

# VUE D'ENSEMBLE DES DANGERS DE LA CONTAMINATION PAR LES OXYDES D'AZOTE AU CANADA

L'évaluation de la capacité du Canada à réduire le danger des agents toxiques doit se fonder sur une étude exhaustive des aspects médicaux, techniques, juridiques et réglementaires de chaque agent. Au cours de son étude sur la contamination de l'ambiance, le Comité de la politique en matière d'agents toxiques auprès du Conseil des sciences a fait réaliser six études de cas sur des contaminants de l'ambiance professionnelle et de l'environnement ionisant, plomb, amiante et oxydes d'azote. A la suite d'un séminaire auquel avaient participé des représentants du secteur public, des firmes industrielles, des syndicats de travailleurs et des associations autochtones, le Comité a fait préparer une nouvelle série d'exposés, dont «la contamination par les oxydes d'azote».



Conseil des sciences du Canada

# Table des matières

<b>Préface</b> .....	<b>3</b>
<b>Introduction</b> .....	<b>3</b>
<b>Le dossier des oxydes d'azote</b> .....	<b>4</b>
Chimie et physique des oxydes d'azote	
Chimie des oxydes d'azote	
Les sources des NO <sub>x</sub> et leur répartition dans le milieu ambiant	
Effets nocifs de l'exposition aux oxydes d'azote	
<b>Mesures réglementaires et autres</b> .....	<b>15</b>
Mesures générales	
L'économie politique de la réglementation des oxydes d'azote	
Envergure de l'effort de mesure de la contamination aux NO <sub>x</sub> au Canada	
Activités internationales	
Tour d'horizon des mesures prises	
Recherche sur les NO	
<b>Conclusions et recommandations</b> .....	<b>20</b>
<b>Notes et bibliographie</b> .....	<b>23</b>

## Liste des tableaux

1. Émissions de polluants atmosphériques au Canada en 1970 .....	6
2. Émissions d'oxydes d'azote au Canada en 1970 ...	6
3. Effets pathologiques de l'exposition brève et intense aux NO .....	11
4. Influence du NO <sub>2</sub> sur la résistance des voies aériennes à l'écoulement de l'air .....	13
5. Participants à la réglementation de la contamination par les oxydes d'azote et répartition des compétences	15
6. Normes maximales des gaz d'échappement automobile .....	16

## Liste des figures

1. Cycle photochimique .....	4
2. Variation des quantités de NO et de NO <sub>2</sub> dans la fumée de cigarette .....	5
3. Modèle des émissions par région .....	7
4. Concentrations pondérées sur une heure de certains polluants, à Los Angeles .....	8
5. Diagramme diurne des concentrations de polluants	9
6. Réseau national de surveillance de la pollution atmosphérique .....	17

## Préface

La présente Vue d'ensemble a été élaborée pour le compte du Comité de la politique en matière d'agents toxiques auprès du Conseil des sciences, par M. J. Basuk, cadre scientifique du Conseil des sciences, avec l'aide compétente de Mad. A. Nichols, adjointe de recherches au Conseil. Elle est constituée d'extraits de nombreuses publications, et on n'aurait pu la rédiger sans certaines contributions provenant de sources très diverses. Nous remercions, en particulier, M. D. Mackay et Mad. M. Medir, de l'Institut des sciences de l'environnement à l'Université de Toronto, et M. A. Lawson, de la Fondation des recherches de l'Ontario, qui ont recueilli des données techniques en tant que consultants. Ils ont rédigé de larges parties de la section technique de la vue d'ensemble. Nous remercions également les D<sup>rs</sup> L. Knight et P.T. Macklem, de l'Hôpital Royal Victoria de Montréal, qui, en tant que consultants, ont fourni de l'information médicale, et ont rédigé une partie importante de la section médicale de cette vue d'ensemble. Le 28 septembre 1976, un séminaire sur la contamination par les oxydes d'azote fournit une information précieuse au groupe d'étude, et nous remercions vivement ceux qui y participèrent. En outre, le Rapport du Comité des effets sanitaires et biologiques des polluants de l'ambiance auprès du Conseil national des recherches des États-Unis: *Nitrogen Oxides* a été très utile pour la rédaction du présent document. Certains passages en ont été cités avec la permission de l'Académie nationale des sciences des É-U.

## Introduction

La présente Vue d'ensemble vise trois objectifs: tout d'abord, grâce à la mise en relief de la nature des dangers de l'exposition aux oxydes d'azote ( $\text{NO}_x$ ), et à l'analyse des mesures prises, le Conseil des sciences pourra faire des recommandations précises pour leur amélioration. En second lieu, la comparaison des grands problèmes posés par les  $\text{NO}_x$  et de ceux soulevés par les cinq autres contaminants étudiés (plomb, chlorure de vinyle, rayonnement ionisant, mercure et amiante), permettra de tracer un tableau synoptique des réactions des autorités canadiennes à l'égard des contaminants industriels à l'action subreptice et souvent retardée. Le Conseil pourra aussi faire des observations générales, ainsi que des recommandations. Enfin, le Comité espère que cette Vue d'ensemble permettra au public intéressé d'appréhender clairement et objectivement la nature de la contamination par les  $\text{NO}_x$  et les mesures déjà prises, et ainsi d'intervenir en connaissance de cause dans le débat pertinent.

Le Conseil des sciences ressent un souci naturel pour la santé de l'Homme, laquelle risque d'être affectée par les activités industrielles. Tout en reconnaissant que l'amélioration du niveau de vie repose sur le nombre et l'ampleur des activités industrielles, le Conseil des sciences s'est préoccupé de leurs coûts ignorés ou négligés. Il partage l'inquiétude croissante du public à l'égard d'une exposition involontaire aux contaminants subreptices de l'ambiance de travail et de l'environnement général, et estime qu'il est possible de réduire les risques causés par les activités industrielles et d'éliminer les dangers inutiles, tout en stimulant l'expansion industrielle *indispensable* et les activités innovatrices.

De même, le Conseil des sciences s'intéresse naturellement et constamment au rôle des sciences et des scientifiques dans l'élaboration des lignes de conduite. Il serait malaisé de découvrir un domaine de planification qui

requerrait des communications plus étroites entre scientifiques et décisionnaires, tant sur le plan administratif que politique. Il faudrait améliorer ces communications, de même que celles avec le grand public. On observe une controverse publique croissante causée par les risques d'origine technique et la réglementation des expositions à des substances dangereuses comme les cyclohexylsulfamates (*cyclamates*), le plomb, le rayonnement ionisant, le mercure, l'amiante. Il faut analyser et décrire clairement ce qui est connu, et bien délimiter ce qui est inconnu, ou ce qu'il faut connaître. L'inaction ne doit pas être justifiée par la nécessité de recherches.

Le Comité de la politique en matière d'agents toxiques a inclus la contamination par les oxydes d'azote ( $\text{NO}_x$ ) pour plusieurs raisons. Des six agents toxiques étudiés, ce sont les  $\text{NO}_x$  qui ont fait le moins de bruit. Le mécanisme décisionnel a donc fonctionné hors de l'attention du public. Les  $\text{NO}_x$  affectent une forte partie de la population, particulièrement dans les grandes villes. Pour autant que des normes d'exposition maximale aient été établies pour les oxydes d'azote, il serait intéressant de connaître les critères utilisés par les organismes réglementaires pour les élaborer. Les industries et les syndicats concernés par cette contamination sont disséminés, et c'est probablement pourquoi elle n'est pas apparue comme prioritaire. Aucune pression publique concertée ne s'est manifestée, et donc relativement peu d'action administrative ou politique a été entreprise. Il semble que l'obéissance à la réglementation de ce contaminant soit moins poussée que son élaboration. On voudrait des normes plus exigeantes, mais moins d'organismes les mettant en vigueur. La recherche sur la contamination de l'environnement général par les  $\text{NO}_x$  a été bien plus étendue qu'en matière d'ambiance de travail. C'est pourquoi les ministères de l'Environnement et des Transports s'y sont plus intéressés que ceux de la Santé nationale et du Bien-être social, du Travail, et de l'Énergie, des Mines et des Ressources. Les conséquences économiques de cette contamination sont plutôt difficiles à cerner, à cause de la dissémination de ses sources. Il est presque impossible de déterminer l'influence des coûts de la nouvelle technologie et des délais nécessaires.

La contamination par les  $\text{NO}_x$  diffère sur plusieurs plans des contaminations par les cinq autres agents considérés dans l'étude (plomb, amiante, rayonnement ionisant, chlorure de vinyle et mercure). Les controverses publiques et scientifiques se sont largement manifestées à propos de ces agents, mais fort peu au sujet des répercussions toxiques des  $\text{NO}_x$ . Les oxydes d'azote sont surtout produits par les processus de combustion interne (y compris ceux des moteurs automobiles) utilisés surtout par le public, alors que les autres contaminants sont surtout d'origine industrielle. On peut rapidement déterminer qui, dans la collectivité, est responsable du rejet de ces derniers.

Les oxydes d'azote ont des effets sur l'environnement qui dépassent leur toxicité directe, et on peut soutenir que leurs effets secondaires sont les plus importants. À la suite de réactions photolytiques dans l'atmosphère, les oxydes d'azote engendrent de l'ozone ou d'autres substances oxydantes à l'origine du «smog photochimique», qui assombrit Los Angeles. Les rejets d'oxydes d'azote par les réactés à haute altitude, par exemple, peuvent amenuiser la couche d'ozone de la stratosphère, ce qui accroît l'incidence des cancers de la peau. Les oxydes d'azote peuvent donner des nitrosamines très préoccupantes, car nombre d'entre elles sont cancérigènes. Il existe peut-être d'autres incidences, difficilement saisissables, à mettre en évidence<sup>1</sup>.

# Le dossier des oxydes d'azote

Cette section se fonde largement sur le rapport *Technical Aspects of Oxydes of Nitrogen*, rédigé par D. Mackay, M. Medir et A. Lawson.

## Chimie et physique des oxydes d'azote

Il est possible de fournir une explication simple, mais valide, du comportement chimique et physique des oxydes d'azote, sans mentionner les points de détail très techniques qui sont moins nécessaires à l'analyse des problèmes sociaux de réglementation des contaminants.

Parmi les six différents oxydes d'azote: NO, NO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, N<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O<sub>4</sub> et N<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, nous ne prendrons en considération que l'oxyde azotique (NO) et le dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>), et nous conviendrons que NO<sub>x</sub> représente le mélange NO + NO<sub>2</sub>. Nous exprimerons les concentrations en millièmes (ppm) du volume des gaz en présence.

La plupart des NO<sub>x</sub> sont formés au cours des phénomènes de combustion, dans les moteurs à combustion interne, les calorifères et les incinérateurs. L'azote provient du combustible (notamment du charbon), ou de l'air comburant. On a assez bien déterminé le processus des réactions et les quantités de substances intervenant dans la formation des NO<sub>x</sub>, mais il est difficile d'appliquer ces connaissances à des combustions réelles.

L'azote et l'oxygène réagissent à environ 1 100°C, et forment un mélange d'équilibre final:



Des températures plus élevées (1 600°C) favorisent la formation des NO<sub>x</sub>, et l'accroissement de la durée de contact des gaz augmente la concentration de NO. Durant le refroidissement des gaz, les concentrations de NO et NO<sub>2</sub> varient en fonction de sa rapidité. Si le refroidissement est très rapide (par trempe), la concentration de NO sera stabilisée à sa valeur à haute température. Si le refroidissement est lent, les réactions peuvent s'inverser quelque peu. Le taux de formation de NO<sub>2</sub> est proportionnel à la concentration d'O<sub>2</sub>. Ainsi, en réduisant l'excès d'air comburant, on diminue la quantité de NO<sub>2</sub> formée, mais on accroît celle d'oxyde de carbone (CO). On peut restreindre la production

des NO<sub>x</sub> en réduisant l'excès d'air, en remaniant la forme des brûleurs ou des cylindres, en réinjectant les gaz d'échappement ou en injectant de la vapeur.

Les gaz émis par la combustion contiennent à la fois du NO et du NO<sub>2</sub>, avec prédominance du premier. C'est l'incertitude au sujet des concentrations qui motive l'utilisation du symbole NO<sub>x</sub>.

Au cours de la fabrication industrielle de l'acide nitrique, la réaction catalytique de l'ammoniac et de l'oxygène produit du NO:



On fait réagir le NO avec l'oxygène pour former du NO<sub>2</sub> qui, par hydratation, donne de l'acide azotique. Les oxydes d'azote peuvent aussi se former au cours des réactions de nitration organique et de dissolution des métaux et de leurs oxydes dans l'acide azotique.

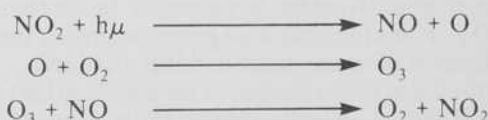
L'état final des oxydes d'azote dans l'ambiance est probablement celui d'ions de nitrates en solution aqueuse retombant en pluie ou absorbés directement par le sol ou les masses d'eau. Au cours du cycle global de l'azote, du NO<sub>2</sub> et du N<sub>2</sub>O sont formés par les êtres vivants et les déchets atmosphériques. L'utilisation d'engrais azotés pourrait accroître les concentrations d'oxydes d'azote dans l'environnement<sup>2</sup>.

## Chimie des oxydes d'azote

Les opérations industrielles et les phénomènes de combustion produisent du NO et du NO<sub>2</sub>, qui sont rejetés dans le milieu ambiant où leur toxicité affecte directement les plantes et où ils peuvent attaquer les matériaux. De plus, le NO<sub>2</sub> absorbe la lumière et réagit avec l'oxygène moléculaire pour donner de l'ozone O<sub>3</sub>. Celui-ci peut réagir avec le NO et redonner du NO<sub>2</sub>, ou oxyder les hydrocarbures présents dans l'air, et produire le «smog» oxydant. Les NO<sub>x</sub> peuvent réduire les concentrations d'ozone stratosphérique quand ils sont rejetés à haute altitude, et réagir avec les amines dans l'atmosphère urbaine en produisant des nitrosamines cancérogènes<sup>3</sup>.

## Les NO<sub>x</sub> et le «smog» oxydant

Le NO<sub>2</sub> a la propriété peu courante d'absorber le rayonnement visible et l'ultraviolet proche. L'énergie produite par l'absorption d'un photon (hμ), de longueur d'onde légèrement inférieure à 420 nanomètres, est suffisante pour dissocier une molécule de NO<sub>2</sub> en oxyde azotique (NO) et oxygène atomique (O). L'atome d'oxygène subit alors une série de réactions pour donner finalement de l'ozone O<sub>3</sub>:

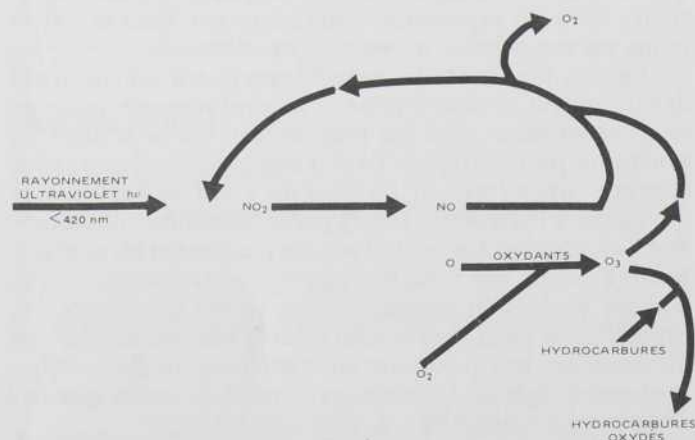


Ce «cycle photochimique», (voir Figure 1) convertit l'énergie lumineuse en énergie chimique permettant la création de gaz très actifs (O ou O<sub>3</sub>), qui oxydent les hydrocarbures en de nombreuses substances.

La rapidité et le mécanisme des réactions photochimiques des NO et NO<sub>2</sub> avec l'oxygène, les hydrocarbures et divers hydrocarbures oxygénés, sont imparfaitement connus. Elles sont très complexes, et dépendent de la présence de plusieurs substances chimiques actives de courte durée (radicaux libres). Le Conseil national de recherches a fait un tour d'horizon récent de ce sujet.

