

Ser  
Q1  
C212s1  
no.24

24



# Étude de documentation pour le Conseil de sciences du Canada

Janvier 1973  
Étude spéciale  
n° 24

Aspects locaux,  
régionaux et  
mondiaux des  
problèmes de  
qualité de l'air

par R.E. Munn

ANALYSED

Janvier 1973

Aspects locaux,  
régionaux et  
mondiaux des  
problèmes de  
qualité de l'air

Conseil des sciences du Canada,  
7<sup>e</sup> étage,  
150, rue Kent,  
Ottawa, Ont.  
K1P 5P4

©Droits de la Couronne réservés

En vente chez Information Canada à Ottawa,  
et dans les librairies d'Information Canada :

Halifax – 1687, rue Barrington

Montréal – 640 ouest, rue S<sup>te</sup>-Catherine

Ottawa – 171, rue Slater

Toronto – 221, rue Yonge

Winnipeg – 393, avenue Portage

Vancouver – 680, rue Robson

ou chez votre libraire

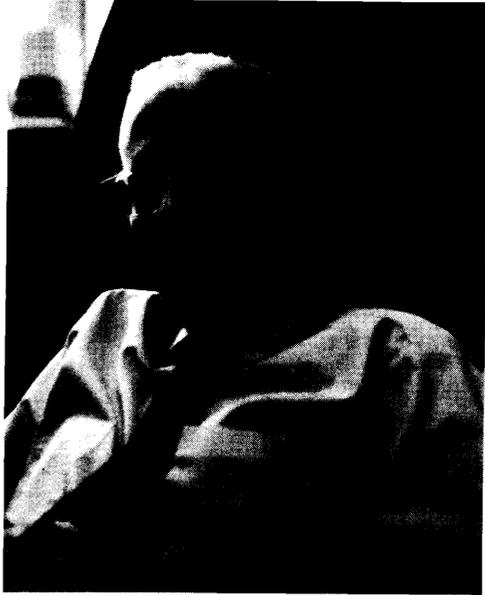
Prix \$0.75

N<sup>o</sup> de catalogue SS21-1/24F

Prix sujet à changement sans avis préalable

Information Canada

Ottawa, 1973



### **R.E. Munn**

L'auteur, R.E. Munn, est né à Winnipeg en 1919. Il a obtenu son baccalauréat ès arts avec spécialisation en mathématiques de l'Université McMaster en 1941, sa maîtrise ès arts (météorologie) de l'Université de Toronto en 1945, et son Ph.D. en météorologie et pollution atmosphérique de l'Université du Michigan en 1962. Le Dr Munn, entré au service de l'État en 1941, est chercheur au sein du Service de l'Environnement atmosphérique, qui relève d'Environnement Canada. Il est aussi chargé de cours à l'Université de Toronto et maître de conférences à titre honoraire à l'Université de Guelph. En 1970, il était professeur invité à l'Université de Stockholm. Il est rédacteur en chef de la revue *International Journal of Boundary-Layer Meteorology*. Il a publié environ 75 articles et deux ouvrages (*Descriptive Micrometeorology*, en 1966, et *Biometeorological Methods*, en 1970).

Le Dr Munn fait partie d'un grand nombre de comités scientifiques. Il est président du Groupe d'étude de la pollution de l'air et de la chimie atmosphérique, qui relève de l'Organisation météorologique mondiale. Au Conseil international des unions scientifiques, il fait partie de SCOPE (Comité scientifique pour l'étude des problèmes de l'environnement) et de SCOR (Comité scientifique pour la recherche océanique); il est aussi membre de la Commission internationale de la chimie atmosphérique et de la pollution mondiale, de la Commission de surveillance à l'échelle mondiale et du Groupe d'étude des modèles mathématiques des écosystèmes. Il a participé à l'étude des répercussions de l'action de l'homme sur le climat, organisée par l'Institut de technologie du Massachusetts, laquelle s'est tenue pendant l'été de 1971 aux alentours de Stockholm.

## **Avant-propos**

La présente étude a été réalisée au printemps de 1971 pour le Conseil des sciences du Canada, et a été présentée lors d'une réunion du Comité des problèmes de l'environnement. L'auteur a, par la suite, remanié le manuscrit en vue de sa publication.

La parution d'une étude sur la pollution atmosphérique arrive à point. La Conférence de Stockholm sur les problèmes de l'environnement humain, réunie sous les auspices des Nations Unies, a attiré l'attention du monde sur la pollution et sur la nécessité de trouver des solutions à ce problème, non seulement au niveau local, mais aussi à l'échelle nationale et internationale. On pense évidemment au transport par le vent des polluants atmosphériques d'un pays à l'autre. Les scientifiques canadiens se penchent depuis plusieurs années sur ce problème; leur point de départ a été une étude, réalisée en 1930 à la demande de la Commission mixte internationale, sur les émanations de dioxyde de soufre provenant de Trail, en Colombie-Britannique, et cheminant dans la vallée du fleuve Columbia pour aboutir aux États-Unis.

Le Dr Munn est bien connu pour ses recherches sur la pollution atmosphérique. Il aborde le sujet sous l'angle de la météorologie, mais sa bonne connaissance des disciplines associées lui permet de porter des jugements valables. Il est aussi bien au courant de ce qui se fait en Europe, ayant passé dernièrement un hiver à l'Université de Stockholm.

Le Conseil des sciences estime que la publication de cette étude, destinée aux profanes, sera très utile, parce qu'elle constitue un exposé sérieux de l'état actuel des techniques et qu'elle favorisera la communication entre les diverses disciplines.

P.D. McTaggart-Cowan  
Directeur général du  
Conseil des sciences du Canada.

## **Préface**

Dans le présent rapport, j'ai tenté de présenter un exposé rationnel des connaissances scientifiques actuelles et des questions pendantes concernant la pollution atmosphérique aux niveaux local, régional et mondial. Mon intérêt en ce domaine a été éveillé en 1957, lorsque j'ai été affecté aux Laboratoires de Windsor de la section canadienne de la Commission mixte internationale, et chargé de faire des études sur les facteurs météorologiques de la pollution atmosphérique dans la région de Windsor et de Détroit. Je me suis toujours occupé, depuis, des problèmes d'utilisation judicieuse de l'atmosphère.

À mon avis, les problèmes les plus aigus de pollution atmosphérique que connaîtra le Canada au cours des prochaines décennies se manifesteront à l'échelle régionale. Dans le couloir Windsor-Québec, par exemple, les facteurs accélérant la croissance urbaine agissent fortement, et petites et grandes villes commencent à se toucher. On se rend compte de la nécessité d'une planification régionale judicieuse, tenant compte non seulement des prospectives démographiques pour la prochaine décennie, mais s'étendant aussi sur les cent prochaines années. Il aurait été relativement facile, il y a un siècle, de réserver tout l'espace compris entre les avenues St. Clair et Eglinton, à Toronto, pour en faire un parc. Il est plus malaisé actuellement (bien que ce soit encore possible), d'aménager des ceintures de verdure autour des nouvelles villes ou à la périphérie des régions métropolitaines. Il faudrait qu'à l'avenir les industries lourdes ne soient pas implantées à moins de plusieurs milles des quartiers résidentiels et que l'on construise des réseaux de transport rapide.

Je sais gré à mes collègues du Service de l'Environnement atmosphérique de l'aide fournie et des observations communiquées. Enfin, je désire souligner que j'exprime des vues personnelles, qui peuvent ne pas correspondre à celles d'Environnement Canada.

R.E. Munn,  
Service de l'Environnement atmosphérique,  
Toronto, Ont.

## **Table des matières**

Avant-propos	4
Préface	5
<b>I. Introduction</b>	<b>9</b>
Variations de la pollution atmosphérique selon le moment et le volume de dispersion	11
Les principaux polluants atmosphériques	12
<b>II. Pollution atmosphérique locale</b>	<b>15</b>
<b>III. Pollution atmosphérique régionale</b>	<b>17</b>
<b>IV. Pollution atmosphérique à l'échelle mondiale</b>	<b>23</b>
<b>V. Passé, présent et avenir des études sur la pollution de l'air</b>	<b>31</b>
Bibliographie	34
Publications du Conseil des sciences du Canada	37

# I. Introduction

Selon la définition du projet de loi C224 (Canada 1971), la pollution atmosphérique est «une condition de l'air ambiant résultant, en totalité ou en partie, de la présence dans cet air d'une ou plusieurs substances nuisibles, qui mettent en danger la santé, la sécurité ou le bien-être des personnes, font obstacle à la jouissance normale de la vie ou des biens, mettent en danger la santé des animaux ou causent des dommages au règne végétal ou aux biens»\*.

