canada d'ici 1996 et qui permettront d'atteindre un niveau de réduction des polluants de l'ordre de 96 %. L'application de normes de rejets s'appliquant aux poids lourds pourrait aussi résulter en une réduction sensible des émissions. L'établissement de nouvelles normes visant l'efficacité énergétique constitue une option qui n'a pas reçu, croyons-nous, toute l'attention qu'elle mérite, et ce, malgré les possibilités qu'elle offre sur le plan des réductions de l'ensemble des rejets dans l'atmosphère par les automobiles, y compris le gaz carbonique. Également, l'application d'un programme d'inspection et d'entretien des véhicules légers constitue une mesure qui comporte des bénéfices importants au niveau surtout de la réduction des COV. Mentionnons enfin les possibilités de réduction de COV qui peuvent être obtenues par les changements de carburant, c'est-à-dire la reformulation de l'essence ou son remplacement par d'autres carburants.

D'autres actions permettent de limiter davantage les émissions du secteur des transports, et dont l'efficacité dépend largement de la réponse du public et de la volonté des gouvernements. Elles consistent dans le développement et l'utilisation plus intensive des transports en commun, le recours au covoiturage, l'établissement d'un régime de limitation de vitesse, l'amélioration des plans de circulation et d'urbanisme, afin de restreindre l'utilisation de véhicules personnels et de limiter les besoins en déplacements, train de mesures qui peuvent être combinées à des mesures d'incitation économique.

Pour les COV et pour les sources autres que les sources mobiles, qu'il suffise de souligner les diverses catégories de mesures pouvant s'appliquer telles que l'application de technologies d'épuration des effluents gazeux (absorption, adsorption, incinération, condensation, biofiltration), la modification des procédés, la substitution ou la modification de la composition des solvants ou des produits en contenants (peintures, vernis, encres d'imprimerie, adhésifs, colles). La réduction qui peut être réalisée s'échelonne entre 25 % et plus de 90 %, selon l'option choisie, le procédé ou l'activité visés.

L'approche privilégiée pour les installations existantes vise à favoriser le recours aux meilleures technologies disponibles à un coût économiquement supportable. La technologie garantissant la réalisation du taux d'émission le plus bas devrait s'appliquer aux sources nouvelles.

### **3.5 Étape 5 : la proposition d'une stratégie d'intervention : éléments à considérer**

Comme il a été souligné précédemment, il nous faudra investir temps et argent dans les éléments du plan d'action qui couvrent l'inventaire des émissions de polluants précurseurs et la modélisation atmosphérique. Dans le premier cas, il nous faut raffiner l'inventaire actuel et ses projections, et tenir compte des émissions de sources naturelles, particulièrement les COV. D'autre part, nous poursuivons notre participation, avec Environnement Ontario, à l'élaboration et à l'évaluation du comportement des modèles photochimiques. Par la suite, il nous sera possible de préparer des scénarios de réduction des émissions à l'échelle du corridor Windsor-Québec et d'en estimer l'impact sur la formation de l'ozone. En d'autres mots, quel niveau de réduction des émissions de précurseurs (NOx et/ou COV) faut-il obtenir pour abaisser sensiblement les concentrations ambiantes d'ozone pendant les épisodes ? Enfin, on se doit d'être en mesure de vérifier périodiquement l'efficacité de tout programme de contrôle des émissions des précurseurs.

Il est important, au départ, de souligner que le Québec ne part pas à zéro dans sa lutte contre l'ozone, puisque des mesures réglementaires ont déjà été prises et qu'elles pourront être bonifiées et complétées par la suite par des exigences supplémentaires. Il nous faudra assurément examiner l'ensemble de la réglementation actuelle au Québec, y compris celle de la CUM, afin d'en évaluer la pertinence et le « degré » d'application. Par la suite, une fois la situation pour chacun des secteurs adéquatement caractérisée, on pourra mieux préciser ceux pour lesquels des interventions plus rigoureuses s'imposent. L'importance des réductions à obtenir et les diverses options pour les réaliser seront ensuite déterminées.