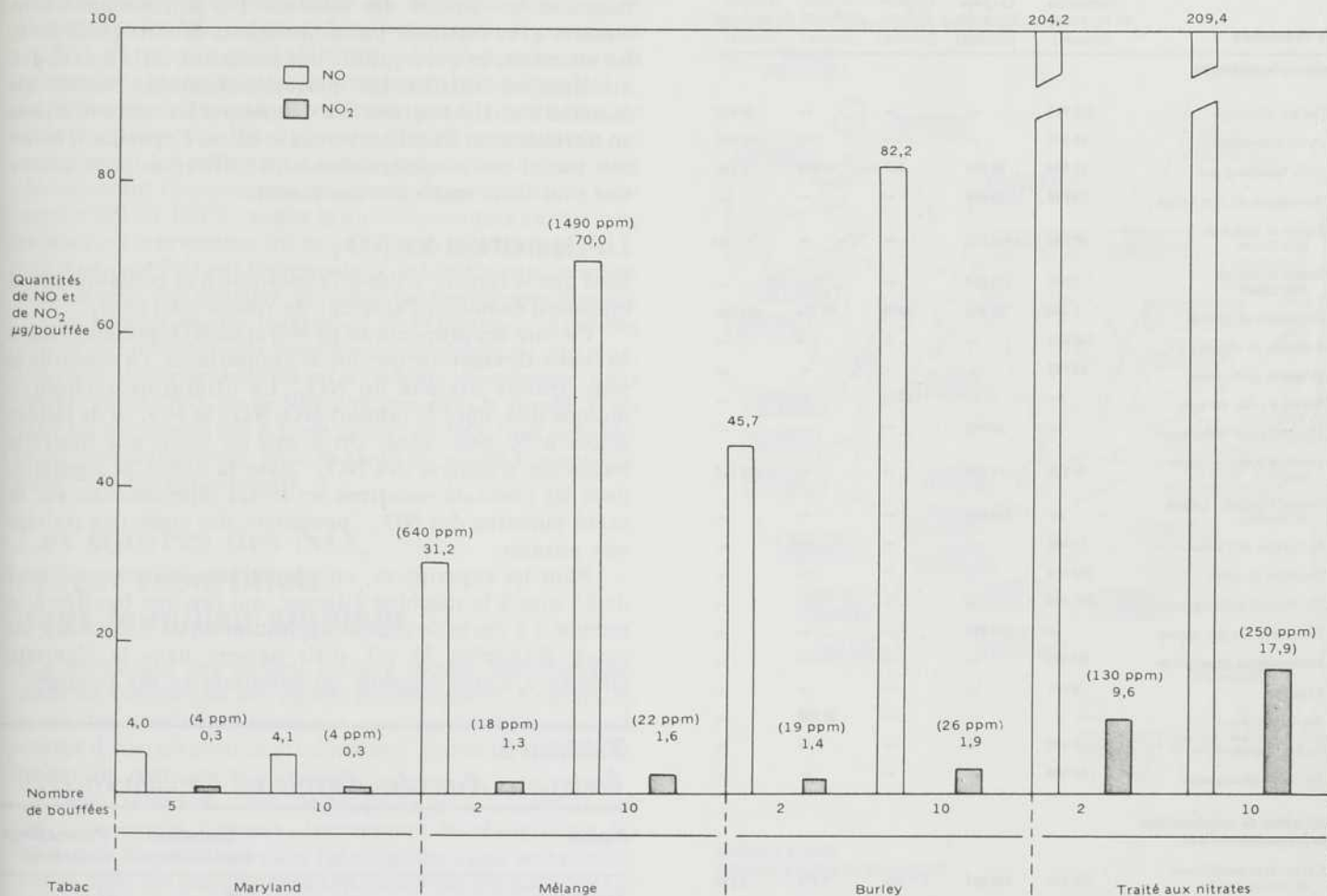
Nous n'essaierons pas ici d'éclaircir ces réactions. Il est suffisant de dire qu'elles conduisent à la formation des NO<sub>x</sub>, d'ozone et d'autres oxydants tels les aldéhydes, les

Figure 1  
Cycle photochimique



**Figure 2**

Variation des quantités de NO et de NO<sub>2</sub> dans la fumée de cigarette en fonction du nombre des bouffées et de la nature du tabac



Source: D. Mackay, M. Medir, A. Lawson, *Technical Aspects of Oxides of Nitrogen*, 1976, p. 6.

nitrate de peracétyle (*peroxyacetyl nitrates*), et les nitrites et nitrates d'alcyle (*alkyl nitrates*) qui produisent des effets physiologiques à de très faibles concentrations (irritation du nez ou des yeux). Ils attaquent les plantes et, en synergie avec le SO<sub>2</sub>, détériorent les textiles, les colorants, les caoutchoucs, les plastiques, les métaux, etc.

Ces réactions conduisent également à la formation de brume, laquelle réduit la visibilité dans les grandes villes. Les processus chimiques et physiques en sont très complexes, et imparfaitement compris. Notons que les brumes ne résultent pas toutes de l'action de l'Homme: on attribue la brume bleutée qui se forme au-dessus de certaines forêts à l'émission naturelle d'hydrocarbures (terpènes), qui réagissent avec des oxydants d'origine photochimique.

Pour une description plus détaillée des réactions photochimiques des oxydes d'azote avec divers composés organiques et minéraux qui se trouvent dans l'atmosphère, on pourra se référer au rapport: «Nitrogen Oxides», du Comité d'étude des effets sanitaires et biologiques des polluants de l'ambiance auprès du Conseil national des recherches des É.-U.<sup>4</sup>

### Les NO<sub>x</sub> et l'ozone stratosphérique

Nous n'étudierons pas les effets des émissions de NO<sub>x</sub> des réactés à haute altitude sur la couche d'ozone naturelle. Comme l'ozone absorbe le rayonnement ultraviolet, l'ame-

tion de ce rayonnement vers le sol. Il peut en résulter une plus grande incidence des cancers de la peau, particulièrement sous les tropiques. L'action des fluorochloro-éthanés ou -méthanes (*freons*) utilisés dans les bombes à aérosols accélère cette réduction de la couche d'ozone, et il faudra quelque temps avant d'en comprendre les processus chimiques et météorologiques, et de les confirmer<sup>5</sup>.

Les engrais azotés pourraient constituer une source d'émission importante d'oxydes d'azote dans l'atmosphère. Les bactéries du sol convertissent l'ammoniac qu'ils contiennent en oxyde azoteux, qui est transformé en oxyde azotique dans la haute atmosphère. L'oxyde azotique sert de catalyseur lors de la dissociation de l'ozone de la stratosphère<sup>6</sup>.

Barry Commoner, dans un récent article publié dans *Ambio*, déclare que l'utilisation intensive des engrais azotés contribue largement à la contamination des eaux d'adduction aux É.-U., dont la teneur maximale en nitrates ne devrait pas dépasser 10 millièmes. Les observations épidémiologiques montrent une corrélation entre l'utilisation d'une eau de boisson contenant le double de cette teneur maximale et une incidence particulièrement élevée du cancer de l'estomac<sup>7</sup>.

L'Institut de recherches pédologiques d'Agriculture Canada, et les départements concernés des universités de la Saskatchewan et du Collège MacDonald s'efforcent actuellement d'éclaircir le cycle de l'azote.

**Tableau 1**  
*Émissions de polluants atmosphériques au Canada en 1970*

Provenance	Particules en suspension (tonnes)	Oxydes de soufre (tonnes)	Oxydes d'azote (tonnes)	Hydrocarbures (tonnes)	Oxydes de carbone (tonnes)
<b>Sources industrielles</b>					
Grosse sidérurgie	152 911	—	—	—	45 772
Petite sidérurgie	10 594	—	—	—	16 090
Coke métallurgique	10 564	40 330	162	16 891	5 101
Aluminium de lère fusion	35 260	23 665	—	—	—
Cuivre et nickel de lère fusion	68 105	4 420 592	—	—	—
Plomb et zinc de lère fusion	7 565	115 515	—	—	—
Raffineries de pétrole	1 300	32 574	3 876	65 722	464 766
Industrie du ciment	247 682	—	—	—	—
Industrie de la chaux	53 902	—	—	—	—
Usines d'acide nitrique	—	—	11 234	—	—
Usines d'acide sulfurique	—	54 565	—	—	—
Usines à papier — papiers kraft	86 375	16 260	—	—	227 122
Usines à papier — pâtes au bisulfite	—	149 041	—	—	—
Extraction de l'amiante	79 962	—	—	—	—
Carrières de pierre	109 914	—	—	—	—
Carrières de sable et gravier	291 150	—	—	—	—
Traitement du gaz naturel	—	592 889	—	—	—
Manipulation des céréales	83 495	—	—	—	—
Moulins	4 241	—	—	—	—
Nettoyeurs à sec	—	—	—	28 858	—
Autres sources	76 628	—	—	—	—
Sources additionnelles	80 500	—	—	—	—
<b>Utilisation de combustibles par les machines fixes</b>					
Centrales et installations de services publics	220 569	478 957	175 681	4 278	8 176
Installations industrielles et commerciales	133 249	890 547	209 174	40 879	27 978
Installations privées	37 130	215 951	46 386	23 320	66 919
<b>Transports</b>					
Véhicules à moteur à essence	31 123	18 669	621 964	1 969 549	12 853 913
Essence — Utilisation autre que véhiculaire	3 380	2 026	67 576	213 995	1 396 587
Distribution de l'essence	—	—	—	127 172	—
Véhicules à moteur diesel	3 650	7 581	103 887	10 389	63 172
Chemins de fer	9 017	34 439	21 635	13 170	18 464
Bateaux	11 113	108 352	18 768	6 425	8 140
Avions et autres	3 956	922	3 040	17 893	13 687
<b>Élimination des ordures</b>					
Incinérateurs municipaux	11 223	2 788	3 729	2 788	65 256
Incinérateurs industriels	27 039	4 102	20 886	26 853	44 753
Incinérateurs domiciliaires	7 881	260	1 577	7 884	10 511
Brûleurs Wigwam	43 887	—	—	43 887	515 369
<b>Divers</b>					
Incendies	7 396	—	—	7 396	14 792
Essartage	62 611	—	7 368	14 736	184 165
Peintures et autres	—	—	—	180 000	—
Feux de forêt	357 354	—	42 048	252 252	1 261 252
<b>Totaux</b>	<b>2 370 726</b>	<b>7 210 025</b>	<b>1 358 991</b>	<b>3 074 337</b>	<b>17 311 985</b>

Source: Environnement Canada, *Inventaire national des rejets de polluants à l'atmosphère (1970)*, EPS 3-AP-73-2, janvier 1973.

## Les NO<sub>x</sub> et les nitrosamines

Une rubrique récente «News and Comments» de la revue *Science* examine la corrélation possible entre les nitrosamines et les cancers des citadins. Les nitrosamines sont classées avec certitude parmi les agents cancérigènes pour les animaux, ce qui a justifié une limitation de la teneur des aliments en nitrites. Les perfectionnements récents du matériel d'analyse permettent de mesurer les concentrations en nitrosamines dans l'ambiance urbaine. Cependant, on ne sait pas si ces concentrations sont suffisantes pour causer une plus forte incidence des cancers.

## La cigarette et les NO<sub>x</sub>

Bien que le fumeur accepte l'exposition à ce contaminant, il est bon d'examiner l'ampleur du risque qu'il court.

Ce sont les proportions de NO et de NO<sub>2</sub> présentes dans la fumée de cigarette qui ont de l'importance, en raison de la plus grande toxicité du NO<sub>2</sub>. La littérature technique indique que, dans le rapport NO/NO<sub>2</sub>, le NO<sub>2</sub> va de faibles traces à 50 pour cent. On a mis au point une nouvelle technique d'analyse des NO<sub>x</sub> dans la fumée de cigarette, dont les résultats montrent les fortes répercussions sur la santé humaine des NO<sub>x</sub> provenant des cigarettes traitées aux nitrates.

Pour les expériences, on adapte une cigarette standard de 85 mm à la machine à fumer, qui tire une bouffée à la minute. La durée de chaque aspiration est de 2 secondes, au cours desquelles 35 mL d'air passent dans la cigarette allumée. Chaque cigarette est consommée en dix bouffées.

**Tableau 2**  
*Émissions d'oxydes d'azote au Canada en 1970*

Source	Émissions (en kilotonnes)	Pourcentage du total
<b>Transports</b>		
Véhicules à moteur	726	53,4
Véhicules à essence	(622)	(45,8)
Véhicules diesel	(104)	( 7,6)
Avions et autres	3	0,2
Chemins de fer	22	1,6
Bateaux	19	1,4
Essence pour utilisation autre que véhiculaire	68	5,0
<b>Utilisation de combustibles par les machines fixes</b>		
Centrales et installations de services publics	176	13,0
Installations industrielles et commerciales	209	15,3
Installations domiciliaires	46	3,4
<b>Activités industrielles</b>	<b>15</b>	<b>1,1</b>
<b>Élimination des ordures</b>	<b>26</b>	<b>1,9</b>
<b>Divers</b>	<b>49</b>	<b>3,6</b>
Feux de forêt	42	3,1
Essartage	7	0,5
<b>Total</b>	<b>1 359</b>	<b>100</b>

Source: Environnement Canada, *Inventaire national des rejets de polluants à l'atmosphère (1970)*, EPS 3-AP-73-2, janvier 1973, p. 12.

La Figure 2 montre les quantités de NO et de NO<sub>2</sub> dans la fumée provenant de divers genres de cigarettes du commerce. Il apparaît que la teneur en NO<sub>x</sub> augmente en général considérablement dans les dernières bouffées de fumée; que les NO<sub>x</sub> dans la fumée sont surtout constitués de NO, et qu'on a pu établir une relation directe entre la teneur du tabac en nitrates et la teneur de la fumée en NO<sub>x</sub>. Le tabac du Maryland ne contient que 0,1 pour cent de nitrates, alors que les cigarettes traitées aux nitrates en contiennent 5,8 pour cent. Comme la température du bout incandescent (température maximale de combustion) n'est que de 900 à 1 100°C, et que la durée de contact de l'air avec celui-ci est très courte, on estime que la quantité de NO<sub>x</sub> provenant de l'air par fixation de N<sub>2</sub> est faible comparativement à celle qui provient du tabac ou des nitrates ajoutés.

La Fondation des recherches de l'Ontario a mené des études qui ont confirmé l'inefficacité des filtres de cigarette, tels ceux au carbone activé ou à l'acétate de cellulose, pour arrêter soit le NO, ou le NO<sub>2</sub> contenu dans la fumée. Il est clair qu'une ambiance à forte teneur en NO<sub>x</sub> est notablement plus dangereuse pour la santé du grand fumeur que pour celle du non-fumeur<sup>8</sup>.

## Les sources des NO<sub>x</sub> et leur répartition dans le milieu ambiant

«La formation des oxydes d'azote résulte inmanquablement de l'utilisation des combustibles fossiles. Ceux-ci, au cours des prochaines décennies, resteront notre principale source d'énergie pour la production d'électricité et l'alimentation des moteurs de véhicules»<sup>9</sup>.

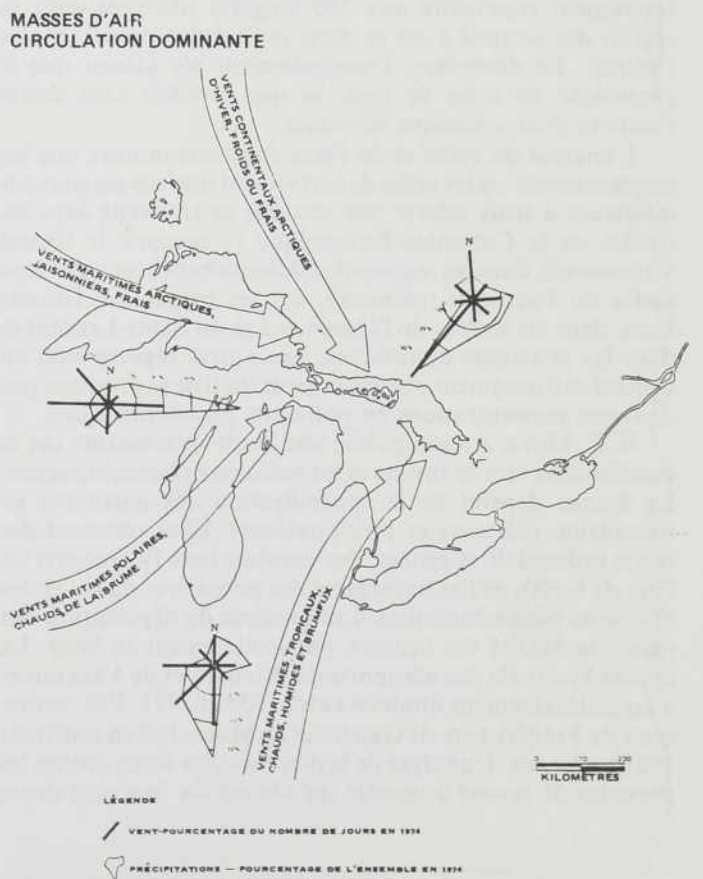
Deux tableaux, tirés de rapports récents publiés par Environnement Canada, fournissent la répartition des émissions de polluants dans l'atmosphère (voir les tableaux 1 et 2). Bien qu'une comparaison pondérale des polluants ne soit pas très éclairante, on remarque que seulement 4 pour cent des 31,2 millions de tonnes de polluants émis dans l'atmosphère en 1970 étaient des NO<sub>x</sub>. Ce sont les gaz d'échappement des moteurs à essence qui en ont constitué presque la moitié. Il n'est pas surprenant que l'Ontario ait produit 34 pour cent des rejets, suivi par le Québec, 22 pour cent et l'Alberta, 11 pour cent.