Considérés dans le sens le plus large, les polluants atmosphériques ne comprennent pas seulement les traces de gaz et les particules habituellement détectées par les organismes de surveillance, mais aussi le dioxyde de carbone, la vapeur d'eau et la chaleur, à cause de certains de leurs effets climatiques. On dit aussi que la pollution est une «ressource au mauvais endroit», en suggérant son utilisation grâce à la dépollution.

La pollution atmosphérique est avant tout un phénomène local. Cependant, l'atmosphère ne connaît pas de frontières, et les substances nuisibles traversent les provinces, les continents et les océans. Cette mobilité est à la fois un avantage et un désavantage. D'une part, la lutte contre la pollution n'est pas toujours à la portée des autorités locales, mais nécessite parfois une coopération régionale, voire internationale, généralement difficile à obtenir. D'autre part, en se dispersant dans des volumes d'air de plus en plus grands, les polluants se trouvent dilués, et une forte partie est soustraite de l'atmosphère par les précipitations, par l'absorption au sol et par des réactions chimiques au sein de l'atmosphère elle-même. Ces processus d'auto-épuration peuvent même s'exercer loin du lieu d'émission.

Le volume d'air pur dont dispose une ville ou une région dépend en grande partie de la force du vent et de l'épaisseur de la couche d'air en turbulence qui la recouvre. Quand on survole une grande ville, on s'aperçoit souvent que la limite supérieure de la couche de brume qui la couvre est nettement marquée. Cette limite sépare l'air brassé à la surface du sol de la couche supérieure d'air pur. L'altitude de cette limite, qu'on appelle hauteur de brassage, varie d'heure en heure et de jour en jour. Par temps d'orage, cette limite est naturellement bouleversée, et l'air pollué peut s'élever très haut. Toutefois, il rencontre une autre barrière, la tropopause, qui arrête son ascension. La tropopause encercle la Terre à une hauteur de 30 000 pieds, séparant la troposphère turbulente de la stratosphère plus ou moins tranquille. Les observations faites par avion confirment la très forte diminution de la teneur en polluants au travers de la tropopause.

Prenons un volume d'air ayant les dimensions horizontales d'une ville ou d'une région et, verticalement, la hauteur de la zone de brassage. On peut alors considérer que les variations de la teneur en polluants dans cet espace extensible résultent d'un déséquilibre entre la production de polluants, l'action des mécanismes d'auto-épuration et le transport horizontal de polluants hors de cet espace. On peut de même établir des bilans de pollution pour l'hémisphère Nord; le facteur de transport disparaît alors, et la dimension verticale de l'espace considéré correspond à la hauteur de la tropopause.

\*Tous les détails bibliographiques figurent dans la section «Bibliographie» à la fin de l'ouvrage (p. 34).

Le rapport se déroulera comme suit: les deux sections suivantes du présent chapitre constitueront des exposés préliminaires sur les variations de la pollution atmosphérique en fonction du moment et du volume de dispersion, et sur la nature de cette pollution. Aux 2<sup>e</sup>, 3<sup>e</sup> et 4<sup>e</sup> chapitres, on trouvera la description des mécanismes atmosphériques et des problèmes posés par la pollution à l'échelle locale, régionale ou mondiale. Le 5<sup>e</sup> chapitre résumera les mesures prises ou envisagées pour sauvegarder ou améliorer la salubrité de l'atmosphère.

### **Variations de la pollution atmosphérique selon le moment et le volume de dispersion.**

Le Canada offre encore de vastes volumes d'air entre les grandes agglomérations et c'est heureux; de plus, l'océan Pacifique, les régions arctiques, le Nord canadien et l'océan Atlantique sont surmontés de gigantesques réserves d'air pur. Il peut quand même survenir des problèmes en certains endroits, ou dans certaines régions, quand la pollution dépasse les possibilités d'auto-épuration et de remplacement des masses d'air de l'atmosphère, par exemple lorsque le brassage a lieu à basse altitude et que les vents sont faibles.

Sauf en quelques endroits, le Canada possède la plupart du temps une atmosphère très salubre. C'est pourquoi les associations bénévoles et les organes d'information ont bien de la peine à maintenir l'intérêt que le public accorde à la lutte contre la pollution atmosphérique. Alors que le niveau de pollution de l'eau est relativement constant d'une journée à l'autre, la teneur en polluants de l'atmosphère au contact du sol varie parfois d'une minute à l'autre. Il est rare que la qualité de l'air de nos grandes villes se détériore sérieusement, et cela ne dure que quelques jours, quand les vents sont faibles et que le brassage vertical est réduit. En novembre 1962, à Toronto, de telles conditions ont provoqué un «fumard» (smog) qui a nécessité la remise du match de la Coupe Grey. Dans ces circonstances, la presse et le public s'émeuvent, mais après quelques jours l'air pur du Nord envahit la région, disperse les polluants, et le public oublie le danger.

Au cours d'une longue période, on constate que le régime éolien d'une région varie beaucoup: il est par conséquent difficile de déterminer les tendances de la pollution et d'évaluer l'efficacité des programmes de lutte.

Par exemple, Schmidt et Velds ont trouvé que la diminution de la teneur moyenne hivernale en dioxyde de soufre, observée au-dessus de Rotterdam au cours des années 1960, pouvait s'expliquer par une diminution concomitante des facteurs météorologiques favorisant la stagnation de l'air dans la région. Les données présentées par Schmidt et Velds (tableau n° 1) ne suggèrent pas que le programme de lutte contre la pollution entrepris à Rotterdam ait été couronné de succès.

De même, l'augmentation de la teneur en soufre des précipitations atmosphériques tombées sur la Suède au cours des années 1960 peut être attribuée presque entièrement à des variations du régime des vents de pluie. Quand ils viennent du Nord-Est, ils apportent l'air pur de la réserve sibérienne. Par contre, les pluies apportées par les vents de Sud-Ouest sont

relativement polluées. L'étude des pluies acides qui tombent en Suède nécessite l'analyse de l'évolution annuelle des trajectoires des orages en Europe.

Les variations du volume de dilution sont également importantes. Le niveau de pollution s'élève dangereusement lorsque la circulation locale de l'air ne suffit pas à diluer suffisamment les fumées. Ce phénomène se produit par exemple lorsque l'air est emprisonné dans une vallée ou entre de hauts édifices urbains. C'est la configuration de la vallée où se trouvait la ville qui fut la cause de la catastrophe de 1948 à Donora, en Pennsylvanie.

**Tableau n° 1 – Tendances suivies par la teneur atmosphérique hivernale en SO<sub>2</sub> et par les conditions météorologiques favorisant la stagnation de l'air couvrant Rotterdam.**

Hiver	Teneur en SO <sub>2</sub> , en µg/m <sup>3</sup>	Nombre des jours pendant lesquels l'air est stagnant
1962-1963	261	55
1963-1964	258	51
1964-1965	229	22
1965-1966	216	29
1966-1967	203	11
1967-1968	183	8

*Source: F.H. Schmidt et C.A. Velds: «On the relation between changing meteorological circumstances and the decrease of the sulphur dioxide concentration around Rotterdam». Atmospheric Environment 3, 1969; pages 455-460.*

Une situation dangereuse est aussi causée par le flux et le reflux de masses d'air pollué, déplacées alternativement par des brises de terre ou de mer (Vancouver) ou de lac (Toronto) ou dévalant des montagnes (Denver), sans qu'il y ait irruption d'air frais pendant plusieurs jours. L'atmosphère canadienne se distingue par des rapidités très diverses du remplacement des masses d'air. Dans l'Arctique, par exemple, les vents sont calmes pendant de longues périodes, et le brassage vertical de l'atmosphère est insuffisant. C'est pourquoi la mise en œuvre de normes nationales ou internationales d'émission des fumées ne peut garantir que les teneurs ambiantes ne dépasseront pas le niveau prescrit. Ces normes ne peuvent guère qu'assurer une répartition équitable des frais de réduction de la teneur en polluants de l'atmosphère d'une région et éliminer les asiles pour pollueurs. Le débit maximal admissible de polluants déversés dans l'atmosphère devrait de préférence être calculé en fonction du nombre et de la hauteur des cheminées, ainsi que des conditions météorologiques et topographiques locales.