Nous analyserons les initiatives de réduction des NOx et des COV du plan fédéral pour ce qui est du « degré » d'application et du coût/efficacité (par tonne de polluants éliminés) pour les installations et activités existantes. Déjà trois initiatives sont à l'étude. Ainsi, des discussions sont en cours avec le ministère de l'Énergie et des Ressources (MER) sur les questions de la volatilité de l'essence (réduction à 62 kPa) et de la récupération de vapeurs dans les réseaux de distribution d'essence. De plus, un groupe de travail est à élaborer des propositions pour un programme d'inspection et d'entretien pour les véhicules automobiles légers.

Il est important aussi de prendre en considération les initiatives de contrôle envisagées ou retenues par l'Ontario et les États américains voisins. Ces initiatives pourraient nous inciter à nous engager dans la même direction pour certaines mesures difficiles à appliquer isolément comme, par exemple, l'adoption des normes californiennes aux véhicules automobiles ou celle sur les produits de consommation dans l'État de New York.

Par ailleurs, il faut souligner qu'en raison de l'influence du transport à longue distance, il convient d'obtenir des juridictions concernées, notamment de l'Ontario et des États américains limitrophes au Québec et à l'Ontario,

les réductions prévues des polluants précurseurs. C'est seulement lorsque ces engagements seront connus que le Québec sera en mesure de prendre des engagements fermes quant aux réductions d'émissions de NOx et de COV qu'il est prêt à réaliser.

En résumé, la gamme des moyens de réduction des précurseurs comprendra l'établissement de limites d'émission, l'exigence de technologies d'épuration, des mesures incitatives pour faciliter les changements sociaux nécessaires à la réalisation de certaines dispositions, l'établissement de systèmes de surveillance comme, par exemple, un programme d'inspection et d'entretien des véhicules.

Enfin, le document sur la stratégie d'intervention présentera les justifications des divers scénarios, les engagements aux plans politique, juridique et administratif, les bénéfices escomptés ou recherchés, et une évaluation des coûts découlant de l'application de l'un ou l'autre des scénarios. Les divers amendements législatifs requis accompagneront le document.

#### **4. Comment garantir le succès de la stratégie en matière de lutte contre l'ozone en air ambiant ?**

Les principaux facteurs qui ont contribué au succès obtenu dans le dossier des précipitations acides sont la volonté et la détermination des pouvoirs publics, les efforts et les engagements des entreprises et l'appui constant du public.

Nous aurons besoin certes des mêmes ingrédients pour réussir dans la lutte contre l'ozone troposphérique. Une évolution très positive s'est produite au cours de la dernière décennie par rapport à la protection et à la conservation de l'environnement. Nous espérons capitaliser davantage sur ces changements pour renforcer l'efficacité de nos interventions et faciliter l'établissement d'un consensus social.

En ce qui concerne les pouvoirs publics, il y a lieu de s'assurer que l'action des divers paliers d'intervention soit bien coordonnée et intégrée, et qu'elle s'exerce de façon cohérente et dans le respect des juridictions respectives. Nous espérons notamment que le fédéral puisse intensifier son action dans le domaine du transport, afin de s'assurer que les véhicules mis sur le marché puissent être conformes aux normes que permet l'application de la meilleure technologie.

Nos attentes vis-à-vis de l'industrie sont particulièrement élevées. D'ailleurs, ceci découle de divers gestes importants posés par des entreprises ou associations industrielles et professionnelles, notamment l'adoption de politiques corporatives environnementales, le développement de codes de bonnes pratiques et de déontologie, l'adoption de programmes environnementaux, voire des engagements volontaires prévoyant « réduire à zéro » les impacts de leurs installations sur l'environnement.