La mise à jour de ce relevé, en 1972, a révélé que le total du NO<sub>2</sub> rejeté au Canada a atteint 1,914 million de tonnes, soit une augmentation de presque 40 pour cent par rapport à 1970. On ne sait pas s'il s'agit là d'une augmentation réelle, car une partie peut provenir du changement de méthodes de relevés. Une certaine augmentation est probable, à cause de la croissance de la population et de l'expansion industrielle.

Pour l'étude de la dispersion des gaz, tels les NO<sub>x</sub>, émis par une cheminée d'usine ou une autre source, on dispose d'outils mathématiques permettant un calcul adéquat. Ces calculs de dispersion figurent dans les manuels de pollution de l'air, et dans divers documents officiels décrivant les méthodes de dépollution. Nous nous contenterons de conclure qu'il est possible de calculer les concentrations de NO<sub>x</sub> sous le vent de sources de caractéristiques connues, dans des conditions météorologiques données. On peut effectuer ces calculs pour une localité et un vent donné, et pour une zone plus grande en utilisant les conditions moyennes de vent.

R.E. Munn, du Conseil national de recherches, a décrit les facteurs climatologiques favorisant l'oxydation des polluants au Canada<sup>10</sup>. Il existe deux facteurs capitaux: le rayonnement solaire, et le relief, et l'état des vents.

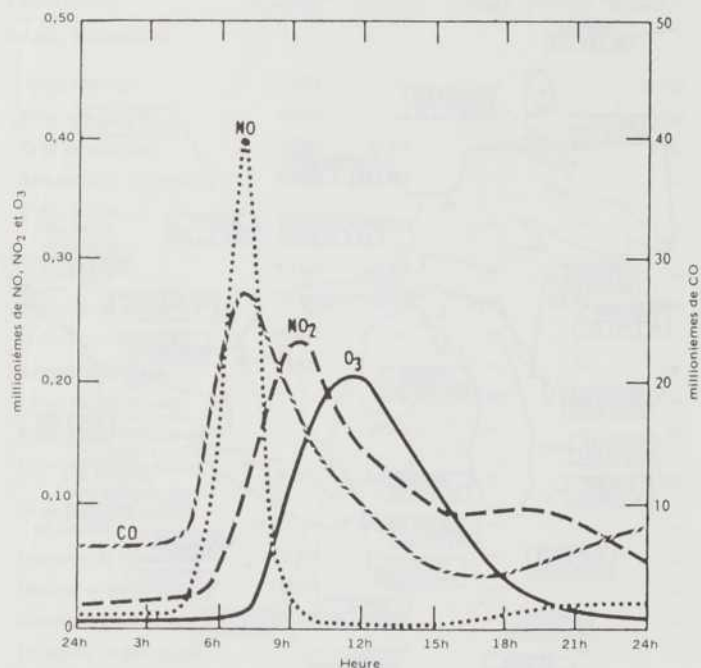
**Figure 3**  
Modèle des émissions par région et Masses d'air, circulation dominante



Source: D. Mackay et coll., 1976, Fig. 2.1

**Figure 4**

Concentrations pondérées sur une heure de certains polluants, à Los Angeles, Californie, le 19 juillet 1965.



Source: D. Mackay et coll., 1976, p. 17.

L'intensité du rayonnement solaire durant l'été canadien n'est pas un facteur limitatif de la synthèse photochimique des polluants. À Los Angeles, la moyenne quotidienne d'ensoleillement en juin, qui est de 575 langley\*, n'est que légèrement supérieure aux 550 langley observés dans la région des Grands Lacs et dans le Sud des provinces des Prairies. En décembre, l'ensoleillement n'y atteint que le cinquième de celui de juin, ce qui y réduit sans doute l'activité photochimique hivernale.

L'analyse du relief et de l'état des vents montre que les emplacements où les vents de surface ont une vitesse souvent inférieure à trois mètres par seconde se trouvent dans les vallées de la Colombie-Britannique (y compris le Grand Vancouver), dans les régions de l'Alberta exposées aux vents tièdes du Pacifique (*chinook*), sur les berges des Grands Lacs, dans les vallées de l'Outaouais et du Saint-Laurent et dans les provinces atlantiques. Les autres régions sont en général suffisamment venteuses pour qu'il ne se produise pas de fortes concentrations en polluants photochimiques.

R.E. Munn a aussi publié une étude intéressante sur la corrélation entre la brume et les polluants photochimiques. La brume dépend de la concentration des particules en suspension (aérosols et précipitations). Elles résultent des rejets industriels et autres, des combustions (y compris les feux de forêt), de l'entraînement des poussières du sol et des réactions photochimiques. Les mesures de dépollution ont réduit la densité des brumes, particulièrement en hiver. La brume hivernale des aéroports de Windsor et de Vancouver a considérablement diminué entre 1953 et 1971. Par contre, ceux de Frédéricton, de Gander et de Mont-Joli en souffrent beaucoup plus. L'analyse de la direction des vents durant les périodes de brume a montré qu'elle est six fois plus dense

lorsque les vents dominants viennent du sud et du sud-ouest. Il est vraisemblable que les panaches de fumée des usines du littoral atlantique des États-Unis transportent des polluants photosensibles dans l'Est canadien. La cause de cette densité plus grande de la brume est probablement photochimique car, au cours de la même période, les teneurs en particules ont diminué dans les villes étatsuniennes.

Une analyse similaire, réalisée par Melo et Phillips, leur a permis de conclure qu'une partie de la pollution oxydante mesurée à Toronto était attribuable aux rejets de polluants photosensibles dans la région Niagara Falls-Buffalo, sur l'autre rive du lac Ontario<sup>11</sup>.

Au cours de l'étude de la Commission mixte internationale sur la pollution des lacs Supérieur et Huron, on a mesuré les concentrations de polluants atmosphériques au-dessus du bassin septentrional des Grands Lacs. On en a dressé la matrice et on l'a introduite dans un modèle de transport atmosphérique qui a permis de calculer les quantités transportées et leur répartition ultérieure dans les Grands Lacs et le littoral septentrional des Grands Lacs. L'objectif principal était de calculer les quantités de ces matières tombant dans les Grands Lacs, et les apports des sources canadienne et étatsunienne<sup>12</sup>.

La Figure 3 indique les rejets estimés de  $\text{NO}_x$  et les mouvements dominants des masses d'air. Il est clair que les sources étatsuniennes de  $\text{NO}_x$  peuvent contribuer largement à la contamination des régions de l'Ontario méridional, à cause d'une dominance des vents venant du sud et de l'ouest.

La Commission mixte internationale a aussi pris l'initiative de faire étudier le déplacement des polluants atmosphériques dans la région de Windsor-Détroit, mais n'a fait entreprendre aucune étude particulière des  $\text{NO}_x$ . Il faudrait mettre sur pied un réseau étendu (et onéreux) de stations de prélèvements et élaborer des matrices informatiques complexes de données météorologiques et de chimie atmosphérique pour identifier les sources de  $\text{NO}_x$ , et mesurer leur apport dans une région donnée. Cet effort ne serait justifié qu'en cas de priorité de l'étude de la contamination par les  $\text{NO}_x$ . Les concentrations de  $\text{NO}_x$  dans l'atmosphère varient selon l'instant pour plusieurs raisons, dont les quantités rejetées, les conditions météorologiques locales et les variations diurnes des réactions photochimiques. On note les fluctuations évidentes des quantités de polluants rejetés par les automobiles au cours des pointes de circulation du matin et du soir, et par le chauffage domestique, les centrales énergétiques, les activités industrielles (en particulier au cours des traitements discontinus), et l'incinération d'ordures par les services municipaux. Les conditions météorologiques urbaines subissent un changement diurne pouvant créer des îlots thermiques qui capturent les polluants. Ce phénomène se produit surtout dans les conurbations où le relief local accentue cette accumulation, comme à Los Angeles. Le rayonnement solaire varie également selon la latitude, la saison et l'heure, la nébulosité, et on observe une variation naturelle de la vitesse des vents et de la température.

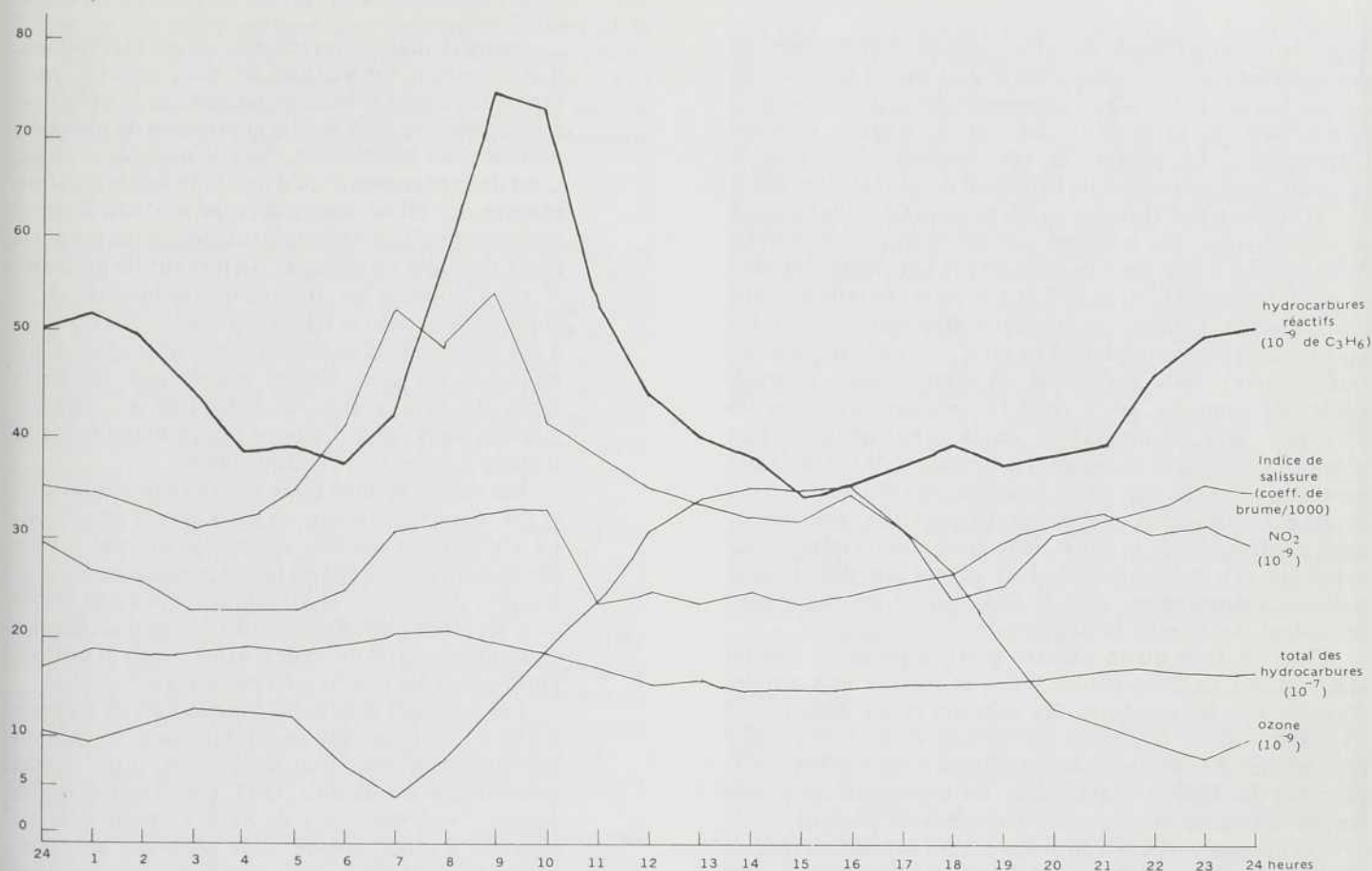
Il en résulte que les concentrations des  $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$  et oxydants varient de façon complexe, et seulement en partie prévisible ou intelligible, au cours de la journée et jour après jour. La Figure 4 montre un diagramme diurne typique pour le  $\text{NO}$ , le  $\text{NO}_2$  et l' $\text{O}_3$  à Los Angeles.

Avant l'aube, la teneur de l'atmosphère en  $\text{NO}_x$  est généralement assez constante. Durant la pointe de circulation du matin, les teneurs de  $\text{NO}_x$  augmentent à cause du rejet de  $\text{NO}$  et de  $\text{NO}_2$ . L'augmentation de l'intensité du rayonnement solaire ouvre le cycle de photolyse du  $\text{NO}_2$  en

\* langley: unité d'ensoleillement équivalant à une calorie par centimètre carré de surface irradiée.

**Figure 5**

Variations quotidiennes de la teneur en contaminants, en septembre 1975, à la hauteur du 67 College Street, Toronto.



Source: D. Mackay et coll., 1976, Fig. 2.3.

NO et ozone, et de combinaison de celui-ci avec le NO, augmentant la concentration de NO<sub>2</sub> et diminuant celle de NO. La teneur en oxydants augmente en général durant la matinée, pour atteindre un maximum vers midi. Au milieu de l'après-midi, le rayonnement solaire diminue d'intensité. La circulation de l'après-midi accroît la teneur de l'atmosphère en NO<sub>x</sub>, dont la concentration augmente encore à cause de la combinaison photochimique de l'ozone présent et du NO en NO<sub>2</sub>. L'accroissement de la concentration vespérale en NO<sub>x</sub> dépend largement des mécanismes de dispersion atmosphérique.

Bien qu'on n'ait pas observé au Canada la concentration diurne de NO<sub>x</sub> qui prévaut à Los Angeles, probablement à cause du relief différent de la plupart des villes canadiennes, des processus similaires s'y déroulent sûrement. La Figure 5 reproduit les diagrammes recueillis à Toronto par S. Barton, de la Fondation des recherches de l'Ontario, dans le but de mettre en relief l'évolution diurne des contaminations. On est frappé, non par la concentration des NO<sub>x</sub>, mais plutôt par l'augmentation nette de la teneur en hydrocarbures réactifs produits sans doute par la pointe de circulation du matin<sup>13</sup>.

## Effets nocifs de l'exposition aux oxydes d'azote

Selon le Comité d'étude des effets sanitaires et biologiques des polluants de l'ambiance auprès du Conseil national des recherches des É.-U.: «On a récemment recueilli des preuves nombreuses de la nocivité des oxydes d'azote polluant l'atmosphère. La plupart de ces données concernent le mauvais fonctionnement de l'appareil pulmonaire résultant de l'exposition de l'Homme ou des animaux de laboratoire à ce contaminant. On présume que ce mauvais fonctionnement conduit à une maladie pulmonaire chronique (emphyseme ou bronchite), ou accroît la gravité d'une telle maladie déjà présente. Comme ces maladies affectent un pourcentage notable de la population (4 pour cent de la population étatsunienne), cette hypothèse est d'importance considérable. Récemment, on a relié l'exposition aux oxydes d'azote à une augmentation de la prédisposition aux infections respiratoires aiguës. La fréquence de ces maladies peut avoir des conséquences économiques et sociales d'envergure. L'exposition au dioxyde d'azote ( $\text{NO}_2$ ) peut causer aussi des troubles de la vue et de l'odorat, dont l'importance médicale est indéterminée. Des divers oxydes d'azote polluant l'atmosphère, c'est le  $\text{NO}_2$  qui est de loin le plus important sur le plan biologique»<sup>14</sup>.

C'est en 1956 qu'on observa pour la première fois les effets nocifs de l'exposition brève et intense aux oxydes d'azote chez les soudeurs, les mineurs et les ensileurs: il s'agissait surtout d'œdème pulmonaire et de bronchiolite oblitérante. En cas d'exposition intense n'entraînant pas la mort ou des lésions irréversibles, un traitement approprié permet d'obtenir une guérison complète ou presque.