L'épuration des fumées sortant de la cheminée d'un bâtiment de deux étages situé en rase campagne ne sera pas aussi rigoureuse que s'il était entouré de gratte-ciel. Les critères nationaux et internationaux de salubrité de l'air se justifient parce qu'ils tiennent compte des effets des polluants.

## **Les principaux polluants atmosphériques**

On classe les polluants atmosphériques de différentes manières, selon le but visé. La classification ci-dessous est celle qui est la plus fréquemment employée:

a) *Produits d'une combustion incomplète: suie, dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>),*

hydrogène sulfuré ( $H_2S$ ), etc.

Ce phénomène est courant en hiver au Canada et en Europe; on peut l'atténuer en améliorant les modes de combustion des combustibles et des gaz émis\*. On peut également éliminer la plupart de ces polluants par filtrage ou précipitation électrostatique. Cette dernière méthode réussit fort bien quand il s'agit de grosses particules. La suie a disparu de l'atmosphère dans les régions où l'on a mis en œuvre des programmes efficaces d'assainissement des fumées. Toutefois, les particules dont le diamètre est inférieur à 0.1 micron ne sont pas aisément capturées. De plus, on ne peut éliminer que 96 pour cent du dioxyde de soufre et des autres gaz. Les 4 pour cent restants représentent peut-être 100 tonnes de soufre déversées quotidiennement par une seule usine métallurgique, usine d'épuration du gaz naturel ou centrale thermique.

*b) Les substances toxiques: plomb, arsenic, mercure, cadmium et amiante.*  
Il faut éliminer ces polluants à la source, car ils se déposent fréquemment sur la végétation et dans l'eau des lacs, où ils sont concentrés au long de la chaîne trophique.

*c) Les produits des réactions photochimiques (oxydants, nitrates de péracétyle, etc.)*

Sous l'action d'un fort ensoleillement, les hydrocarbures réagissent avec les oxydes d'azote et donnent naissance à des substances qui provoquent l'irritation de la peau et des muqueuses oculaires, endommagent les récoltes et corrodent certaines matières, tels le caoutchouc et le nylon. Quand le smog photochimique apparut pour la première fois à Los Angeles au cours des années 1950, on en ignorait la cause. Les mesures sévères qui furent appliquées pour réduire les émanations de  $SO_2$  ne firent qu'aggraver la situation, ce qui prouve qu'il est dangereux de s'attaquer à des symptômes dont on ignore les causes. De même, les programmes actuels qui visent à la réduction de la quantité d'hydrocarbures contenus dans les gaz d'échappement des autos, sans diminution concomitante des oxydes d'azote, accroîtront la teneur de l'atmosphère en ces derniers, qui sont toxiques en forte concentration. On sait maintenant que le smog photochimique est produit dans de nombreuses parties du monde, y compris le Mexique, le Chili et l'Australie. Dans le sud du Canada, ce phénomène se manifeste pendant des périodes prolongées de beau temps estival. En 1965, ce sont des oxydants qui ont endommagé les cultures de tabac de Mukammal sur la côte nord du Lac Érié, ce qui fait ressortir la nature régionale du phénomène. Tandis que la présence de  $SO_2$  crée un problème particulièrement aigu dans les villes ou à proximité de grandes industries, les oxydants se retrouvent dans des masses d'air s'étendant horizontalement sur 500 milles et plus.

On classe aussi les polluants en se basant sur leur persistance dans l'atmosphère. Cette durée varie entre environ une heure pour les oxydants dans l'atmosphère urbaine, et plus d'une année pour le monoxyde de

\*Signalons que l'important programme de recherche sur la combustion, réalisé par le Centre de recherche sur les combustibles du ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources, jouit d'une réputation internationale.

carbone (CO) et le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>). Le SO<sub>2</sub> peut persister plusieurs semaines dans l'atmosphère des régions maritimes et des campagnes, mais moins d'une heure dans une atmosphère polluée. Cette classification sert à l'établissement des bilans de pollution atmosphérique. On étudie de façon analogue les polluants ayant même durée de persistance.

On peut établir une autre classification en fonction de la source polluante: origine naturelle ou artificielle. En Europe, par exemple, la mer constitue une source majeure du soufre présent dans la pluie. En certains endroits, près des villes, les émissions artificielles prédominent, mais à l'échelle du globe, les sources naturelles produisent souvent autant de substances polluantes (voyez le chapitre IV).

Les scientifiques étudient de préférence les substances et les phénomènes physiques qu'ils peuvent mesurer, mais qui ne sont pas nécessairement les plus importants. Cette observation est particulièrement valable dans le domaine de la pollution atmosphérique, dont les teneurs s'expriment en microgrammes par mètre cube ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), et sont difficiles à mesurer. Par exemple, les émanations des usines de pâtes et papiers et des usines d'épuration du gaz naturel contiennent surtout des mercaptans, que l'on ne peut déceler par des moyens chimiques, alors qu'ils se révèlent immédiatement à l'odorat. Il est de même extrêmement difficile de mesurer l'acidité de l'eau de pluie.

De plus, nous comprenons mal les réactions des organismes vivants (les végétaux, les animaux et l'homme) aux polluants. Leur adaptation se produit parfois, ou des phénomènes de synergie dus à la présence de plusieurs polluants se manifestent. Les durées de réaction sont aussi incertaines, car il ne faut que quelques secondes pour détecter une odeur à l'odorat, mais le développement d'un emphysème dû à la pollution dure des années. Cependant, plusieurs associations internationales et organismes intergouvernementaux ont créé des groupes de travail pour étudier la pollution atmosphérique (Organisation mondiale de la santé (OMS), Organisation météorologique mondiale (OMM), Union internationale de chimie pure et appliquée, Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE), etc.). Bien que l'on dispose souvent de techniques très précises de détection chimique, l'équipement est coûteux et l'analyste doit posséder des connaissances et une formation particulières. Par conséquent, on met en œuvre un programme simple pour les relevés de pollution atmosphérique et l'exploitation du réseau de surveillance. Les travaux sont effectués par un technicien possédant une formation élémentaire, lequel visite chaque semaine les stations de prélèvements. En Ontario, la Direction de la salubrité de l'air s'est penchée sur ce problème et a affecté une large part de ses crédits pour dépenses courantes à la rémunération d'un personnel itinérant compétent. Les programmes internationaux de surveillance de la salubrité de l'air rencontrent les mêmes difficultés. La collecte des données indispensables aux scientifiques n'est pas à la portée de nombreux pays en voie de développement. L'organisation d'un réseau à l'échelle du globe nécessite des compromis et parfois l'utilisation de méthodes désuètes.

## II. Pollution atmosphérique locale

La pollution n'existait jadis qu'à l'intérieur des habitations. Chez les Algonquins, par exemple, les femmes devenaient souvent aveugles vers l'âge de 30 ans à cause de la fumée qui séjournait dans la partie de la case collective où l'on préparait les repas. Aujourd'hui encore, les autochtones des hauts plateaux de la Nouvelle-Guinée souffrent d'une affection pulmonaire chronique d'origine non tuberculeuse. Cleary et Blackburn (1968) ont attribué cette affection à la forte concentration de fumées, d'aldéhydes et de monoxyde de carbone dans les huttes. Et si, par les calmes soirées d'août, les campeurs de nos parcs nationaux et provinciaux hument avec plaisir la fumée que dégagent les feux de bois, la qualité de l'air n'en est pas moins détériorée.