Nous nous devons d'encourager les entreprises ou associations à concrétiser leurs engagements par des gestes ou actions qui permettront non seulement de respecter les exigences réglementaires existantes ou pré-

vues, mais d'aller au-delà de celles-ci. Un appui résolu à cette approche pourra, espérons-nous, constituer une forte incitation à l'innovation technologique et à la modification des comportements en regard de l'environnement.

Quant aux citoyens, ceux-ci sont particulièrement sollicités en tant que consommateurs en raison de l'influence grandissante qu'ils exercent sur l'évolution des marchés et le développement des produits. Nous nous attendons que ceux-ci développent une conscience de plus en plus grande vis-à-vis de l'impact sur l'environnement des gestes posés quotidiennement et qu'ils modifient ou ajustent leur comportement.

#### **5. Conclusion**

Le problème de pollution atmosphérique par l'ozone troposphérique constitue, à ce jour, un problème de pollution complexe et difficile à solutionner. Malgré plus de vingt années d'efforts et d'interventions, surtout aux États-Unis, le problème persiste. C'est d'ailleurs ce qui a amené les gouvernements à développer de nouveaux programmes comprenant des mesures jamais envisagées antérieurement. De plus, on prévoit que vingt autres années seront requises pour que l'ensemble des États-Unis puisse être conforme à la norme d'air ambiant pour l'ozone.

Au Canada, le problème de pollution par l'ozone se pose différemment et avec moins d'acuité. Le problème présente un caractère plutôt régional dans l'est du Canada et est largement influencé par le transport à grande distance de l'ozone, des autres polluants secondaires ainsi que des polluants précurseurs.

Dans la stratégie en voie d'élaboration, le Québec désire porter une attention particulière aux aspects transfrontaliers de manière à s'assurer que les régions limitrophes contribuant au problème québécois, prennent des engagements fermes et élaborent des programmes étoffés de réduction de leurs émissions. Comme pour les précipitations acides, nous sommes convaincus que, sans les interventions importantes par les régions outre-frontières, les réductions d'émissions que le Québec pourraient considérer résulteraient en des bénéfices plutôt limités pour ce qui est de la diminution de la fréquence et de l'importance des épisodes d'ozone.

Il est encourageant de constater les engagements pris par les États-Unis dans la lutte contre l'ozone. Toutefois, nous ne disposons pas présentement d'information quant aux réductions à être réalisées par les États américains pour influencer les niveaux d'ozone observés au Québec. En outre, la norme d'air ambiant à respecter étant 50 % moins stricte que la norme québécoise ou l'objectif canadien, les réductions par les États à proximité de nos frontières pourraient être nettement insuffisantes par rapport à ce que nous voudrions obtenir. Cela résulterait vraisemblablement en un effort beaucoup plus substantiel de la part du Québec par rapport à sa responsabilité face à ce problème.

Le même genre d'information devrait être obtenu sur le programme de réduction de l'Ontario, afin de garantir que la stratégie retenue par le Québec réponde convenablement à la situation. Ces informations nous

influencent non seulement lors de l'élaboration de la stratégie, mais aussi dans l'établissement de son échéancier d'application.

Cette position ne signifie pas que le Québec attendra que les autres bougent avant de prendre des mesures. Cependant, il sera prudent dans ses choix, afin d'éviter que son économie en souffre.

Il est évident que les efforts de réduction porteront en priorité sur les modes de transport, spécialement les véhicules automobiles, l'utilisation des solvants organiques ou des produits à base de solvants ainsi que les secteurs industriels à l'origine d'émissions importantes tels que les raffineries de pétrole et les industries pétrochimiques.

Cette lutte contre la pollution par l'ozone n'est pas uniquement la responsabilité du gouvernement, mais aussi celle de l'ensemble des composantes de la société, c'est-à-dire les industries, les consommateurs, les groupes environnementaux et les gouvernements.

André Marsan  
sous-ministre adjoint

Laval Lapointe  
ingénieur

Raynald Brulotte  
ingénieur

Ministère de l'Environnement du Québec