On n'a guère recueilli de données sur l'exposition répétée aux oxydes d'azote. On n'a pas, jusqu'à ce jour, la preuve expresse qu'elle cause un péril quelconque; cependant, la lente multiplication d'expositions répétées est parallèle à celle des maladies pulmonaires. Sur place, le médecin peut difficilement établir la corrélation entre maladie et exposition. Les deux groupes les plus vulnérables à celle-ci sont les anciens malades affaiblis et les jeunes enfants. Après un effet initial de réduction de la résistance aux maladies respiratoires ou aux infections pulmonaires, l'exposition prolongée et intermittente aux  $\text{NO}_x$  ne semble plus réduire la résistance à l'infection. L'expérimentation sur les animaux montre même une récupération partielle de cette résistance.

Il est important de surveiller la morbidité respiratoire dans la population générale, mais il n'est pas facile de relier les maladies pulmonaires à l'exposition à un polluant atmosphérique particulier, tel le  $\text{NO}_2$ , d'autant que la présence concomitante d'autres polluants, tel le  $\text{SO}_2$  ou la fumée de tabac, pourrait produire des effets synergiques. Comme les études épidémiologiques sont coûteuses et difficiles, les efforts prophylactiques ont une grande importance. La norme japonaise de concentration maximale admissible pondérée sur 24 heures (*TLV*) est de 0,02 millionième. Il n'existe pas de preuve formelle qu'une exposition à de l'air contenant jusqu'à 0,1 millionième de  $\text{NO}_x$  soit nocive pour l'Homme. Au Canada, cette norme de concentration maximale admissible est de 0,05 millionième<sup>15</sup>.

Le Comité d'étude des effets sanitaires et biologiques des polluants de l'ambiance auprès du Conseil national des recherches des États-Unis a formulé les observations suivantes au sujet des études de toxicité en laboratoire:

«L'intérêt accordé à la toxicité du dioxyde d'azote a suscité de nombreuses recherches sur les animaux de

laboratoire. On a établi les corrélations entre exposition et mortalité, physiologie et pathologie respiratoires, résistance pulmonaire aux infections et, dans certains cas, dérèglements hors de l'appareil pulmonaire.

Avant d'analyser les résultats de ces expériences, il faut insister sur certains de leurs aspects. Dans l'environnement urbain, la nocivité de la pollution atmosphérique provient de la présence de plusieurs polluants en interaction, dont le dioxyde d'azote. C'est dans ce contexte qu'il faut faire une évaluation réaliste des effets nocifs de celui-ci... On dispose maintenant d'une vaste information concernant les effets toxiques du dioxyde d'azote sur les animaux et sur l'Homme; les progrès des techniques de la chimie permettent la mesure précise de l'exposition à des mélanges de polluants atmosphériques. C'est pourquoi on peut étudier maintenant les effets aigus de l'exposition de l'Homme au dioxyde d'azote, dans des conditions ressemblant de façon réaliste à celles de l'environnement.

Les ressemblances entre animaux de laboratoire et l'Homme constituent un autre aspect important. La physiologie animale ressemble souvent à celle des hommes, mais elle ne lui est pas identique... Les grandes différences anatomiques... peuvent expliquer les effets pathologiques différents d'identiques concentrations de dioxyde d'azote, rendant difficile l'utilisation des résultats en pathologie humaine.

Les quelques études sur l'inhalation de dioxyde d'azote montrent que ce contaminant se répartit probablement dans tout le poumon, et qu'un fort pourcentage est dissous. G.D. von Nieding et son équipe... ont noté que de 81 à 87 pour cent du dioxyde d'azote inspiré sont absorbés au cours d'une inspiration normale, et que 90 pour cent sont absorbés au cours d'une inspiration profonde... Bien qu'on n'ait pas effectué d'études plus rigoureuses de la répartition et de l'absorption du  $\text{NO}_2$  dans le poumon, comme on l'a fait pour le dioxyde de soufre, ont croit que la plupart du polluant est absorbé dans tout le poumon»<sup>16</sup>.

### Maladies résultant d'une exposition intense aux $\text{NO}_x$ .

La section ci-après est largement basée sur le rapport *Biological Effects of Exposure to Oxides of Nitrogen*, rédigé par L. Knight et P.T. Macklem.

#### Oedème pulmonaire:

L'exposition intense à des concentrations de  $\text{NO}_x$  atteignant 500 millionièmes produit un oedème pulmonaire aigu (voir le Tableau 3), débutant dans les 48 heures suivantes. Bien que cette exposition soit généralement mortelle l'administration de corticostéroïdes peut causer une amélioration impressionnante. La physiopathologie de cet oedème est semblable à celle d'un oedème pulmonaire aigu de toute autre étiologie. Les alvéoles se remplissent de liquide bloquant l'accès de l'air et produisant un déséquilibre entr ventilation et débit sanguin capillaire, et de l'hypoxémie. L'oedème résulte probablement d'une augmentation de la perméabilité des capillaires pulmonaires, provenant d'une détérioration des cellules alvéolaires et capillaires. Le processus de détérioration de ces cellules est incertain. Le  $\text{NO}_x$  oxyde les acides gras polydésaturés et donne les hydroperoxydes correspondants.

Ses effets sur les protéines et les acides aminés sont incertains, mais il se peut que ces derniers, présents dans les molécules de protéine, soient oxydés ou que les liaisons hydrogène soient rompues. Cette action expliquerait l'effet inhibiteur du NO<sub>2</sub> sur les enzymes. En tout cas, une réaction inflammatoire aiguë accompagne l'œdème. Au cours de la guérison, on observe une prolifération des cellules alvéolaires de type II. On indique que, dans certains cas, une prolifération de fibroblastes se produit et qu'une fibrose pulmonaire s'ensuit, bien que les preuves de ce phénomène ne soit pas convaincantes.

#### *Bronchiolite oblitérante:*

L'exposition intense à des concentrations plus faibles de NO<sub>x</sub> (de l'ordre de 150 millièmes) cause une bronchiolite oblitérante après 2 à 5 semaines. On indique généralement que la phase d'œdème aigu qui apparaît plusieurs heures après l'exposition, et qui semble disparaître spontanément, est suivie après quelques semaines par une rechute de détresse respiratoire et d'une bronchiolite aiguë, qui peut être mortelle. Cette évolution semble rare. M.R. Becklake et coll. rapportent des anomalies persistantes du fonctionnement des poumons à la suite d'un œdème.

Mais, dans ces cas, la bronchiolite présumée présentait des symptômes insidieux, car aucun de ces malades ne fit une maladie clinique aiguë à la suite de la disparition de l'œdème pulmonaire<sup>17</sup>. C'est pourquoi, dans la plupart des cas, l'œdème pulmonaire n'est pas suivi d'une bronchiolite oblitérante aiguë, bien que certaines altérations chroniques puissent se manifester. La plupart de ceux qui souffrent de bronchiolite oblitérante aiguë l'ont contractée comme première manifestation clinique de l'exposition aux NO<sub>x</sub>. Elle peut être mortelle, mais les corticostéroïdes constituent un traitement efficace.

Le processus de l'obstruction des bronchioles présente un intérêt particulier. L'obstruction chronique irréversible des voies respiratoires est aussi caractérisée par une obstruction des bronchioles. On a accusé la pollution atmosphérique d'être à l'origine de ce grave problème d'hygiène publique. Si l'exposition intense à une forte contamination peut causer une bronchiolite oblitérante aiguë, mortelle par obstruction des voies respiratoires et hypercapnie (augmentation de l'acide carbonique du sang), l'exposition prolongée à de faibles contaminations produit-elle aussi une bronchiolite chronique, où l'obstruction chronique et irréversible des voies respiratoires conduirait à la mort par suite d'une défaillance respiratoire? L'exposition aux NO<sub>x</sub> est-elle une cause étiologique dans la pathogénie de l'obstruction chro-

nique et irréversible des voies respiratoires? Nous allons examiner la pathogénie, la physiopathologie et la pathologie de la bronchiolite oblitérante pour répondre à cette question.

#### **Pathogénie:**

Les NO<sub>x</sub> sont des gaz relativement insolubles. L'analyse théorique de la contamination des tissus durant une exposition intense à ces gaz révèle que les bronchioles sont les plus affectées. Avant qu'un équilibre ne soit atteint (moins de 15 minutes d'exposition), la concentration des gaz toxiques inspirés est plus forte dans la zone de ventilation pulmonaire, et moins forte dans la zone de ventilation alvéolaire, parce qu'ils sont dilués par le gaz alvéolaire. Le gradient de concentration de haut en bas des voies aériennes est élevé pour un gaz soluble, mais faible pour un gaz insoluble. Les parois des principales voies respiratoires sont beaucoup plus épaisses que celles des plus petites. C'est pourquoi la teneur des parois des bronchioles en gaz insolubles, tels les NO<sub>x</sub>, est plus élevée que celle des parois des bronches.

Ce sont donc les bronchioles qui seront les plus affectées lors d'une exposition brève et intense à ces contaminants. Au cours d'une exposition plus longue, où l'équilibre est atteint, les concentrations en contaminants du gaz alvéolaire et du gaz des voies aériennes sont égales, et les bronchioles ne seraient pas affectées de façon préférentielle. Cette opinion paraît se vérifier dans le cas où les concentrations de NO<sub>x</sub> dans l'air inspiré sont insuffisantes pour causer une détérioration des alvéoles.

#### **Pathologie:**

La bronchiolite causée par une exposition brève et intense au NO<sub>2</sub> apparaît à la radiographie sous forme de nodosités en grains de mil. Cette manifestation est généralement postérieure à la détresse respiratoire. Les nodules multiples et séparés peuvent s'associer par coalescence. Ce phénomène peut disparaître, en général après que les autres symptômes cliniques ont disparu.

#### **Physiopathologie:**

Il n'existe que bien peu d'études sur le fonctionnement anormal des poumons sous intoxication aiguë par les NO<sub>x</sub>. Cependant, M.R. Becklake et coll. rapportent des anomalies persistantes du fonctionnement des poumons à la suite d'un œdème pulmonaire aigu causé par l'obstruction des voies respiratoires, probablement les bronchioles<sup>18</sup>. Ils ont observé une réduction de la capacité pulmonaire totale (CPT) et une augmentation de la résistance à l'écoulement de l'air dans les voies aériennes, non réduite par le traitement bronchodilatateur. La mesure de la ventilation pulmonaire leur a montré une augmentation des rapports volume résiduel/CPT et capacité résiduelle fonctionnelle/CPT, due en partie à une réduction du CPT, et indiquant un accroissement de l'élasticité du poumon, plutôt qu'une diminution, comme dans le cas de l'emphysème. Ainsi, l'anomalie de fonctionnement provient à la fois d'une constriction et d'une obstruction. L'obstruction des voies aériennes n'est probablement pas due à l'augmentation du tonus des muscles bronchiaux lisses, vu l'inaction des bronchodilatateurs. Les anomalies de fonctionnement disparaissent graduellement après quelques semaines et quelques mois. G.M.P. Leib et coll., ont cité le cas d'un fumeur de 28 ans souffrant d'une obstruction chronique grave des voies aériennes, d'un débit d'expiration réduit et d'hypocapnie, mais ayant un CPT normal<sup>19</sup>. Ce malade avait subi une attaque d'œdème pulmonaire après une exposition à des gaz d'ensilage. Il était ensuite continuellement à bout de souffle au moindre effort, bien qu'il n'ait aucunement souffert de bronchiolite aiguë, et que les radiographies n'aient

**Tableau 3**

*Effets pathologiques de l'exposition brève et intense aux NO<sub>x</sub>*

Contamination (millièmes)	Effet	Latence
500	œdème pulmonaire aigu et mortel	dans les 48 heures
300	inflammation aiguë; bronchopneumonie	2 — 10 jours
150	Bronchiolite oblitérante	2 — 5 semaines
50	Bronchiolite, guérison de pneumonite localisée	6 — 8 semaines
28	Bronchite, pneumonite	6 — 8 semaines
15	irritation des yeux et du nez	

Source: L. Knight, P.T. Macklem, *Biological Effects of Exposure to Oxides of Nitrogen*, 1976, tableau I.

montré que des signes bronchovasculaires accentués dans le champ pulmonaire supérieur.

D'après les observations disponibles, il semble que la bronchiolite oblitérante puisse prendre la forme, soit d'une maladie aiguë fébrile, parfois mortelle avec angoisses respiratoires et nombreux nodules visibles à la radiographie pulmonaire, soit d'une maladie plus insidieuse, sans modification visible à la radiographie ni fièvre aiguë, mais accompagnée d'obstruction chronique irréversible des voies aériennes, sans perte d'élasticité pulmonaire. On ne sait si ce symptôme peut conduire à une défaillance respiratoire chronique avec hypercapnie.

Une étude de suivi sanitaire des survivants de l'incendie de la *Cleveland Clinic* a montré que le taux de survivance des individus exposés aux gaz était le même que celui des personnes sinistrées, mais non exposées aux gaz.

### *Pneumonie:*

Outre les bronchiolites, des bronchopneumonies aiguës sont fréquemment observées à la suite d'une exposition aux  $\text{NO}_x$ . Elles pourraient bien résulter d'une paralysie des mécanismes de défense pulmonaire. Au cours d'études expérimentales, on a observé que le  $\text{NO}_2$  inhibe l'activité phagocytaire des macrophages alvéolaires, réduit la rapidité d'élimination des bactéries de l'arbre trachéo-bronchique, et peut paralyser les fonctions des cils vibratiles et réduire la résistance aux infections virales et bactériennes.

### *Groupes démographiques courant un risque:*

Ce sont les ensileurs, les soudeurs, les chimistes, les pompiers et les ouvriers des usines d'acide nitrique. De plus, le rapport du directeur des services d'hygiène (*Surgeon general*) des É.-U. sur la fumée de cigarette (1964) souligne que celle-ci contient 250 millionnièmes de  $\text{NO}_2$  à l'inhalation. La concentration de  $\text{NO}_2$  inhalée dépend du volume des bouffées et du volume courant pulmonaire (*tidal volume*). Il est surprenant qu'on ait négligé ce fait jusqu'à présent. Il semble que les fumeurs de cigarettes constituent le plus nombreux groupe démographique courant des risques sanitaires. On sait qu'avec leur famille, ils subissent une forte incidence des infections respiratoires, et leurs bronchioles sont souvent enflammées et obturées.

### **Effets de l'exposition répétée à une faible contamination en $\text{NO}_x$**

On ne dispose que d'une information fragmentaire au sujet des effets de l'exposition répétée de l'Homme à une faible contamination en  $\text{NO}_x$ . Il existe une corrélation entre les taux de contamination et la mortalité par artériosclérose du coeur et cancer du poumon, même pour des niveaux de  $\text{NO}_x$  inférieurs à la norme maximale générale de 0,05 millionnième. On n'a apparemment pas encore effectué d'enquête sur la contamination par les  $\text{NO}_x$  des ambiances de travail dans la soudure et les usines d'acide nitrique. S.N. Rokaw et B. Burrows n'ont trouvé aucune corrélation entre le fonctionnement des poumons des malades souffrant d'obstruction chronique des voies aériennes et les taux de contamination de l'ambiance par les  $\text{NO}_x$ <sup>20</sup>. La plupart des recherches épidémiologiques sur les relations entre symptômes pulmonaires et fonctionnement du poumon négligent l'étude de l'exposition aux  $\text{NO}_x$ . F.E. Adley indique que l'exposition des travailleurs à des concentrations de 25 à 38 millionnièmes de  $\text{NO}_x$  ne produit aucun changement physiologique mesurable<sup>21</sup>. Il serait pourtant bien nécessaire d'étudier les effets de la contamination à divers teneurs de  $\text{NO}_x$ , tant dans l'industrie que dans les collectivités.

C.A. Cohen a effectué une telle étude en comparant l'incidence des infections respiratoires et le fonctionnement pulmonaire chez les non-fumeurs (Adventistes du 7<sup>e</sup> jour) de la vallée de San Gabriel et chez ceux de San Diego<sup>22</sup>. Dans la vallée de San Gabriel, le nombre de journées où l'atmosphère a contenu plus de 0,15 millionnième d'oxydants (moyenne des concentrations maximales horaires) a été sept fois celui observé à San Diego. La moyenne quotidienne des concentrations maximales horaires était deux fois plus élevée dans la vallée de San Gabriel. Ces deux groupes démographiques de non-fumeurs ont connu une faible incidence de bronchite chronique, et on n'a observé aucune différence d'incidence des infections respiratoires et de fonctionnement pulmonaire. On notera qu'aucun des deux groupes n'a été soumis à une contamination dépassant la norme étatsunienne maximale de 0,055 millionnième de  $\text{NO}_2$ .