On peut remédier à la pollution intérieure par la ventilation: ce n'est ni coûteux, ni difficile quand il s'agit d'un petit bâtiment. Cependant, il ne faut pas oublier que toute construction empêche la circulation de l'air. À l'extérieur, quand le vent souffle fortement, les fumées sont parfois rabattues le long de la face sous le vent des bâtiments et provoquent de fortes concentrations de polluants par intermittences. Une expérience réalisée en 1970 par Lundquist au Danemark, à l'aide d'un gaz à molécules marquées émis sous une botte débouchant sur la face exposée au vent d'un hôpital, a montré que les émanations rentraient dans le bâtiment par une fenêtre située à un étage supérieur de la face sous le vent. De même, quand à Halifax les vents soufflent du nord-ouest, on sent l'odeur des gaz de charbon dans la rue Barrington, car la cavité qu'elle forme aspire les fumées.

Une cheminée suffit généralement pour l'habitation unifamiliale. Cependant, la concentration démographique dans les grandes villes multiplie les sources de pollution atmosphérique et crée des problèmes auxquels il faut s'attaquer par différents moyens:

1° en réduisant les émissions individuelles par l'utilisation de combustibles moins polluants, par l'épuration des fumées, etc.;

2° en divisant le territoire urbain en zones résidentielles, commerciales et industrielles. Dans les villes européennes, on a ménagé des ceintures de verdure et des espaces d'où sont bannies les fumées, en évitant ainsi la concentration des polluants. À New York, l'air est plus pur dans Central Park que dans les agglomérations avoisinantes;

3° en construisant des cheminées plus hautes, afin de diluer les gaz dans de grands volumes d'air. Mais, naturellement, on risque ainsi d'étendre un problème local à l'échelle de la région (voir le chapitre III).

Nous possédons donc les moyens de lutter contre la pollution locale. L'automobile constitue un cas particulier: les sources sont multiples et chacune d'elles ne représente qu'une faible partie de la pollution générale. Sur les artères urbaines à circulation rapide de certaines grandes villes des États-Unis, la teneur en monoxyde de carbone dépasse parfois le niveau maximal de pollution admissible à l'intérieur des bâtiments. En 1966, Brice et Roesler prélevèrent 47 échantillons d'air, de demi-heure en demi-heure, dans des véhicules circulant dans Saint-Louis: les concentrations de CO atteignaient de 11 à 77 millionnièmes.

# III. Pollution atmosphérique régionale

Aux États-Unis, la hauteur moyenne d'une cheminée de centrale thermique atteignait 73 m en 1960, et 183 m en 1969 (Tennessee Valley Authority, 1970). La construction en cours d'une cheminée à Sudbury, dont la hauteur atteindra 375 m et qui coûtera 10 millions de dollars, montre bien que la même tendance est suivie au Canada. Les hautes cheminées constituent souvent un moyen permettant de satisfaire aux règlements anti-pollution. Cependant, le dessin de ces cheminées présente des difficultés, car l'analyse de l'ascension d'un panache de gaz échauffés et légers dans une atmosphère balayée par le vent constitue un problème scientifique complexe; de plus, les conditions météorologiques varient d'un jour à l'autre; jusqu'à tout récemment, on avait établi de nombreuses formules, mais on n'avait effectué que peu d'essais.

Bien des firmes de consultation en génie civil n'ont guère de compétences en météorologie: elles commettent souvent l'erreur de baser leurs calculs sur des formules théoriques ne tenant pas compte des conditions locales. C'est ainsi qu'une étude récente prévoyait un panache haut de plus de 60 km!

Une autre erreur est de dessiner des cheminées qui arrivent juste à répondre aux critères actuels de salubrité de l'air; en effet, la tendance depuis plusieurs décennies est à l'adoption de règlements de plus en plus sévères. À propos de la centrale thermique de Cardinal, sur l'Ohio, Frankenberg et ses collègues ont fait observer que «puisque le fonctionnement des deux cheminées est si satisfaisant, il sera sans doute possible de porter la puissance du troisième groupe à 1 300 mégawatts, si c'est nécessaire. Une telle expansion de la centrale exigera peut-être que la troisième cheminée s'élève jusqu'à 900 ou 1 000 pieds, mais les normes de qualité de l'air ambiant qui seront en vigueur au moment du dessin de la cheminée pourront influencer sur son dimensionnement».

Le dessin des très hautes cheminées doit tenir compte de trois facteurs d'ordre météorologique:

#### *1<sup>o</sup> Les vents violents*

La forme du bâtiment ou la configuration du terrain qui l'entoure peuvent avoir pour effet de rabattre le panache; quand il s'agit de cheminées très hautes, ce phénomène peut se produire à 10 km du lieu d'émission. En Indiana, par exemple, on avait haussé la cheminée d'une centrale thermique pour réduire la pollution locale: la fumée s'est alors rabattue à 5 km de l'usine. On en est cependant arrivé à une solution satisfaisante, grâce à des essais dans une soufflerie, sur modèle réduit. Cette méthode donne d'excellents résultats, à condition que l'on n'érige pas par la suite un autre bâtiment élevé dans les environs immédiats du précédent, modifiant ainsi le régime local des vents et les turbulences.

#### *2<sup>o</sup> Les vents légers*

La chaleur dégagée par une haute cheminée est telle qu'elle peut engendrer une circulation thermique locale de l'air, rabattant le panache de fumée au sol à quelques kilomètres de distance: cette situation peut être aggravée ou compensée par d'autres cellules de circulation d'air engendrées par les brises de lac ou les vents de vallée.

### 3<sup>o</sup> L'enfumage

Quand l'atmosphère est turbulente et bien brassée à proximité du sol et qu'elle est coiffée d'une couche d'air stable à l'altitude du panache, les gaz polluants ne peuvent s'échapper vers le haut et risquent au contraire d'enfumer l'air au niveau du sol. Hewson a décrit ce phénomène pour la première fois en 1945, lors d'une séance de la Commission mixte internationale chargée d'étudier les dommages causés par le  $\text{SO}_2$  à la végétation de la vallée du Colombia. D'autres investigations ont été entreprises par la suite, et il semble que la configuration des lieux ait une grande importance. En 1971, Hirt et ses collègues ont décrit un cas d'enfumage qui s'est produit à des distances variant entre six et dix kilomètres d'une centrale thermique installée sur le rivage du lac Ontario: trois cheminées fonctionnaient, émettant 33 mégacalories et 5.6 kilogrammes de  $\text{SO}_2$  à la seconde. Les teneurs en  $\text{SO}_2$  au niveau du sol ont atteint jusqu'à 0.9 millionième un jour de mai, alors que le capuchon atmosphérique était stable. Si l'on tient compte de ces facteurs météorologiques, on peut dessiner une cheminée de hauteur raisonnable, respectant les règlements de salubrité de l'air.

Le zonage a certes sa raison d'être; autrefois bien des villes ont été créées et se sont développées autour d'une seule industrie, mais il serait maintenant insensé de situer un quartier résidentiel dans le voisinage d'une fonderie. Il n'est guère possible de revenir sur les erreurs du passé; actuellement, on établit une zone tampon entre les nouvelles communautés urbaines et les zones industrielles, et on les relie par des moyens de communication suffisants. On a appliqué ces principes lors de l'implantation de centrales électronucléaires à Chalk River et à Deep River. Avant la création de l'agglomération de Kitimat, en Colombie-Britannique, le professeur H.E. Landsberg avait analysé les facteurs météorologiques locaux, et l'application de ses recommandations s'est révélée judicieuse. Aujourd'hui, quand on projette l'implantation d'une industrie dans une région accidentée, on étudie soigneusement la direction des vents dominants pour choisir l'emplacement de la future agglomération. La pollution atmosphérique ne constitue naturellement que l'un des facteurs pris en considération par l'aménagiste étudiant les différentes possibilités d'utilisation du territoire.

Jusqu'à présent, nous n'avons examiné que le cas des villes pourvues d'une seule usine. L'apparition de nombreuses hautes cheminées est un signe précurseur d'un déclin de la salubrité de l'atmosphère régionale. Elles suggèrent que la pollution sera fortement augmentée. En Suède, on s'est publiquement inquiété des effets sur l'atmosphère suédoise des hautes cheminées que l'on est en train d'ériger en Angleterre et dans la vallée du Rhin. Il n'est pas facile de répondre à cette question, car les mécanismes de diffusion et d'auto-épuration jouent un rôle important quand les polluants sont transportés sur de grandes distances.