On a pourtant fait des observations différentes sur les écoliers de 8 ans des classes de seconde année de quatre écoles de Chattanooga. L'une de celles-ci était située près d'une usine trinitrotoluène, et les écoliers y étaient exposés à des teneurs moyennes de 0,109 millionnième de  $\text{NO}_2$ . Les écoliers des trois autres établissements étaient exposés à des teneurs d'environ 0,05 millionnième de  $\text{NO}_2$ . Les chercheurs observèrent des différences faibles, mais significatives, du volume expiratoire maximum au bout de 0,75 seconde (*Forced expiratory volume, 0.75*) des écoliers exposés à la plus forte contamination en  $\text{NO}_2$ . Dans leurs familles, les chercheurs observèrent une incidence des maladies respiratoires dépassant la moyenne de 19 pour cent. Les résultats sont discutables, car la diminution du volume expiratoire maximum était inférieure à la précision du spiromètre utilisé. De plus, la mesure des teneurs de  $\text{NO}_2$  a soulevé des difficultés techniques.

Ces études sont corroborées par les recherches de S.M. Ayres sur le fonctionnement de l'appareil pulmonaire des employés de la *Triborough Bridge and Tunnel Authority* de New York<sup>23</sup>. Les employés travaillant dans les tunnels avaient été exposés pendant quelques années à des teneurs moyennes de 0,38 millionnième en  $\text{NO}_x$  pondérées sur 30 jours. Certaines teneurs maximales horaires dépassaient 6 millionnièmes. Ces employés souffraient d'une plus grande incidence des maladies respiratoires que ceux qui travaillaient sur les ponts. Le volume résiduel des poumons de ces employés non-fumeurs était supérieur à celui de 30 employés d'hôpital non-fumeurs; ce qui indique probablement une détérioration des bronchioles et vaisseaux alvéolaires des premiers. On ne peut attribuer directement cette dernière à la seule action des  $\text{NO}_x$ , car les employés avaient été exposés à tous les composants des gaz d'automobile. Il faudrait corroborer ces résultats et, en attendant, accepter les preuves recueillies d'une augmentation de la fréquence des infections respiratoires chez les personnes exposées constamment à une faible contamination en  $\text{NO}_2$ . On ne peut encore affirmer que l'exposition répétée à de fortes contaminations ou l'exposition permanente sont responsables d'une prédisposition accrue aux infections.

### **Effets de l'exposition expérimentale au $\text{NO}_2$**

G.D. von Neiding et coll. ont exposé, dans une série de publications<sup>24</sup>, les résultats d'une étude très complète des effets de l'exposition expérimentale de sujets humains au  $\text{NO}_2$ . Dix minutes après 30 inspirations d'air contenant de 1 à 5 millionnièmes de  $\text{NO}_2$ , ou un séjour de 10 à 15 minutes dans l'air contenant 5 millionnièmes, causaient une augmentation de la résistance à l'écoulement de l'air dans les voies aériennes des sujets normaux. Cet effet était observable même pour des expositions à l'air ne contenant que 1,6 à 2 millionnièmes de

NO<sub>2</sub>, et il était plus marqué pour cette dernière teneur (voir le Tableau 4). Mais les valeurs-témoins choisies pour la résistance paraissent anormalement élevées. Parallèlement à l'augmentation de la résistance à l'écoulement de l'air, les auteurs ont observé un ralentissement de la diffusion du gaz dans le poumon. Ultérieurement, ils ont montré qu'on pouvait empêcher l'augmentation de résistance grâce à l'administration d'une antihistamine (la méclastine), mais non par blocage du système parasympathique avec de l'atropine ou par stimulation adrénérique avec de l'orci-prénaline.

Les chercheurs obtinrent des résultats semblables chez des malades souffrant de bronchite chronique. Chez ces malades, l'inhalation d'air contenant 2, 4 et 5 millionnièmes de NO<sub>2</sub> pendant 15 minutes, ou 30 inspirations d'air contenant entre 0,5 et 5 millionnièmes de ce gaz causaient une augmentation de la résistance à l'écoulement de l'air dans les voies aériennes immédiatement après l'arrêt de l'exposition, un ralentissement de la diffusion du gaz dans le poumon et un accroissement des différences de pressions alvéolaire et artérielle pour O<sub>2</sub>. La méclastine faisait disparaître ces symptômes.

Ces constatations suggèrent l'existence d'une réaction bronchoconstrictive à l'exposition à un air contenant de 1,6 à 5 millionnièmes de NO<sub>x</sub> pendant 15 à 60 minutes. Elle peut provenir de la libération d'histamine. Dans l'affirmative, la réaction pourrait se produire à la périphérie des bronchioles et des vaisseaux alvéolaires, sans doute principaux sites d'action directe de l'histamine sur les muscles lisses des voies aériennes. La plupart des effets de l'histamine sur les poumons normaux dépendent d'un réflexe du nerf pneumogastrique, réflexe bloqué par l'atropine.

D'autres chercheurs ont effectué des études complémentaires sur l'intoxication aiguë, dont les conclusions confirment l'augmentation de la résistance à l'écoulement de l'air dans les voies aériennes, après un délai de 10 à 30 minutes suivant l'exposition aux NO<sub>x</sub>. T. Susuki a trouvé que l'exposition à l'air contenant de 0 à 2 millionnièmes de NO<sub>x</sub> pendant 10 minutes cause une augmentation de 50 pour cent de cette résistance après un délai de dix minutes. M. Abe, après avoir exposé des volontaires normaux pendant 10 minutes à de l'air contenant de 4 à 5 millionnièmes de NO<sub>x</sub>, a trouvé que la résistance augmentait de 92 pour cent après un délai de 30 minutes. K. Nakamura a fait respirer de l'air contenant de 6 à 40 millionnièmes de NO<sub>x</sub> à des sujets bien portants pendant 5 minutes, et il a trouvé que la résistance augmentait de 24 pour cent à la fin de l'inhalation<sup>25</sup>.

Un article publié par J. Orehek et coll. indique que: «l'exposition de sujets asthmatiques à de l'air contenant 0,2

millionième de NO<sub>2</sub> pendant 2 heures cause une augmentation des effets bronchoconstrictifs d'un médicament appelé carbachol<sup>26</sup>. Cette étude pourrait bien indiquer que l'augmentation de la morbidité asthmatique résulte d'une exposition à de l'air contenant du NO<sub>x</sub> à ces concentrations.

Il semble acquis que l'augmentation de la résistance à l'écoulement de l'air dans les voies aériennes est l'un des effets d'une exposition brève et intense à l'air contaminé par les NO<sub>2</sub>. Il existe des indications et des raisons théoriques de placer les constriction à la périphérie des bronchioles et des vaisseaux alvéolaires. Comme ces voies aériennes ne contribuent normalement qu'assez peu à la résistance totale, cette dernière ne reflète que faiblement leur état de constriction<sup>27</sup>.

### Résumé des répercussions de l'exposition aux NO<sub>x</sub> sur la santé

Le Comité d'étude des effets sanitaires et biologiques des polluants de l'ambiance auprès du Conseil national des recherches des États-Unis a résumé les effets de l'exposition brève et intense et de l'exposition répétée aux NO<sub>x</sub> :

#### Effets de l'exposition brève (moins de 24 heures)

«L'exposition des animaux de laboratoire au dioxyde d'azote réduit rapidement leur résistance aux infections respiratoires... L'action du dioxyde d'azote semble due à des altérations des mécanismes de défense spécifiques, y compris la population de macrophages alvéolaires, la structure anatomique des poumons et l'immunité humorale.

L'exposition brève des animaux engendre d'autres effets, telles diverses anomalies physiologiques et pathologiques...

Les études sur les volontaires ont fourni des données précises sur les effets aigus du dioxyde d'azote. Ce sont les organes des sens qui y réagissent les premiers. L'odeur du dioxyde d'azote est perçue dès la teneur de 0,23 mg/m<sup>3</sup> (0,12 millionième); des modifications à l'adaptation de la vision à l'obscurité se produisent après exposition à de l'air contenant de 0,14 à 0,50 mg/m<sup>3</sup> (0,075 à 0,26 millionième). Ces effets sont immédiatement réversibles, et on n'a observé aucun indice de séquelle pathologique.

Trois études ont montré qu'il se produit une augmentation de la résistance des voies aériennes à l'écoulement de l'air après des expositions de 15 à 45 minutes à une atmosphère contenant de 2,8 à 3,8 mg/m<sup>3</sup> (1,5 à 2,0 millionnièmes) de dioxyde d'azote. Bien que l'augmentation de cette résistance soit réversible, elle peut avoir un effet malencontreux sur les asthmatiques ou les malades souffrant d'une obstruction chronique et avancée des voies aériennes du poumon. On n'a pas publié de mesures de paramètres plus sensibles du mauvais fonctionnement du poumon, tels les indices de résistance des voies aériennes de faible diamètre et de débit sanguin capillaire.

La littérature technique ne fournit guère de données sur les effets sanitaires d'expositions répétées mais brèves (de 2 à 4 heures) au dioxyde d'azote, ou d'expositions à ce gaz associé à d'autres polluants ordinaires de l'environnement... C'est pourquoi il faudrait étudier les interactions possibles entre le dioxyde d'azote et d'autres polluants atmosphériques avant d'assurer que les expositions brèves à de l'air contenant moins de 2,8 mg/m<sup>3</sup> (1,5 millionième) de dioxyde d'azote, ainsi que d'autres polluants, n'accroissent pas cette résistance.

Des expositions accidentelles ont permis d'établir que le seuil de concentration mortelle de dioxyde d'azote pour l'Homme était de 282 mg/m<sup>3</sup> (150 millionnièmes). La mort était produite par oedème pulmonaire ou bronchiolite fibrineuse oblitérante. L'inhalation d'air contenant de 47 à 140 mg/m<sup>3</sup> (25 à 75 millionnièmes) de NO<sub>2</sub> produit une

Tableau 4

Influence du NO<sub>2</sub> sur la résistance des voies aériennes à l'écoulement de l'air

Concentration du NO <sub>2</sub>	Résistance en cm H <sub>2</sub> O/Ls <sup>-1</sup> Avant exposition	Après exposition (30 inspirations)
≤ 1,0	5,01	5,0
1,1 — 1,5	4,77	4,6
1,6 — 2,0	5,63	6,44
2,1 — 2,5	3,95	5,1
> 2,5	5,84	7,3

Source: L. Knight, P.T. Macklem, op. cit. 1976, Tableau 2

pneumonie réversible et une bronchiolite. La seule étude suivie des survivants à une exposition brève à de l'air contenant une forte proportion de dioxyde d'azote n'a pas mis en relief de séquelles par raccourcissement de la vie<sup>28</sup>.

### Effets chroniques de l'exposition de longue durée au dioxyde d'azote

«Comme pour l'exposition brève, il semble que l'indice le plus sensible de la détérioration produite par l'exposition de longue durée au dioxyde d'azote soit la diminution de résistance aux infections pulmonaires. Celles des muridés [rats, etc.] diminuent après une exposition continue pendant 3 mois, ou des expositions quotidiennes intermittentes pendant 6 mois ou plus, à de l'air contenant 0,9 mg/m<sup>3</sup> (0,5 millionième) de dioxyde d'azote. On a signalé des résultats similaires pour des simiens exposés pendant 2 mois à une atmosphère contenant 9,4 mg/m<sup>3</sup> (5,0 millionièmes) de dioxyde d'azote. On a relié la pneumonie et la mort à une résistance plus faible aux infections, et on a observé des déficiences immunologiques non reliées à des infections apparentes après des expositions prolongées à de l'air contenant 1,8 mg/m<sup>3</sup> (1,0 millionième) de NO<sub>2</sub>. Une teneur de 0,94 mg/m<sup>3</sup> (0,5 millionième) dans les mêmes conditions provoque des dérangements pathologiques, tels que la perte de cils vibratiles, la désorganisation des cellules alvéolaires et l'obstruction des bronchioles des poumons des souris et des rats.

L'exposition de longue durée à une atmosphère contenant 9,4 mg/m<sup>3</sup> (5,0 millionièmes) de NO<sub>2</sub> ou plus cause le halètement et l'augmentation de la résistance des voies aériennes à l'écoulement de l'air chez les rongeurs et les simiens. Les lapins souffrent d'un dérangement plus sérieux des fonctions respiratoires par réduction de l'oxygénation sanguine après un long séjour dans une atmosphère contenant 15 mg/m<sup>3</sup> (8,0 millionièmes) de NO<sub>2</sub>.

On a fait des études limitées sur l'exposition d'animaux de laboratoire à des mélanges de polluants, dont le dioxyde d'azote. L'association de celui-ci avec l'oxyde de carbone, l'ozone ou le dioxyde de soufre produit généralement des effets qui peuvent être additifs ou non. À part une exception d'importance négligeable, on n'a pas signalé, à notre connaissance, d'effet synergique ou antagoniste.

Les études épidémiologiques montrent aussi un accroissement des maladies pulmonaires aiguës après une exposition au dioxyde d'azote des populations en bonne santé. Quatre études indiquent un rapport général entre des expositions à un air contenant de 0,10 à 0,58 mg/m<sup>3</sup> (0,053 à 0,31 millionième) de dioxyde d'azote et l'accroissement des maladies respiratoires. Cependant, la diversité de l'exposition aux polluants et les conditions d'étude rendent difficile la quantification du rapport direct entre dioxyde d'azote et accroissement des maladies pulmonaires. En effet, l'air utilisé contenait d'autres polluants pouvant accroître la prédisposition aux infections pulmonaires (dioxyde de soufre, acide sulfurique, sulfates, nitrates, etc.).

Les conclusions de deux études épidémiologiques incluant la mesure de la fonction de ventilation suggèrent que des teneurs de 0,15 à 0,3 mg/m<sup>3</sup> (0,08 à 0,16 millionième) de dioxyde d'azote en présence d'autres polluants peuvent altérer cette fonction. Ces effets n'ont pas été signalés dans deux autres études sur l'action de l'air contenant moins de 0,15 mg/m<sup>3</sup> (0,08 millionième) de NO<sub>2</sub>, en association avec d'autres polluants. La concentration de NO<sub>2</sub>, seuil à partir de laquelle la fonction de ventilation est dérangée, dépend de la nature des autres polluants et de conditions atmosphériques qui, au cours des expériences, n'ont pas été toutes relevées.

La mise en relief d'un rapport entre des maladies pulmonaires chroniques et les teneurs de l'atmosphère en dioxyde d'azote ne prouvent pas que les fortes teneurs en d'autres polluants n'en soient pas la cause. Trois chercheurs n'ont pu détecter un accroissement de l'incidence des maladies pulmonaires chroniques parmi les gens respirant un air dont la teneur en dioxyde d'azote était inférieure à 0,10 mg/m<sup>3</sup> (0,053 millionième), et contenant de faibles concentrations de dioxyde de soufre et de particules en suspension.

Bien qu'on puisse relier la pollution atmosphérique aux maladies chroniques de l'Homme, y compris le cancer, on n'a pas établi de corrélation similaire pour les NO<sub>x</sub>. Des rats exposés toute leur vie à 1,5 et jusqu'à 3,8 mg/m<sup>3</sup> (0,8 à 2,0 millionièmes) de dioxyde d'azote n'ont pas souffert de tumeurs, bien qu'on ait observé une désorganisation des poumons et une hyperplasie épithéliale dans la trachée et les bronches. La contribution possible des oxydes d'azote et de leurs composés (nitrates minéraux et organiques, nitrites et dérivés possibles du nitrosyle) au cancer mérite notre attention<sup>29</sup>.

# Mesures réglementaires et autres

## Mesures générales

Les rapports concernant les aspects médicaux et scientifiques de la contamination par les oxydes d'azote montrent qu'on s'est beaucoup moins intéressé à leurs effets directs et secondaires qu'à ceux des cinq autres contaminants envisagés par l'Étude du Conseil sur la politique en matière d'agents toxiques. Cette contamination par les  $\text{NO}_x$  est similaire à celle du plomb sous les aspects de l'omniprésence et des rapports avec l'automobile, source première de ces polluants.

La gravité de l'exposition aux  $\text{NO}_x$  est inconnue. Ils peuvent être:

- des substances ayant des effets nocifs pour la santé, et mal réglementées parce qu'on ne les considère pas souvent comme dangereuses, ou
- des substances ne produisant que des effets peu dommageables pour la santé, et suffisamment réglementées à cause d'une appréhension adéquate, ou encore
- des substances dont la présence peut avoir des conséquences dangereuses, peut-être par effet synergique, c'est-à-dire un danger éventuel mal appréhendé actuellement.