Les aménagistes régionaux doivent aussi se rappeler que, la plupart du temps, l'atmosphère elle-même constitue un mécanisme efficace pour la dispersion des polluants, et qu'il n'est donc pas nécessaire d'imposer une réglementation sévère pour préserver la salubrité de l'air. Au cours de la «Semaine de l'air pur», organisée à Toronto en 1966, les écoliers ont lâché tous les jours, vers midi, des ballons gonflés à l'hélium, et munis d'une

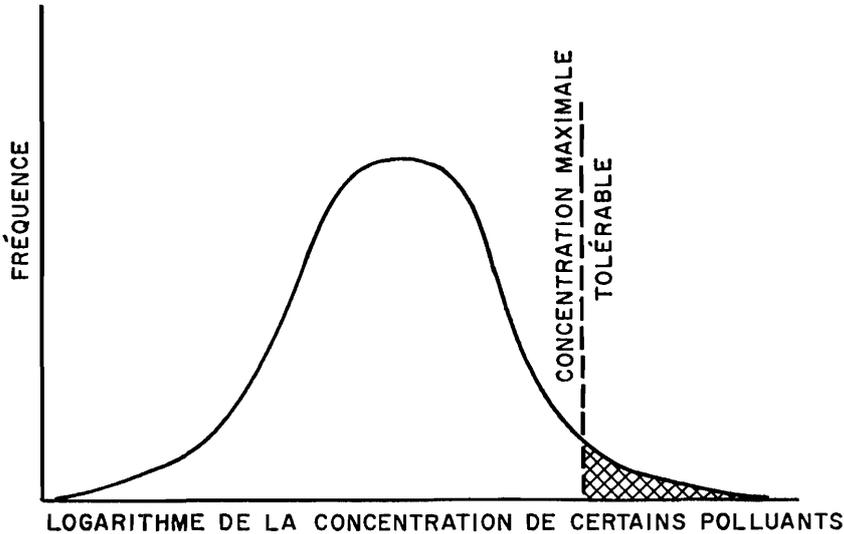
**Tableau n° 2 – Distances atteintes par les ballons, selon les étiquettes retournées à Toronto entre le 17 et le 21 octobre 1966.**

Date	Endroit où le ballon a été retrouvé	Distance parcourue	Vents mesurés dans la région de Toronto		
			altitude		
			0	2000 pi.	4000 pi.
17 oct.	Mégantic, Qué.	450 milles	S-O 9	O 19	O 17
18 oct.	Uxbridge, Ont.	90 milles	S-E 9	S 9	N-O 5
19 oct.	Barry's Bay, Ont.	135 milles	N-O 13	E 6	S 9
20 oct.	Wilmington, Dela.	350 milles	N-O 16	N-O 11	N-O 19
21 oct.	Springfield, Vt.	350 milles	S 15	S-O 13	S-O 30

étiquette. Beaucoup de ces ballons furent retrouvés et leurs étiquettes renvoyées au Comité de la «Semaine de l'air pur». Le tableau n° 2 indique les distances maximales parcourues chaque jour par chacun des ballons recueillis. Ces données montrent que la pollution atmosphérique ne respecte aucune frontière.

Le diagramme n° 1 illustre un autre aspect du problème, en montrant la courbe de fréquence de la teneur en polluant dans une station de prélèvements. La forme de cette courbe se retrouve presque toujours, que la durée moyenne d'une observation soit de quelques secondes ou de quelques heures.

**Diagramme n° 1 – Courbe de fréquence de la teneur en polluant atmosphérique à une station d'échantillonnage. La partie hachurée représente les dépassements du taux admissible.**



Si l'on a établi une teneur maximale admissible, la tactique d'optimisation consiste à réduire les teneurs dépassant cette limite. Il serait coûteux, et sans doute inutile, de s'efforcer de réduire les autres teneurs. L'indice de pollution dont se sert la Direction de la salubrité de l'air de l'Ontario s'inspire de ce principe. Quand l'indice dépasse une certaine limite, on demande aux principales sources de polluants de réduire leurs effluents; ainsi la teneur en polluants atmosphériques est ramenée en deçà de la limite de teneur admissible, comme le diagramme n° 1 le montre.

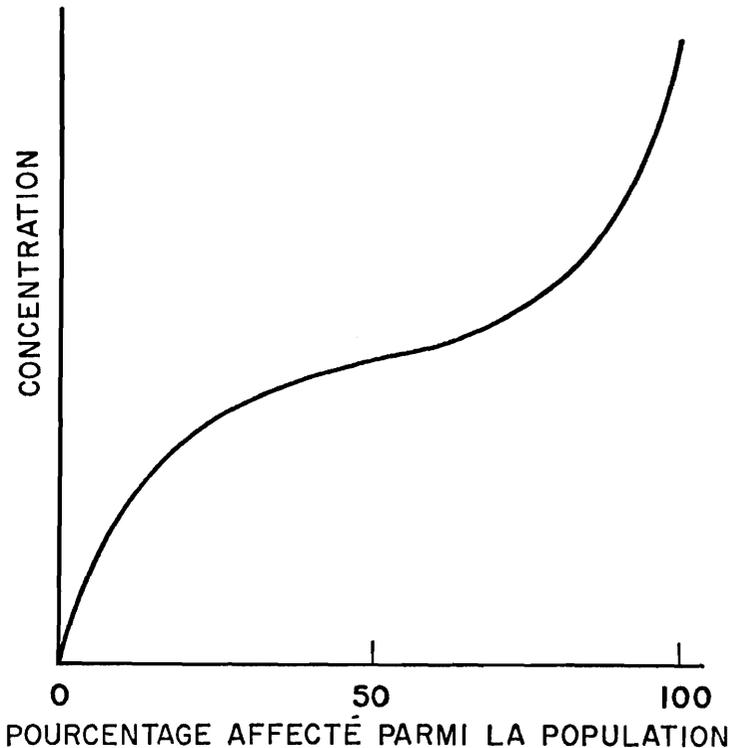
La Direction de la salubrité de l'air admet qu'il s'agit là d'une méthode qualitative de résolution d'un problème à variables multiples. Afin de répartir équitablement l'effort de dépollution entre les diverses sources de polluants, il est indispensable d'évaluer les effets de leurs fumées en fonction de leur volume et de la hauteur de la cheminée. Les teneurs en polluants au ras du sol ont plus d'importance que le débit de la source de polluants. Le calcul quantitatif s'appuie donc sur l'utilisation de modèles physiques de la dispersion urbaine et régionale. Dès 1950, on a essayé d'élaborer ces modèles pour le bassin de Los Angeles. Depuis lors, le perfectionnement des ordinateurs a permis une programmation plus aisée et une exploitation plus facile des modèles mathématiques. Il faut en premier lieu entreprendre un relevé détaillé des sources de fumées par pâtés de maisons. Ensuite, on résout les équations numériques de dispersion atmosphérique des fumées de chaque source; les résultats combinés donnent un tableau détaillé de la pollution régionale. La Direction de la salubrité de l'air aura bientôt terminé l'analyse d'un modèle mathématique de la pollution atmosphérique à Toronto (Bowne et collègues, 1971); un travail semblable a été entrepris en Europe et dans beaucoup de villes des États-Unis. On espère que l'analyse de ces modèles permettra de prévoir la salubrité de l'air d'un jour à l'autre et les effets à long terme de changements à l'utilisation du territoire, au type de combustible ou à la hauteur des cheminées. La pression démographique dans le Canada méridional rend cette planification indispensable.

L'élaboration des modèles mathématiques se heurte à l'insuffisance des données recueillies sur les courants atmosphériques. Par exemple, il fait plus chaud à l'intérieur d'une ville que dans la campagne environnante; ce phénomène provoque une circulation thermique de l'air qui déforme les lignes des courants d'air régionaux. On élabore souvent des périgrammes complexes grâce à des données météorologiques trop peu nombreuses. Il faut admettre également que le pouvoir d'auto-épuration n'est pas toujours bien défini. Exploitant, en 1969, un modèle numérique de la dispersion du  $\text{SO}_2$  au Connecticut, Bowne dut employer une durée de persistance d'une heure seulement pour faire concorder les teneurs de  $\text{SO}_2$  observées au niveau du sol avec les teneurs calculées. En 1970, Miller et Ahrens ont trouvé que la rapidité de disparition des oxydants dans l'atmosphère urbaine est inversement proportionnelle au carré de l'épaisseur de la couche d'air brassée. Les teneurs en polluants atmosphériques dépendent au surplus entre quantités produites et quantités détruites; comme la croissance des villes entraîne un épaississement de la couche d'air brassée, la rapidité de destruction des oxydants diminue, alors que leur production augmente. Cette étude souligne la nécessité de recherches dans les trois dimensions de l'enveloppe urbaine, comme celles qui ont été récemment entreprises à Montréal par Oke et East (1971). Rappelons que le diagramme n° 1 illustre un autre facteur important en matière de lutte contre la pollution: de temps à autre, la teneur en polluants atteint un niveau inadmissible. La réglementation des fumées peut en limiter l'occurrence à une fois par demi-siècle, mais il est malaisé, ou même impossible dans certains cas, de fixer une limite absolue à la pollution. Il vaut mieux accepter un risque de dépassement de 1 ou 0.1 pour cent ou toute autre valeur arbitraire.

Ainsi que le montre le diagramme n° 2, les réactions des humains et des arbres au stress imposé par les conditions ambiantes complique encore la situation: on ne peut déterminer un seuil de concentration (sauf le seuil zéro) au-dessous duquel personne ne souffrirait de la pollution. Aux États-Unis, outre les prévisions des niveaux effectifs de pollution, on publie quotidiennement des avertissements sur les risques de forte pollution, tenant compte des conditions météorologiques qui pourraient causer une détérioration de la qualité de l'air les régions où existent plusieurs sources de pollution. Le Canada s'intéresse actuellement à un programme analogue. Heureusement, les conditions météorologiques pouvant causer une grave pollution se rencontrent surtout dans les régions éloignées des sources de polluants (telles les conditions météorologiques hivernales dans l'Arctique). Les plans d'expansion industrielle dans le Nord canadien devront donc être soigneusement étudiés\*. À Fairbanks, en Alaska, les longues périodes hivernales de stagnation de l'air causent déjà de graves problèmes de pollution. De plus, la flore et la faune résistent difficilement au rude climat du Nord et le seuil de concentration nuisible à l'équilibre écologique est peut-être inférieur à ce qu'il serait plus au Sud.

\*Les formules appliquées pour le dessin des cheminées en zone tempérée ne conviennent pas nécessairement pour l'Arctique.

Diagramme n° 2 – Courbe représentant le pourcentage d'une population affecté par des teneurs croissantes en polluants.



## IV. Pollution atmosphérique à l'échelle mondiale

Bien que l'on ne dispose pas de toutes les preuves nécessaires, on peut dire que, loin des villes, la qualité de l'air se modifie graduellement au cours des ans. La teneur moyenne de CO<sub>2</sub> dans la troposphère Nord a crû de  $0.7 \pm 0.1$  millièmes par an au cours de la dernière décennie (Bolin et Bischof, 1970). Il faut cependant remarquer que ce taux d'augmentation est bien inférieur à celui qu'on prévoyait en se basant sur l'accroissement des dégagements de CO<sub>2</sub> dus à l'activité industrielle. Environ 20 pour cent de ce CO<sub>2</sub> supplémentaire sont fixés par la végétation et 40 pour cent sont absorbés par les océans. En se basant sur les perspectives de l'OCDE relatives à l'utilisation des combustibles fossiles au cours des quarante années qui viennent, Bolin et Bischof ont calculé les teneurs en CO<sub>2</sub> de la troposphère jusqu'en l'an 2010 (voir le tableau n° 3). Il y a quelques années, on craignait que les réserves mondiales d'oxygène ne fussent réduites par les produits antiparasitaires rejetés dans les océans; on considère maintenant que cette crainte n'est pas fondée (Study of Critical Environmental Problems. MIT, 1970). Ryther (1970) a calculé que si toute photosynthèse cessait dans les océans, un million d'années s'écouleraient avant que la teneur en oxygène de l'atmosphère ne diminue de 10 pour cent.

**Tableau n° 3 – Teneurs prévues en CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère s'il se produit un accroissement de 4 pour cent par an des quantités rejetées. Pour comparaison, on indique également les teneurs prévues si cet accroissement est de 5 pour cent après 1980.**

Taux annuel d'augmentation de la quantité de CO <sub>2</sub> rejetée	Année	Teneur calculée de CO <sub>2</sub> dans l'atmosphère	
		si 35% du CO <sub>2</sub> restent dans l'atmosphère	si 45% du CO <sub>2</sub> restent dans l'atmosphère
		1970 321 millièmes	321 millièmes
	1980	332	335
Augmentation de 4%	1990	348	355
	2000	371	388
	2010	403	430
Augmentation de 5%	1990	349	356
	2000	378	395
	2010	418	450

Source: B. Bolin et W. Bischof: «Variation of the carbon dioxide content of the atmosphere in the Northern Hemisphere». *Tellus* 22, 1970, p. 431-442.

Certains écologistes et climatologues s'inquiètent de l'accroissement des quantités de poussières et aérosols dans l'atmosphère. Les faits sur lesquels ils se basent sont fragmentaires et découlent, la plupart du temps, de l'analyse des carottes de glace de glacier. On cite fréquemment un bref exposé de McCormick et Ludwig (1967) sur l'évolution du trouble atmosphérique à Washington (D.C.) et à Davos, en Suisse. Les principaux résultats, indiqués au tableau n° 4, montrent que l'atmosphère devient de plus en plus trouble. Des données recueillies dans une région aussi petite pourraient ne pas rendre compte de la réalité; beaucoup de scientifiques estiment que les données recueillies à Washington au cours des années 1962-1966 reflètent surtout les effets mondiaux et persistants de l'éruption du Mont Agung.

Les photos prises par satellite durant un calme anticyclonique montrent la brume d'origine industrielle qui se déplace dans l'atmosphère. Clodman et Taggart (1969) ont observé une masse de brume qui se dirigeait

**Tableau n° 4 – Indice moyen de turbidité**

Lieu	Année	Indice moyen de turbidité
Washington, D.C.	1903-1907	0.098
	1962-1966	0.154
Davos, Suisse	1914-1926	0.024
	1957-1959	0.043

Source: R.A. McCormick et J.H. Ludwig: «Climatic modification by atmospheric aerosols». *Science* 156, 1967, pages 1358-1359.

lentement de l'Est des É.-U. vers le milieu de l'Atlantique. Mais au cours des âges, les incendies de forêts et les tempêtes de poussière ont également produit un grand nombre de particules; les poussières stratosphériques d'origine volcanique ont sans doute réduit l'intensité du rayonnement solaire pendant de longues périodes, et restreint le spectre électromagnétique transmis. On a essayé d'établir des bilans mondiaux de substances particulières, grâce à l'exploitation de modèles physiques représentant le débit des sources, le volume des réserves et la capacité d'auto-épuración. L'utilisation de ces modèles permet d'extrapoler les tendances en simulant des variations du débit des sources d'une substance donnée. C'est la méthode utilisée par Bolin et Bischof pour calculer les teneurs futures en CO<sub>2</sub> (reproduites dans le tableau n° 3) et Robinson et Robbins en 1968, pour les teneurs en soufre atmosphérique.