L'auteur estime, subjectivement, que la réalité n'est pas encore connue.

Il semble que les chercheurs se soient préoccupés surtout des problèmes de contamination de l'environnement par les  $\text{NO}_x$ , et qu'en conséquence ils aient recueilli des données à ce sujet plutôt qu'à celui des ambiances professionnelles (*workplace*), bien qu'à l'origine ce soient les maladies des soudeurs et des ensileurs qui aient attiré l'attention. Comme les  $\text{NO}_x$  sont produits par la combustion des cigarettes, les fumeurs courent aussi un danger, particulièrement s'ils fument certaines marques de cigarettes. On connaît mieux les effets directs de la contamination de l'environnement par les  $\text{NO}_x$  que ceux qui se manifestent dans les ambiances professionnelles, et les effets secondaires causés par la formation d'oxydants à partir des  $\text{NO}_x$ .

## L'économie politique de la réglementation des oxydes d'azote

Il existe dans l'environnement un taux naturel d'oxydes d'azote, mais la société en a ajouté. Comme la contamination provient surtout des moteurs à combustion interne, elle est associée directement à l'économie industrielle moderne. Heureusement, l'odeur caractéristique du  $\text{NO}_2$  facilite sa détection, et le fait qu'il soit émis en même temps que de l'oxyde de carbone et d'autres gaz de combustion conduit à mettre en oeuvre une ventilation appropriée. De même pourrait-on croire que le danger des  $\text{NO}_x$  est connu des industriels et des syndicalistes du secteur technologique de la combustion.

Cependant, la contamination par les oxydes d'azote est bien moins connue que celles des cinq agents toxiques envisagés par les agents sociaux, y compris les industries et les syndicats. La répartition des rejets des  $\text{NO}_x$  illustre bien les difficultés politiques de leur désignation comme contamination à attaquer d'urgence. Presque la moitié des quantités rejetées proviennent des moteurs à essence, surtout automobiles. Environ 25 pour cent proviennent des installations fixes de l'industrie, du commerce et des compagnies de services publics. Une autre proportion notable est produite

par l'élimination industrielle et municipale des ordures, les raffineries de pétrole et les usines d'acide nitrique.

On appréhende généralement la contamination par les  $\text{NO}_x$  sur le plan de l'environnement général, et c'est pourquoi les syndicats n'ont joué qu'un rôle limité, ou même inexistant. Les syndicats *United Steelworkers of America* et *Oil, Chemical and Atomic Workers* se sont plaints de temps en temps de l'obéissance insuffisante à la réglementation de l'emploi des véhicules à moteur diesel dans les mines mais, en général, les syndicats ne se sont guère préoccupés de cette contamination.

L'attitude des syndicats reflète la perception publique de la contamination par les  $\text{NO}_x$ . Cette contamination n'a guère attiré l'attention de la presse. Par comparaison aux autres agents toxiques tels que le rayonnement ionisant, le mercure et l'amiante, elle n'apparaît pas comme une contamination très dangereuse. Sa réglementation s'est donc déroulée sans difficultés.

## Tableau 5

### Participants à la réglementation de la contamination par les oxydes d'azote et répartition des compétences

#### Gouvernement fédéral

- Pêches et Environnement Canada (Direction générale de la lutte contre la pollution atmosphérique)
- Transports Canada (Direction des véhicules automobiles)
- Santé et Bien-Être Social Canada (Direction générale de la protection de la santé)
- Travail Canada (Sécurité et hygiène du travail)
- Conseil national de recherches (Comité associé des critères scientifiques de qualité de l'environnement)
- Conseil des sciences du Canada (Étude de la politique en matière d'agents toxiques)

#### Gouvernements provinciaux

- Surtout les ministères de l'Environnement, de la Santé et des Mines

#### Secteur industriel

- des milliers d'entreprises de la branche des moteurs à combustion interne, automobiles, centrales thermiques, industries chimique et pétrochimique.

#### Syndicats

- de nombreux syndicats dont l'*United Steel Workers of America*, l'*Oil, Chemical and Atomic Workers Union*, et les syndicats du rail.

#### Divers

- Canadian Environmental Law Association*
- Pollution Probe*
- Institut de chimie du Canada
- Institut canadien de développement de la soudure
- Fondation des recherches de l'Ontario

Source: G. Bruce Doern, *Le mécanisme réglementaire et la répartition des compétences en matière de réglementation des agents toxiques au Canada*, Étude de documentation n° 41, rédigée pour le Conseil des sciences du Canada, sous presse.

**Tableau 6**  
Normes maximales  
des gaz d'échappement automobile (en g/km)

	Hydrocarbures	Oxydes d'azote	Monoxyde de carbone
Gaz d'échappement des véhicules non réglementés	5,4	2,2	54
Véhicules 1973	1,9	1,94	17,5
Véhicules 1975	1,2	1,94	15,6
Normes proposées pour l'avenir	0,25	1,94	2,13

La loi sur la qualité de l'air fixe les objectifs nationaux suivants de contamination maximale par les oxydants et le dioxyde d'azote:

Polluant	Durée de pondération	Teneur maximale préférable	Teneur maximale admissible
Oxydants	24 h	30 µg/m <sup>3</sup> (0,015 ppm)	50 µg/m <sup>3</sup> (0,025 ppm)
	1 h	100 µg/m <sup>3</sup> (0,05 ppm)	160 µg/m <sup>3</sup> (0,080 ppm)
	1 an	pas déterminée	30 µg/m <sup>3</sup> (0,015 ppm)
Dioxyde d'azote	1 an	60 µg/m <sup>3</sup> (0,03 ppm)	100 µg/m <sup>3</sup> (0,05 ppm)
	24 h	pas déterminée	200 µg/m <sup>3</sup> (0,10 ppm)
	1 h	pas déterminée	400 µg/m <sup>3</sup> (0,20 ppm)

Source: L. Shenfeld, *Report on Oxidants and Their Precursors in Canada*, rédigé pour l'OCDE, Atelier sur la pollution de l'atmosphère par les oxydants photochimiques et leurs composants, Hollande, septembre 1975, p. 12.

Le Tableau 5 montre l'organigramme officiel de la réglementation de la pollution par les oxydes d'azote. La réglementation canadienne des gaz d'automobile s'insère dans le cadre de la Loi sur la qualité de l'air, qui est appliquée par Environnement Canada, mais ce sont le ministère fédéral des Transports et plusieurs ministères et organismes provinciaux s'occupant de l'environnement qui sont chargés de surveiller l'ambiance et de faire respecter la Loi. Dès le début des années soixante-dix, on a fixé un objectif national de teneur maximale de l'air en dioxyde d'azote, grâce à l'intervention de groupes de travail industriels et de comités fédéraux-provinciaux. Les syndicats n'ont pratiquement pas participé aux travaux, et les associations de consommateurs ne sont intervenues que de façon limitée<sup>30</sup>.

Récemment, le gouvernement canadien a fait adopter une législation réglementant les gaz d'échappement des automobiles. La norme fédérale de concentration maximale admissible, pondérée sur une heure, est de 0,2 millionième; pondérée sur 24 heures, elle est de 0,1 millionième, et sur un an, de 0,05 millionième (voir le Tableau 6). Cette norme a été établie grâce aux études sur la contamination en NO<sub>2</sub> dans des villes nord-américaines, et à l'étude de 1970 sur les écoliers de Chattanooga. En août 1976, on proposa de nouvelles concentrations admissibles, en exigeant qu'on dépollue sans retard, afin d'éviter une détérioration supplémentaire de la qualité de l'air, appauvrissant le style de vie, ou risquant de nuire à l'hygiène publique.

La Direction générale de la lutte contre la pollution atmosphérique de Pêches et Environnement Canada coordonne la collecte des données concernant les contaminants de l'air sur le plan national, mais la surveillance et les mesures sont effectuées par le Bureau des véhicules automobiles de Transports Canada et par les organismes provinciaux chargés de l'environnement. Ce n'est qu'en 1973 qu'on commença à publier des données sur la contamination aux NO<sub>x</sub>, car on avait accordé la priorité à d'autres contaminants comme l'oxyde de carbone et les hydrocarbures. Graduellement, les organismes provinciaux ont mis sur pied des programmes de mesure de la contamination en NO<sub>x</sub><sup>31</sup>.

## Envergure de l'effort de mesure de la contamination aux NO<sub>x</sub> au Canada

La section ci-dessous est largement basée sur le rapport *Technical Aspects of Oxydes of Nitrogen*, rédigé par D. Mackay, M. Medir et A. Lawson.

Depuis 1970, on a mis sur pied un programme complet de surveillance et de mesure de la pollution atmosphérique sur le territoire canadien, «afin de mesurer et évaluer en permanence la qualité de l'air ambiant dans les régions habitées du Canada. De plus, ce programme satisfait d'autres besoins... Par exemple, il sera possible de déterminer l'évolution chronologique des niveaux de pollution en fonction des modifications de l'activité industrielle, de la densité démographique et de la réduction de la pollution atmosphérique...». La plupart des données sont recueillies et publiées par les ministères provinciaux de l'Environnement et Pêches et Environnement Canada. La Direction générale de la lutte contre la pollution atmosphérique joue un rôle de coordination, en publiant des extraits mensuels sur la «Surveillance nationale de la pollution atmosphérique». Bien que ce programme ait débuté en 1970, les données concernant les NO<sub>x</sub> n'ont été disponibles qu'en 1973. L'Ontario a été la première province dont les services ont mesuré la contamination en NO<sub>x</sub>, et publié les données depuis 1971. Les contaminations en NO<sub>2</sub> ont été mesurées en Alberta et au Québec depuis 1973, et en Nouvelle-Écosse et au Manitoba depuis 1974. Depuis 1975, le programme permet d'évaluer la qualité de l'air dans 44 villes de tout le Canada, dont certaines disposent de plusieurs stations de prélèvement (voir la Figure 6).

«En décembre 1975, ce programme disposait de 446 équipements de prélèvement, répartis dans 44 villes des 10 provinces et des 2 territoires. On mesure les teneurs de dioxyde de soufre, de monoxyde de carbone, de dioxyde d'azote, d'ozone, l'indice de souillure, les particules en suspension, le plomb, les poussières sédimentables et la rapidité de conversion du SO<sub>2</sub> en esters sulfuriques». C'est l'Ontario qui possédait le réseau de mesure des NO<sub>x</sub> le plus complet, avec 10 stations, suivi par le Québec avec 5, la Colombie-Britannique avec 4, l'Alberta avec 3, la Nouvelle-Écosse avec 2 et le Manitoba avec 1. Au 31 mars 1976, 73 pour cent des villes devant être équipées disposaient du matériel nécessaire; soixante pour cent de l'appareillage d'analyse des NO<sub>x</sub> fonctionnaient.

L'équipement de mesure des NO<sub>x</sub> destiné à une des stations de Montréal, et aux stations de Kitchener, de St-Catharines, de Regina et de Vancouver n'avait pas encore été installé. On étendra le réseau de mesure pour couvrir toutes les villes de plus de 50 000 habitants.

On prépare 25 nouvelles installations de mesure des NO<sub>x</sub>, dont le matériel coûtera 150 000 \$, sur une période de

**Figure 6**

Réseau national de surveillance de la pollution atmosphérique (décembre 1975).  
On a souligné le nom des villes disposant de stations de prélèvement pour le  $\text{NO}_x$



RÉSEAU NATIONAL  
DE SURVEILLANCE DE LA POLLUTION ATMOSPHÉRIQUE (Décembre 1975)  
On a souligné le nom des villes disposant de stations de prélèvement pour le  $\text{NO}_x$

Source: D. Mackay et coll., 1976, Fig. 3.2.

cinq ans. En résumé, 38 équipements de mesure des  $\text{NO}_x$  fonctionnaient au 31 mars 1976, et 25 équipements supplémentaires étaient prévus<sup>32</sup>.

### Normes et directives provinciales

Les Administrations provinciales ont adopté des normes et directives. En Alberta, la norme fédérale de  $\text{NO}_2$  dans l'air ambiant est doublée d'une norme provinciale. La Colombie-Britannique dispose de normes s'appliquant aux divers genres d'entreprises. Pour les mines souterraines, où l'on utilise des moteurs diesel, la ventilation doit réduire la contamination en  $\text{NO}_2$  à 5 millièmes au plus. Les directives de la Loi sur les contaminants de l'environnement établissent des normes maximales d'émissions pour les mines et les usines atteignant 2,5 kg/t (Niveau A), 10 kg/t (Niveau B), et de 30 kg/t (Niveau C) d'acide nitrique produit. Celles qui concernent les industries chimiques et pétrolières les fixent à 30 kg/t d'acide à 100 pour cent. Celles qui intéressent les industries de transformation des aliments fixent le niveau A à 600 millièmes de  $\text{NO}_2$ . Les normes d'émissions de gaz et de poussières pour les autres industries sont basées sur la tonne de combustible utilisée. Par exemple, le niveau C pour la combustion du charbon dans les machines fixes est fixé à 27 kg/t. Mais ces objectifs ou directives ne peuvent être imposés que par le biais de leur insertion comme conditions de dépollution dans les permis d'exploitation.

La réglementation de l'exploitation des mines et carrières du Nouveau-Brunswick a fixé une norme maximale de 10 millièmes de  $\text{NO}_2$  dans l'air des mines.

L'Administration terreneuviennne a présenté un projet de réglementation fixant la concentration maximale de  $\text{NO}_2$

pondérée sur 1 heure à  $410 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (0,2 millionième) et, pondérée sur 24 heures, à  $205 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (0,1 millionième).

En Ontario, les critères de qualité de l'air ambiant, établis sous l'empire de la Loi de protection de l'environnement, fixent la teneur maximale de  $\text{NO}_2$ , pondérée sur une heure, à 0,2 millionième, et pondérée sur 24 heures 0,1 millionième. Le Bulletin de la Division de protection du travailleur fixe la teneur maximale pondérée dans le temps à 5 millièmes de  $\text{NO}_2$  dans l'ambiance professionnelle. La réglementation générale, établie conformément à la Loi de protection de l'environnement, fixe une teneur-plafond au point d'exposition, pondérée sur une demie-heure, de  $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (0,25 millionième).

Les normes de qualité de l'air ambiant pour la Saskatchewan fixent des teneurs maximales de  $\text{NO}_2$  pondérée sur 1 heure à  $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (0,2 millionième); pondérée sur 24 heures à  $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (0,1 millionième) et pondérée sur un an à  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (0,05 millionième). Les règlements établis conformément à la Loi de réglementation de l'exploitation minière fixent une norme de teneur maximale de 5 millièmes de  $\text{NO}_2$  dans l'air des mines où des moteurs diesel sont utilisés<sup>33</sup>.

Au Québec, le projet de *Règlements concernant la qualité de l'atmosphère* ne contient aucune disposition concernant les oxydes d'azote, à part une mention de son article 5. On s'y intéresse surtout aux installations fixes, ce qui, par définition, exclut les véhicules à moteur.

Le projet de *Réglementation des gaz d'échappement des véhicules à moteur* propose que la teneur des gaz d'échappement ne dépasse pas 1,9 g de  $\text{NO}_x$  par kilomètre parcouru par un véhicule léger. On n'a pas prévu de norme pour les véhicules lourds. La méthode de mesure prévue dans ce

projet est celle décrite dans les *Méthodes d'essai de sécurité des véhicules automobiles* de la Direction de la sécurité automobile et routière, Transports Canada, et approuvée le 1er septembre 1973 (article 7).

L'article 3 défend à toute personne de mettre en vente, d'exposer, de vendre, d'utiliser ou de permettre l'utilisation d'un véhicule à moteur qui ne serait pas équipé d'un dispositif de réduction des gaz polluants issus du moteur, outrepassant les normes maximales précisées dans l'article 4. Selon l'article 12, le propriétaire doit maintenir cet appareil en bon état de marche. Cette législation provinciale complète la réglementation fédérale (Règlements de sécurité des véhicules automobiles, SOR/70-487; Gazette du Canada, vol. 104, partie II, n° 22, p. 1245 et suivantes, et ses modifications) établie sous l'empire de la *Loi sur la sécurité des véhicules automobiles* (RSC 1970, premier supplément), ch. 26, article 2 (1), qui promulgue des normes de contamination maximale des gaz d'échappement des véhicules construits, importés ou distribués par les grossistes canadiens<sup>34</sup>.