Le diagramme n° 3 montre la répartition annuelle, en millions de tonnes, du soufre émis à la surface de la Terre. Les océans en absorbent 95 millions de tonnes nettes par an. Le diagramme n° 4 fournit une extrapolation de la croissance des émissions de SO<sub>2</sub>; on pourrait utiliser ces données pour l'élaboration d'un modèle mathématique dont l'exploitation permettrait de calculer l'évolution de la teneur en SO<sub>2</sub> de l'atmosphère. Le principal facteur d'imprécision dans ces calculs est la capacité des mécanismes d'auto-épuración. Voici certains des problèmes qui se posent:

### *1° Réactions chimiques dans l'atmosphère*

Leur rapidité est mal connue, car elle dépend souvent du lieu et du moment; c'est pourquoi on étudie de préférence les bilans de corps simples tels que le soufre, plutôt que des composés comme le SO<sub>2</sub>.

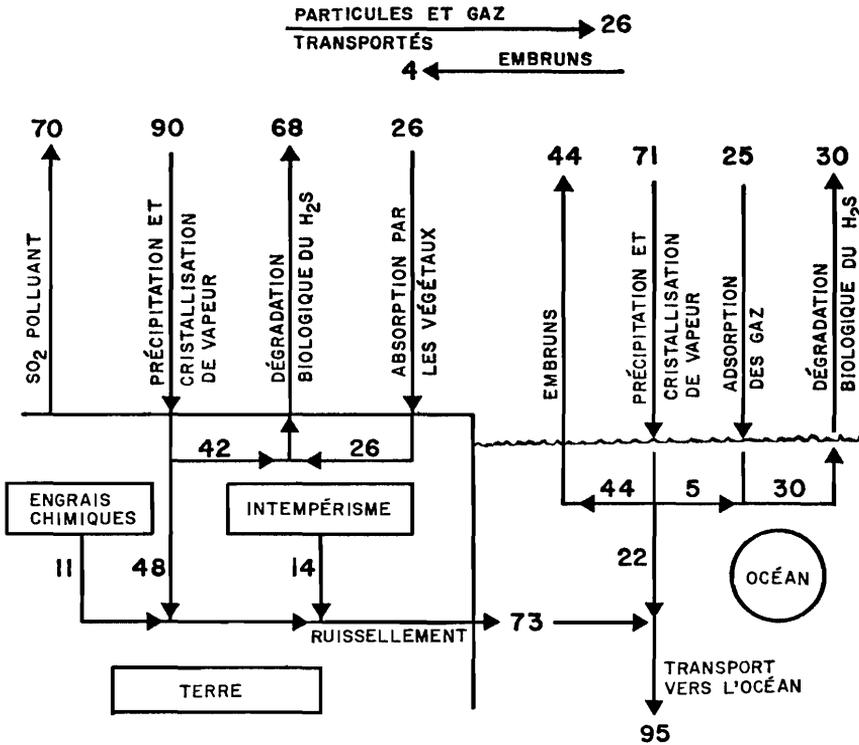
### *2° Épuración par précipitation*

Bien que le processus physique de l'épuración par les précipitations soit assez bien connu, on est mal informé sur la répartition verticale de la pollution, la hauteur des nuages de pluie et la répartition des tailles des gouttelettes d'eau et de particules.

### *3° Absorption par le sol*

Les grosses particules se déposent sur le sol sous l'action de leur poids. Les très petites particules et les gaz sont balayés de l'atmosphère de diverses façons: pendant les périodes de sécheresse, ils sont absorbés par les stomates des feuilles ou par les matériaux des bâtiments. Meetham (1950) a estimé que sur les 5 millions de tonnes de SO<sub>2</sub> émises dans l'atmosphère en Grande-Bretagne, pendant la décennie de 1940, 0.7 million de tonnes ont

Diagramme n° 3 – Bilan annuel mondial du soufre



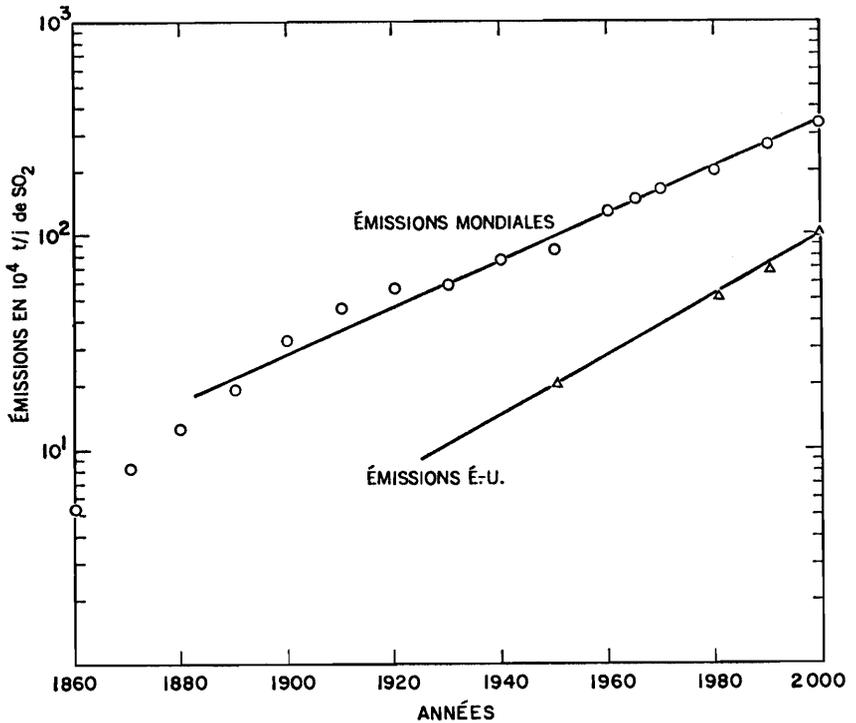
Source: E. Robinson et R.C. Robbins: «Sources, abundance and fate of gaseous atmospheric pollutants», Final Report SR1 Project PR-6755. Institut de recherche Stanford, Californie, 1968. 123 pages.

été capturées par la pluie, 3.2 millions de tonnes ont été absorbées par la végétation et la surface d'autres matériaux et le reste, soit 1.1 million de tonnes, a été poussé vers les océans ou d'autres régions. La quantité absorbée par la végétation et d'autres surfaces (3.2 millions de t) apparaît assez élevée, mais ne s'écarte guère des estimations de Spedding (1969).

L'adsorption dépend étroitement des propriétés physiques des surfaces et de facteurs micrométéorologiques tels que la turbulence au niveau du sol. Au cours d'une étude récente sur la capture du SO<sub>2</sub> de l'atmosphère par les matériaux pierreux des bâtiments, Braun et Wilson (1970) ont trouvé que le taux d'adsorption en laboratoire atteignait environ 50 pour cent en deux heures. Toutefois, les taux plus faibles observés à l'extérieur indiquent que cette activité est limitée par la quantité de SO<sub>2</sub> rabattue au sol par la turbulence. Il faudrait entreprendre des recherches sans tarder au sujet de ce phénomène, surtout au-dessus des océans, qui constituent des sources plutôt que des mécanismes d'épuration pour certaines substances. Les eaux tropicales de l'Atlantique, par exemple, émettent beaucoup de CO (Seiler et Junge, 1970).

En 1970, Hidy et Brock ont établi le bilan des aérosols de la troposphère, estimant que leur durée de persistance atteignait 4 jours. Le tableau n° 5 résume cet inventaire; on remarque que les sources artificielles

Diagramme n° 4 – Extrapolation de la croissance des émissions mondiales de SO<sub>2</sub>



Sources:

Émissions mondiales – E. Robinson et R.C. Robbins: «Gaseous atmospheric pollutants from urban and natural sources». *Global Effects on Environmental Pollution* (sous la direction de S.F. Singer). Reidel Publishing Company, 1969, pages 50-64.

Émissions aux É.-U. – J.H. Ludwig, G.B. Morgan et T.B. McMullen: «Trends in urban air quality». *Transactions of the American Geophysical Union* 57, 1970, pages 468-475.