## Activités internationales

Le Groupe de gestion de l'atmosphère du Comité de l'Environnement auprès de l'OCDE s'occupe d'élaborer des programmes de mesure des divers oxydants, des méthodes de relevé de leurs effets, des techniques de dépollution, et des modèles pour la recherche sur les mécanismes de migration verticale et horizontale des contaminants.

On encourage les pays-membres de l'OCDE à recueillir régulièrement les données sur les rejets annuels de  $\text{NO}_x$ , et à les diffuser. On peut aussi leur demander d'assurer la comptabilité entre réseaux de prélèvement et méthodes d'étalonnage, de relever les quantités d'effluent par tonne de matière traitée et d'élucider les migrations des oxydants et de leurs composants<sup>35</sup>.

Le rapport de la Commission royale de la pollution de l'environnement de Grande-Bretagne a signalé en 1974 que le Réseau national de mesure des polluants atmosphériques, coordonné par le Laboratoire Warren Spring, possède 1 200 stations de prélèvement. Ce sont la fumée et le  $\text{SO}_2$  qui ont été les principaux polluants mesurés mais, depuis 1975, 20 stations mesurent les contaminations en métaux lourds, et 3 mesurent celle de  $\text{NO}_x$ . La Commission a indiqué que les  $\text{NO}_x$  et la brume photochimique (*smog*) n'apparaissent pas comme des problèmes urgents en Grande-Bretagne. Toutefois, un autre rapport de 1974, *The Monitoring of the Environment in the UK* a recommandé qu'on mesure également, entre autres, les contaminations en  $\text{NO}_x$  et en métaux lourds. La Grande-Bretagne a collaboré aux études de la CEE sur les gaz d'échappement automobile et leurs effets sur la santé, et particulièrement ceux du CO et des  $\text{NO}_x$ .

Le Service de surveillance de la pollution industrielle (*Alkali Inspectorate*) a décrit en 1974 la «technologie la mieux applicable» pour la réduction des émissions de  $\text{NO}_x$  des usines d'acide nitrique. Ses objectifs exigent que «l'acidité des gaz rejetés... ne doit pas dépasser 1 millième en termes de dioxyde d'azote... et les gaz rejetés dans l'atmosphère doivent être presque incolores». Comme d'habitude, on autorise les usines existantes à continuer leurs opérations conformément aux normes précédentes». Le directeur du Service a déclaré qu'il semblait inéquitable d'obliger des usines d'acide nitrique à réduire leurs rejets de  $\text{NO}_x$  de quantités plus fortes que celles qui sont émises dans les gaz d'échappement automobile.

En Grande-Bretagne, ceux-ci sont régis par la Réglementation de la construction et de l'emploi des véhicules

automobiles, élaborée en 1973 conformément aux Lois de la circulation routière de 1960 et 1972. Les véhicules doivent être conçus pour ne dégager aucune fumée ou vapeur visible excédentaire. La Réglementation d'homologation des modèles de véhicules automobiles de 1973 a mis en place un processus régissant les véhicules construits après le 1er juillet 1973, et respectant les directives de la CEE (70/156) de 1970. Les véhicules automobiles fonctionnant à l'essence, construits après le 10 novembre 1973, doivent obéir aux normes de gaz d'échappement décrites dans le Règlement 15, annexé à l'Accord international de Genève de 1958 (Cmnd. 2535). Il suit en gros la directive 70/220 de la CEE<sup>36</sup>.

## Tour d'horizon des mesures prises

Il semble que les organismes réglementaires soient convaincus d'avoir bien en mains les moyens de lutte contre les contaminants, et que l'obéissance à la réglementation est satisfaisante. Ils publient des données globales sur les quantités de contaminants rejetées, mais il est difficile de dire quels genres d'actions sont pris, ou devraient être pris, dans une ville où les teneurs relevées dépassent les objectifs fixés. On a poursuivi certains propriétaires d'automobiles, mais il ne paraît pas qu'on ait appliqué la réglementation à toute une collectivité (une grande ville par exemple).

Il est malaisé d'évaluer l'intérêt des organismes réglementaires et les réactions des syndicats ouvriers. On peut dire que les ministères du Travail et des Mines s'occupent de réduire les effets toxiques directs des  $\text{NO}_x$  quand ils promulguent une réglementation de la ventilation afin de réduire la contamination par le monoxyde de carbone et autres rejets des moteurs à combustion interne. Le ministère fédéral et la plupart des ministères provinciaux du Travail luttent contre les  $\text{NO}_x$  de cette façon indirecte. Ils n'ont pas encore appréhendé la nécessité des mesures spéciales contre cette contamination. De même, les syndicats ouvriers ne les ont-ils pas pressés de changer d'attitude. En conséquence, on n'effectue guère de recherches sur cette contamination de l'ambiance professionnelle.

Pour résumer, disons qu'on a guère considéré la contamination par les oxydes d'azote comme un danger exigeant une attention prioritaire et, lorsqu'on s'y intéresse, au moins quand il s'agit des gaz d'échappement automobile, on estime que la surveillance est suffisante. Pour ceux qui connaissent le dossier de la lutte contre les autres contaminants, cette apparente normalité est en elle-même une source de préoccupations, particulièrement s'ils sont au courant des grandes lacunes de la recherche sur les effets secondaires et synergiques des oxydes d'azote<sup>37</sup>.

## Recherche sur les $\text{NO}_x$

La section ci-dessous se base largement sur le rapport *Technical Aspects of Oxydes of Nitrogen*, rédigé par D. Mackay, M. Medir et A. Lawson.

Le tour d'horizon du Conseil national de recherches, *Inventory of Pollution Related Research*, publié en 1976, et celui de Pêches et Environnement Canada, *Bibliographie critique de la pollution atmosphérique au Canada*, dressent la liste des actions canadiennes de recherche sur les  $\text{NO}_x$ , à l'exception des études médicales et biologiques. Les principaux organismes effectuant des recherches sont le Service de l'environnement atmosphérique (à Downsview, Ont.) et la Direction générale de la lutte contre la pollution atmosphérique (à Ottawa), de Pêches et Environnement Canada, les ministères provinciaux de l'Environnement, diverses universités et fondations de recherche, les compagnies de services publics et des firmes individuelles.

Le tour d'horizon du CNRC cite quelque 300 spécialistes s'intéressant à la pollution atmosphérique, dont six seulement ont déclaré avoir une compétence particulière en matière de  $\text{NO}_x$ . Cependant, d'autres spécialistes participent aux recherches sur ceux-ci. La publication cite 15 programmes portant directement sur les  $\text{NO}_x$ , mais il est évident qu'on mène d'autres travaux, non mentionnés. La plupart des recherches portent sur la réduction de la contamination par les  $\text{NO}_x$  et sur les analyses dans des lieux déterminés. Il est probable que la plupart des résultats des recherches de l'industrie ne sont pas publiés. La «Bibliographie critique» cite 1 012 textes sur la pollution atmosphérique au Canada, publiés jusqu'à fin 1973, dont cinquante sur les  $\text{NO}_x$ . Beaucoup de ces textes portent sur la qualité de l'air ambiant et les répercussions de la contamination par les  $\text{NO}_x$  sur les récoltes, etc. Peu d'entre eux exposent les résultats de recherches scientifiques fondamentales. Seuls 13 textes citent le Yukon et les Territoires du Nord-Ouest, et la plupart portent sur des questions météorologiques, les contaminations métalliques et la corrosion.

La plupart des chercheurs s'occupant des  $\text{NO}_x$  estiment, non sans raison, que leurs travaux sont mal financés, et que cette situation fâcheuse ne fait qu'empirer. Cette faiblesse de l'effort de recherche canadien contraste avec l'effort considérable que l'Agence de protection de l'environnement (EPA) étatsunienne consacre à la lutte contre les  $\text{NO}_x$ . Cette activité est décrite dans la publication de l'EPA: *NO<sub>x</sub> Control Review* de mars 1976.

La plupart des résultats des recherches accomplies aux États-Unis sont disponibles au Canada. On peut soutenir que l'effort de recherche canadien devrait être axé sur les seules questions d'intérêt particulier pour le Canada. Cependant, toute négligence délibérée des recherches fondamentales sur les  $\text{NO}_x$  équivaut à l'acceptation d'une dépendance technique à l'égard de l'étranger par la communauté scientifique et industrielle.

À la suite de discussions avec les autorités s'occupant de la recherche, on a pu cerner les secteurs suivants, qui sont d'importance particulière:

- 8° Mise au point de techniques d'analyse peu coûteuses pour la mesure rapide de la teneur en  $\text{NO}_x$  dans les usines et les lieux publics.
- 9° Détermination des répercussions possibles des rejets de  $\text{NO}_x$  dans le milieu arctique (par exemple, à partir des stations de pompage des gazoducs ou oléoducs éventuels) pour la population humaine ou la végétation. La présence d'inversions atmosphériques constantes durant une grande partie de l'hiver arctique risque d'empirer la situation, en causant des concentrations de  $\text{SO}_2$  et des brouillards glacés.

### Questions intéressant tous les pays:

- 1° Mécanisme et cinétique de la formation des  $\text{NO}_x$ , y compris les mesures de lutte et de réduction des quantités rejetées, grâce à des modifications des caractéristiques de combustion.
- 2° Mise au point de techniques d'élimination des  $\text{NO}_x$  présents dans les gaz d'échappement automobile.
- 3° Étude des réactions chimiques des  $\text{NO}_x$  produisant des oxydants, du «smog» et de la brume, tant dans les fumées industrielles que dans l'atmosphère.
- 4° Étude du rôle des  $\text{NO}_x$  dans l'amenuisement de la couche stratosphérique d'ozone.
- 5° Étude des  $\text{NO}_x$  comme constituants des nitrosamines ou d'autres substances toxiques, tels les aérosols de nitrates.
- 6° Perfectionnement des modèles mathématiques de dispersion atmosphérique à toutes les échelles.

### Questions d'intérêt particulier pour le Canada:

- 7° Relevés de la contamination par les  $\text{NO}_x$  de l'atmosphère des villes canadiennes où on les observe fréquemment, de même que les oxydants (notamment à Vancou-

## Conclusions et recommandations

Les oxydes d'azote, et en particulier le  $\text{NO}_2$ , ont des effets nocifs, soit directs et à court terme, soit chroniques et à long terme, soit indirects sur la santé. On dispose de données suffisantes pour déterminer quelles sont les teneurs en oxydes d'azote produisant des symptômes et des changements quantifiables du fonctionnement des poumons des individus appartenant à la population générale. Certains indices suggèrent que ces effets sont plus sérieux chez les personnes souffrant des maladies pulmonaires chroniques. Les asthmatiques, par exemple, en ressentiraient les effets à des teneurs plus faibles que le seuil de sensibilité des personnes normales.

En matière d'épidémiologie, le Dr D.V. Bates a déclaré, dans un article récent:

*«Il est possible que les oxydes d'azote soient suffisamment concentrés pour provoquer des toux sèches, des douleurs pulmonaires et de l'insuffisance respiratoire, tous symptômes montrés par l'exposition expérimentale. Cependant, les données épidémiologiques relevées à Chattanooga indiquent qu'il existe un lien entre les oxydes d'azote et la morbidité respiratoire chez les enfants, à des concentrations supérieures à 0,06 millionième.»*

Les observations préliminaires sur l'Homme montrent que les mélanges d'ozone et de dioxyde de soufre à faibles concentrations ont des répercussions plus sérieuses que l'inhalation de ces gaz séparément, aux mêmes concentrations. On ne dispose d'aucune observation comparable sur les effets des mélanges d'ozone et d'oxydes d'azote.

Les observations épidémiologiques publiées jusqu'à présent ne permettent pas de dire s'il se produirait des répercussions à très long terme après une exposition à l'ozone ou aux oxydes d'azote. Ces recherches nécessiteraient des mesures du vieillissement des poumons. On espère qu'on lancera sous peu un relevé du volume résiduel des poumons parmi la population, afin de déterminer si l'exposition répétée à un air contenant de faibles teneurs de ces polluants est sans effets sur les bronchioles et les vaisseaux alvéolaires. Il faut effectuer ces études sans tarder et, dans le cas où aucun effet ne serait observé, on serait libéré des préoccupations concernant les effets non détectés de l'exposition répétée à ces polluants<sup>38</sup>.

Il faut encore entreprendre des recherches détaillées sur les effets immédiats et à long terme de l'exposition aux  $\text{NO}_x$ . Nous avons extrait les recommandations suivantes du rapport *Nitrogen Oxides*, publié en 1976 par le Conseil national des recherches des États-Unis:

*«1° Il faudrait étudier les modifications des fonctions pulmonaires de volontaires après expositions répétées de 2 à 3 heures au dioxyde d'azote, pour en déterminer les effets éventuels sur la santé, ainsi que la concentration — seuil d'action de ce contaminant. Les résultats de ces recherches permettraient d'élaborer une norme maximale d'exposition brève au dioxyde d'azote. La planification des recherches devrait tenir compte de plusieurs conditions d'expérience:*

- *On devrait mesurer le fonctionnement pulmonaire en cours d'exercice physique, car on a montré l'importance d'une activité physique légère et intermittente pendant l'exposition aux polluants.*
- *Les mesures du fonctionnement pulmonaire devraient porter sur les faibles modifications des*

*bronchioles et des vaisseaux alvéolaires, outre les mesures plus traditionnelles de la résistance totale des voies respiratoires à l'écoulement de l'air, des débits et des volumes pulmonaires.*

- *Il faudrait étudier l'action du dioxyde d'azote sur les bronchioles distales [les plus éloignées] à cause des preuves morphologiques d'une détérioration de celles-ci et des alvéoles des animaux soumis à expérience.*

- *Il faudrait mesurer les effets d'expositions brèves et répétées au dioxyde d'azote seul, et en association avec le dioxyde de soufre, l'ozone et les particules en suspension, en fort et faible taux d'humidité, afin de simuler les conditions réelles.*

- *On devrait étudier les réactions de volontaires très sensibles à une exposition brève et intense au dioxyde d'azote. Ce pourrait être des asthmatiques et des malades chroniques souffrant d'une forte obstruction pulmonaire.*

- *On devrait planifier les recherches de façon à déterminer la concentration-seuil d'activité du dioxyde d'azote sur les volontaires.*

2° Il faudrait entièrement éclaircir la relation de causalité entre exposition au dioxyde d'azote et infections respiratoires aiguës chez les animaux de laboratoire. Afin de simuler de plus près l'atmosphère polluée réelle, il faudrait utiliser de l'air contenant divers polluants gazeux et des particules en suspension, à diverses températures et taux d'humidité. De plus, il faudrait effectuer des expositions de longue durée à un air contenant une faible teneur de  $\text{NO}_2$ , avec des périodes brèves d'exposition intense à une forte concentration. On devrait étudier la sensibilité au dioxyde d'azote des mécanismes de défense contre les infections respiratoires: phagocytose, immunité cellulaire et humorale, chez plusieurs espèces animales, y compris les simiens. Il faudrait, autant que possible, que la gamme des réactions biologiques corresponde à celle de l'Homme, afin qu'on puisse utiliser les résultats lors des études épidémiologiques.

3° Il faudrait évaluer soigneusement la relation entre exposition de longue durée au dioxyde d'azote et maladies respiratoires chroniques. Les futures études épidémiologiques des maladies pulmonaires chroniques devraient tenir compte des expositions antérieures de l'individu, des sources de dioxyde d'azote tant à l'intérieur des locaux qu'à l'extérieur, et d'autres polluants communs dans les atmosphères urbaines. Il pourrait être utile d'effectuer des recherches dans des ambiances de travail où se produisent des expositions relativement isolées au dioxyde d'azote. De plus, il faudrait se fonder sur les maladies pulmonaires chroniques par obstruction chez les animaux pour prévoir les effets d'expositions répétées et intermittentes à de fortes concentrations de dioxyde d'azote.

4° Comme des particules solides ou liquides transportant des oxydes d'azote sous forme condensée, dissoute ou adsorbée, sont inhalées et déposées dans les bronches, il faudrait effectuer des recherches poussées sur la composition des aérosols et des quantités inhalées, le mode de dépôt et les effets pathologiques résultants.

5° Il faudrait évaluer les réactions caractéristiques des diverses cohortes démographiques aux associations de polluants atmosphériques, afin de les mesurer comme l'ont été les réactions des animaux de laboratoire en fonction de leur exposition aux contaminants associés. Des études pilotes permettraient de comparer l'exposition totale actuelle de travailleurs exposés à de fortes concentrations avec celle

des groupes exposés à de faibles concentrations. On disposerait ainsi de données préliminaires sur la gamme des expositions au contaminant dans les différentes couches de la population. Les résultats de ces études complèteraient les données concernant les fortes variations diurnes et saisonnières de la teneur de l'air ambiant en dioxyde d'azote. Les expositions calculées grâce aux seules concentrations de contaminants dans l'air ambiant ne donnent pas une évaluation réaliste des durées réelles d'exposition, à cause des déplacements quotidiens de chaque individu entrant dans la zone polluée et en sortant.

6° Il faudrait étudier le pouvoir cancérigène des oxydes d'azote présents dans l'air et de leurs produits dérivés et, en particulier, celui des dérivés organiques de l'azote présents dans l'air et du dioxyde d'azote associé à d'autres polluants.

7° Dans la mesure du possible, il faudrait effectuer des études biologiques des effets d'une gamme d'expositions au dioxyde d'azote d'ampleur suffisante pour permettre la détermination préliminaire de la concentration-seuil d'activité et de la pente de la courbe de réponse biologique<sup>39</sup>.

Les effets indirects des NO<sub>x</sub> atmosphériques découlent en grande partie de leur rôle d'agents formateurs de l'ozone, du «smog» et peut-être des nitrosamines, ainsi que de celui d'agents destructeurs de l'ozone stratosphérique. Les deux premiers effets cités ont été observés, mais les deux derniers sont un peu hypothétiques.

La section ci-dessous est largement basée sur le rapport *Technical Aspects of Oxides of Nitrogen*, rédigé par D. Mackay, M. Medir et A. Lawson.

On saisit assez bien les processus physiques, chimiques et météorologiques, et leurs principes de base, régissant la formation et les migrations des NO<sub>x</sub> dans l'atmosphère. Cependant, certaines réactions ne sont pas encore éclaircies, notamment celles qui se produisent au sein des panaches de fumée et lors de la formation des aérosols. Il semble logique d'entreprendre des recherches approfondies en ce domaine, afin de mieux comprendre les phénomènes qui interviennent.

Il serait bon de disposer de moyens perfectionnés permettant d'analyser les sources des NO<sub>x</sub>, leurs réactions, leur migration, leur dépôt, et autres phénomènes déterminant leur concentration. Ces connaissances contribueraient à la mise au point des mesures de dépollution. Malheureusement, ces questions sont fort complexes et varient peut-être selon les lieux; d'autre part, il est difficile de justifier la mise en œuvre de programmes étendus à leur propos, car d'autres actions doivent être financées par priorité à même des crédits restreints.

Cependant, si l'un des effets secondaires des NO<sub>x</sub> se révélait d'une importance exceptionnelle, les données sur leur comportement dans l'atmosphère seraient inestimables. Ce serait le cas si les nitrosamines contribuaient à la morbidité cancéreuse des citoyens, ou si les ions nitrates fixés aux aérosols avaient des effets nocifs: il faudrait alors mieux connaître les origines, les avatars et le comportement des NO<sub>x</sub> dans l'atmosphère. On peut soutenir qu'il nous faut connaître ces données au sujet de tous les contaminants d'origine technique, même de ceux qui ne paraissent pas toxiques, car ils peuvent participer inopinément à la formation d'agents nocifs. Sans cette masse de connaissances dont le recueil peut apparaître non prioritaire par rapport à celles qui concernent des contaminations mieux connues par le public, certaines situations dangereuses pourraient ne pas être détectées pendant fort longtemps.

Le Comité fédéral-provincial de la pollution atmosphérique a délimité des objectifs qui apparaissent raisonnables, à la lumière des données disponibles. La fixation de teneurs

maximales plus élevées pourrait entraîner des effets fâcheux pour la santé des populations; si on les fixait plus bas, elles seraient inutilement pénalisantes. L'accord général entre les objectifs de l'Administration fédérale, de celles des provinces et des États-Unis apparaît donc satisfaisant. On espère que ces objectifs seront révisés périodiquement, à la lumière des connaissances nouvelles sur l'épidémiologie de la contamination par les NO<sub>x</sub>, et d'une meilleure compréhension de certains phénomènes de pollution secondaire. Ceux-ci pourraient déterminer finalement les teneurs admissibles en NO<sub>x</sub>.

Une situation moins satisfaisante prévaut dans l'industrie. Très peu de données sont publiées à propos de la contamination des usines ou de leur voisinage par les NO<sub>x</sub>. Plusieurs spécialistes ont indiqué que de nombreuses ambiances professionnelles leur paraissaient fortement contaminées en NO<sub>x</sub> et que certains quartiers du voisinage le seraient aussi de façon inacceptable. Certaines personnes seraient exposées à des concentrations beaucoup trop élevées de NO<sub>x</sub>. On ne sait si leur santé est affectée notablement, ni si elles en sont conscientes.

On a bien mis au point les techniques analytiques de mesure des teneurs en oxydes d'azote dans l'environnement général et les ambiances professionnelles. Le Réseau national de surveillance de la pollution atmosphérique couvre bien les grandes villes menacées. Les données recueillies seront fort utiles pour déterminer les tendances à long terme. L'existence de ce réseau est l'un des traits les plus encourageants de la lutte contre la contamination par les NO<sub>x</sub>. Il faudrait peut-être disposer d'équipements mobiles permettant de mesurer les concentrations de NO<sub>x</sub> plus rapidement et plus économiquement dans les localités sujettes aux contaminations.

Si un propriétaire peut prélever un échantillon de l'eau de son puits pour faire déterminer sa contamination éventuelle par bactéries, il devrait lui être aussi possible de prélever un échantillon de l'air pour faire mesurer sa teneur en NO<sub>x</sub>. La mise au point d'une méthode d'analyse rapide et fiable par coloration de papier indicateur serait fort utile à ce propos. Bien que cette préoccupation puisse parfois causer inutilement des inquiétudes, elle est conforme aux intérêts à long terme de la collectivité, en particulier là où c'est nécessaire.

Les objectifs de qualité de l'air sont assez bien respectés dans tout le Canada, et on pourrait en déduire que la contamination par les NO<sub>x</sub> ne pose pas de problème général dans l'état actuel des connaissances. Cependant certaines localités subissent une contamination constante et forte qu'il faudrait réduire. Les problèmes peuvent provenir de normes de teneur maximale fixées trop haut (car nous pouvons ignorer certains effets obscurs, directs ou secondaires, du NO<sub>2</sub> sur la santé) dans certaines ambiances industrielles ou dans leur voisinage, ou de l'absence d'organisme chargé de surveiller les rejets de NO<sub>x</sub>.

C'est le manque de technique de dépollution adéquate qui constitue l'obstacle principal à la lutte contre la contamination par les NO<sub>x</sub>. Il est peu probable qu'on fasse des progrès notables en cette matière tant qu'on n'aura pas mis au point une telle technique, et qu'elle ne sera pas confirmée, essayée, et possible à faible coût. Il semble que le Canada compte presque entièrement sur la technologie mise au point aux États-Unis. L'effort canadien de recherche en matière de NO<sub>x</sub> est trop faible, mais ses priorités paraissent raisonnables. C'est la modicité des crédits de recherche qui est responsable de cette faiblesse. Malheureusement, on n'a guère effectué de recherches sur la contamination de l'atmosphère arctique, problème particulier au Canada. Si, par quelque phénomène physique, chimique ou biologique, la

contamination par les  $\text{NO}_x$  en climat glacial engendrait des conditions dangereuses, on ne pourrait les détecter avant longtemps. Le Canada s'est généralement fondé sur les efforts de recherche d'autres pays pour élucider la nature des conditions dangereuses. Souvent, l'identification d'une contamination a été fortuite, comme dans le cas de la contamination mercurielle de la Rivière Saint-Clair.

Il se peut que la contribution majeure des universitaires aux sciences fondamentales soit l'analyse des processus physiques, chimiques et biologiques se déroulant dans l'environnement, à la recherche de conditions dangereuses qui n'aurait pas été détectées. Par sa nature même, on ne peut planifier rationnellement la recherche de l'imprévu; il existe un élément de fortuité.

Une question nécessitant l'attention est l'ampleur de la diffusion des données recueillies au sujet des concentrations de  $\text{NO}_x$  dans l'ambiance (particulièrement celles rassemblées par l'industrie). Malheureusement, la plupart de celles-ci demeurent confidentielles, même si elles sont communiquées aux organismes officiels; il en est de même des données que ces derniers recueillent aux frais des contribuables. En principe, les avantages d'une large publicité des données d'ambiance dépassent largement les désavantages d'une interprétation erronée occasionnelle. Mais le directeur du Service de surveillance de la pollution industrielle de Grande-Bretagne a exprimé une opinion diamétralement opposée dans un article publié dans «The Lancet» du 10 août 1974 (p. 326): «Je crois fermement qu'il faut informer le public, mais sans lui communiquer des données qu'il ne peut interpréter. Les scientifiques universitaires s'en serviraient étourdiment. Les gens pourraient attraper la «frousse», à cause de certains chiffres!»

L'histoire est pleine de tragédies causées par certains individus bien intentionnés, convaincus de «savoir comment protéger» leurs concitoyens. Il se peut que le problème de la protection contre les substances toxiques soit celui du déni, par certains, des connaissances sur les effets nocifs de l'ambiance à d'autres qui y vivent.

Il est clair qu'il faut surveiller constamment et soigneusement la contamination par les oxydes d'azote, à laquelle la population dans son ensemble est exposée. L'utilisation croissante du charbon dans les centrales thermiques, et la résistance à une réglementation plus sévère des gaz d'échappement (causée par le souci d'économiser l'essence) pourraient entraîner une croissance lente mais inexorable de la teneur de l'atmosphère en  $\text{NO}_x$ . Il en résulterait probablement des répercussions nocives; c'est pourquoi il faudra y accorder une attention particulière, précisément parce que leur origine sera obscure.

## Notes et bibliographie

1. D. Mackay, M. Medir, A. Lawson, **Technical Aspects of Oxides of Nitrogen**, rédigé pour le Conseil des sciences du Canada, 1976, pp. 1-2.
2. **Ibid.**, pp. 3-5.
3. **Ibid.**, p. 9.
4. Conseil national des recherches des États-Unis, **Nitrogen Oxides**, Comité des effets sanitaires et biologiques des polluants de l'ambiance, National Academy of Sciences, Washington, D.C., 1976.
5. D. Mackay et coll., **op. cit.**, pp. 6-8.
6. J.L. Marx, «Increased Biological Nitrogen Fixation and the Environment», **Science**, vol. 196, 6 mai 1977, p. 639.
7. B. Commoner, «Cost-Risk-Benefit Analysis of Nitrogen Fertilization: A Case History», **Ambio**, vol. 6, mai 1977, p. 160.
8. D. Mackay et coll., **op. cit.**, annexe.
9. Conseil national des recherches des États-Unis, **op. cit.**, chap. 1, p. 1.
10. R.E. Munn, «The Oxidant Climatology of Canada», Conseil national de recherches du Canada, 1975.
11. **Ibid.**
12. Centre canadien des eaux intérieures, «Atmospheric Loading of the Upper Great Lakes», vol. I, II, III, rédigé par Acres Consulting Services Ltd., 1975.
13. D. Mackay et coll., **op. cit.**, pp. 11-18.
14. Conseil national des recherches des États-Unis, **op. cit.**, pp. 10-11.
15. **Résumé of a Seminar Dealing with the Hazards Associated with Oxides of Nitrogen**, Conseil des sciences du Canada, 28 septembre 1976, pp. 3-6.
16. Conseil national des recherches des États-Unis, **op. cit.**, chap. 10, pp. 1-3.
17. M.R. Becklake et coll., «The Long-Term effects of exposure to nitrous fumes», **American Review of Tubercular Pulmonary Disease**, 1957, vol. 76, pp. 398-409.
18. **Ibid.**
19. G.M.P. Leib et coll., «Chronic pulmonary insufficiency secondary to silo-filler's disease», **American Journal of Medicine**, 1958, vol. 24, pp. 471-474.
20. S.N. Rokaw, F. Massey et B. Burrows, A.L. Kellogg, J. Buskey, cités dans Knight et coll., **op. cit.**
21. F.E. Adley, cité dans **ibid.**
22. C.A. Cohen, A.R. Hudson, J.C. Clausen et J.H. Knelson, cités dans **ibid.**
23. S.M. Ayres, R. Evans, D. Licht et coll. cités dans **ibid.**
24. G.D. von Nieding, H. Krekeler, R. Fuchs, H.M. Wagner et K. Kopenhagen; G.D. von Nieding, H.M. Wagner, H. Krekeler, V. Smidt et K. Muysers; et G.D. von Nieding et H. Krekeler, cités dans **ibid.**
25. T. Suzuki et K. Ishikawa; M. Abe; et K. Nakamura cités dans **ibid.**
26. J. Orehek, J.D. Massari, P. Gayraud, G. Grimaud, J. Charpin, «Effect of Short-Term, Low-Level Nitrogen Dioxide Exposure on Bronchial Sensitivity of Asthmatic Patients», **The Journal of Clinical Investigation**, vol. 57, février 1976, pp. 301-307.
27. L. Knight, P.T. Macklem, **Biological Effects of Exposure to Oxides of Nitrogen**, rédigé pour le Conseil des sciences du Canada, 1976, p. 18.
28. Conseil national des recherches des États-Unis, **op. cit.**, chap. 11, pp. 13-17.
29. **Ibid.**
30. **Résumé of a Seminar**, **op. cit.**
31. G.B. Doern, **Le mécanisme réglementaire et la répartition des compétences en matière de réglementation des agents toxiques au Canada**, Étude de documentation n° 41, rédigée pour le Conseil des sciences du Canada, sous presse.
32. D. Mackay et coll., **op. cit.**, pp. 30-32.
33. R.T. Franson, A.R. Lucas, «La législation de lutte contre les contaminants au Canada, dans **La législation canadienne et la réduction de l'exposition aux contaminants**, Étude n° 39, rédigée pour le Conseil des sciences du Canada, sous presse.
34. L. Giroux, P. Kenniff, «Aspects juridiques au Québec», dans **La législation canadienne et la réduction de l'exposition aux contaminants**, Étude n° 39, rédigée pour le Conseil des sciences du Canada, sous presse.
35. OCDE, Direction de l'environnement, Groupe de gestion de l'atmosphère, **Draft of Possible Recommendations of the Council on Photochemical Oxidant Air Pollution**, Paris, mars 1976, pp. 2-3, Env./Air/76.2, Échelle D.
36. R. Williams, **Réglementation de la salubrité de l'environnement et de l'ambiance professionnelle au Royaume-Uni, aux États-Unis et en Suède**, Étude de documentation n° 40, rédigée pour le Conseil des sciences du Canada, sous presse.
37. G.B. Doern, **op. cit.**, pp. 187-188.
38. D.V. Bates, «Effects of Ozone and Oxides of Nitrogen on Man», **Photochemical Air Pollution: Formation, Transport and Effects**, Comité associé des critères scientifiques de qualité de l'environnement, Conseil national de recherches du Canada, Rapport 12, 1975, p. 220.
39. Conseil national des recherches des États-Unis, **op. cit.**, chap. 11, pp. 18-20.

## Le Comité de la politique en matières d'agents toxiques

Conseil des sciences du Canada

Président: *le Dr David V. Bates,*

Membre du Conseil des sciences,  
Doyen de la Faculté de médecine,  
Université de la Colombie-Britannique.

Membres: *M. John E. Akitt,*

Vice-président général,  
Esso Chemicals.

*M. Gordon C. Butler,*

Directeur,  
Division de biologie,  
Conseil national de recherches.

*M. James M. Ham,*

Doyen,  
École des Études supérieures,  
Université de Toronto.

*M. F. Kenneth Hare,*

Directeur de l'Institut des sciences de l'environnement,  
Université de Toronto.

*M. Terence G. Ison,*

Professeur,  
Faculté de droit,  
Université Queen's,  
Ancien directeur de la Commission des accidents du travail,  
Colombie-Britannique.

*le Dr A.J. Nantel,*

Directeur,  
Centre régional de toxicologie,  
Université Laval.

*M. Cornelius Reimer,*

Administrateur national,  
Oil, Chemical and Atomic Workers Union.

*le Dr H. Rocke Robertson,*

Membre du Conseil des sciences,  
Ancien Président de l'Université McGill.

Cette vue d'ensemble a été rédigée par M. Jack Basuk, conseiller scientifique et Mad. Anne Nichols, adjointe de recherches au Conseil des sciences du Canada.

---

Conseil des sciences du Canada

150 Kent  
Ottawa, Ontario  
K1P 5P4



---

La publication de cet encart est faite aux frais du Conseil des sciences du Canada

© Conseil des sciences du Canada. 1977