Tableau n° 5 – Inventaire mondial hypothétique des principales émissions, après pondération en fonction de la composition connue des aérosols

	Émission quotidienne totale, en tonnes	En pourcentage du poids total
<i>1. Sources primaires</i>		
Poussières éoliennes	10 <sup>6</sup>	21
Embruns marins	2 x 10 <sup>6</sup>	42
Poussières météoritiques	550	0.01
Poussières volcaniques	10 <sup>4</sup>	0.2
Incendies de forêts	4 x 10 <sup>5</sup>	8.8
Combustions et émissions industrielles	3 x 10 <sup>5</sup>	6
<i>2. Sources secondaires</i>		
Végétation	2 x 10 <sup>5</sup>	4
Hydrocarbures artificiels	10 <sup>4</sup>	0.2
Cycle du soufre	6 x 10 <sup>5</sup>	13
Oxydes d'azote, nitrates	2 x 10 <sup>5</sup>	4
Émanations volcaniques	10 <sup>3</sup>	0.02
<b>Total pondéré</b>	<b>4.7 x 10<sup>6</sup></b>	<b>100</b>
<i>Pollution d'origine artificielle</i>	<i>4.3 x 10<sup>5</sup></i>	<i>9</i>

Source: G.M. Hidy et J.R. Brock: «An assessment of the global sources of tropospheric aerosols». Tiré à part. Seconde conférence internationale sur la salubrité de l'air. Washington 1970.

**Tableau n° 6 – Extrapolation jusqu'en l'an 2000 de l'accroissement des quantités des principaux aérosols résultant des activités humaines (en tonnes par an)**

Source	1970	1980	1990	2000
primaire (combustion et émissions industrielles)	$3 \times 10^5$	$5.3 \times 10^5$	$8.7 \times 10^5$	$1.3 \times 10^6$
sulfates	$3 \times 10^5$	$3.2 \times 10^5$	$3.7 \times 10^5$	$4.6 \times 10^5$
nitrates	$6 \times 10^4$	$8 \times 10^4$	$10 \times 10^4$	$1.3 \times 10^5$
hydrocarbures volatils chimiquement actifs	$7 \times 10^3$	$.7 \times 10^4$	$1.1 \times 10^4$	$1.7 \times 10^5$
	$6.6 \times 10^5$	$9.4 \times 10^5$	$13.5 \times 10^5$	$19.1 \times 10^5$

Source: Hidy et Brock: *op. cit.*

émettent environ 9 pour cent du total des aérosols. Le tableau n° 6 donne une extrapolation pour les trente prochaines années, en admettant que l'effort de dépollution se maintiendra au niveau des années 1960.

Les répercussions écologiques directes de l'augmentation des teneurs atmosphériques en  $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$  ou particules ne seront sans doute pas très notables. Il serait probablement aussi difficile de détecter une légère hausse de la photosynthèse (due à une augmentation de la teneur en  $\text{CO}_2$ ) que les changements dus à l'affaiblissement du rayonnement solaire. Le transport sur de longues distances de substances toxiques tels que le DDT et le mercure présente un danger bien plus sérieux; elles menacent l'existence de la faune et de la flore, en particulier des poissons. Les teneurs en plomb de la glace du Groenland sont dix fois plus élevées qu'en 1850 (Murozami et coll., 1967) et on a décelé la présence de DDT dans l'Antarctique. On soupçonne, particulièrement en Suède, que le mercure polluant les lacs nordiques provient de précipitations apportées par les vents venus d'autres régions. Malheureusement, nous ne savons pas grand-chose sur le débit des sources de ces substances nocives, et à peu près rien sur le cheminement de ces dernières dans les écosystèmes et les milieux physiques.

Nous nous occuperons maintenant des modifications climatiques, qui constituent le souci majeur des spécialistes s'intéressant au milieu terrestre au cours de la décennie actuelle. Tout d'abord, on craint que les réactés supersoniques ne perturbent la couche d'ozone de la stratosphère, augmentant ainsi l'irradiation ultraviolette du sol et partant, la fréquence du cancer de la peau. La plupart des scientifiques estiment qu'il faut étudier cette question et mettre en œuvre sans tarder un programme de surveillance de la stratosphère. Un grand nombre, cependant, mettent en doute la validité de cette théorie. On se demande également si les traînées de réacteurs favorisent la formation de nombreux nuages à haute altitude. D'aucuns prétendent avoir relevé cette tendance au cours des dernières décennies, mais les preuves fournies ne sont guère convaincantes. Il résulte de certaines observations que des nuages, classés comme cirrus dans les années 1940, sont en fait des altostratus ou des altocumulus. L'étude des effets stratosphériques de la présence d'ozone et de vapeur d'eau présente des difficultés dues:

1° au fait que, dans certains cas, on n'a pas encore établi la rapidité des réactions chimiques (les travaux poursuivis dans ce domaine par le professeur H. Schiff et ses collègues, dans les laboratoires de l'Université d'York, revêtent une importance capitale); et

2° au fait que les modèles actuels de la stratosphère ne tiennent pas

compte des effets dynamiques des modifications artificielles (Study of Man's Impact on Climate, MIT, 1971). La destruction de l'ozone pourrait, par exemple, être plus que compensée par l'accroissement de l'apport d'ozone provenant de niveaux supérieurs.

Voyons les effets climatiques de l'accroissement des teneurs en  $\text{CO}_2$  et du nombre des particules. L'accroissement du  $\text{CO}_2$  de l'atmosphère devrait provoquer, à lui seul, un réchauffement dans le monde entier, à cause de «l'effet de serre». Par contre, l'augmentation du nombre des particules en suspension devrait causer une chute de température à la surface du globe. Certaines interactions modifient la couverture nuageuse, l'itinéraire normal des tempêtes, l'enneigement, etc. Il est difficile de prévoir avec précision le déroulement des phénomènes, et la collectivité scientifique n'est pas encore à même de décrire le climat futur. Il ne faut pas perdre de vue que la charge de l'atmosphère en particules varie d'année en année. Lamb (1970) a établi une chronologie minutieuse de l'activité volcanique depuis l'an 1500, et il a constaté l'existence d'une faible dépendance statistique entre la présence de voiles de poussières dans la stratosphère et le refroidissement anormal de la surface de la Terre. Par exemple, New Haven, dans le Connecticut, connut ses trois étés les plus froids de la période 1780-1960 pendant des années où un voile de poussières s'était formé dans l'atmosphère. Il en fut de même au Japon pendant les années 1695, 1755, 1783 et 1838. Néanmoins, Lamb a relevé plusieurs exceptions.

Les données d'observations indiquent un réchauffement de la surface de la Terre au début du siècle, et un refroidissement depuis 1940; il existe toutefois des différences locales à cause de variations de nébulosité, etc. Le tableau n° 7 montre des résultats non publiés (communication de M.K. Thomas). La température moyenne à Toronto a certainement baissé; par contre, à Edmonton, elle s'est élevée; à Victoria, il n'y a eu que peu de changement. On ignore si ces tendances sont le résultat de la pollution atmosphérique ou de variations climatiques naturelles. De plus, Lamb (1970) fait remarquer que pendant la première moitié du XX<sup>e</sup> siècle, il n'y a pratiquement pas eu de poussière dans la stratosphère.

Afin de répondre à ces énigmes posées par le milieu environnant, il faudra élaborer des modèles numériques de l'interaction entre l'atmosphère et les océans à l'échelle globale, et mettre en place un réseau mondial de stations de surveillance de la pollution dans les différentes couches atmosphériques. Quand on aura vérifié la validité de ces modèles, on pourra simuler à l'ordinateur les répercussions des variations des quantités de gaz polluants dus à l'activité humaine, des méthodes d'utilisation du territoire, etc.

**Tableau n° 7 – Températures moyennes d'un certain nombre de localités canadiennes (en degrés Fahrenheit; il s'agit en général des températures aux aéroports)**

Localité	1931-1960	1960-1969
Victoria	50.2	50.1
Vancouver	50.4	49.8
Prince George	38	38.5
Calgary	38.4	38.5
Edmonton	36.9	37.5
Regina	35.9	36.1
Winnipeg	36.5	35.8
Moosonee	30.1	29.8
Windsor	48.8	47.8
Toronto	46	44.8
Ottawa	42.2	42.1
Montréal	43.8	43.2
Québec	41.2	39.3
Inoucdjouac	19.5	19.8
Fredericton	41.7	41.5
Yarmouth	44.9	43.8
Charlottetown	42	41.4
Gander	39.7	39.7
Goose	32.4	32.6
Dawson	23.6	23
Coppermine	11.5	11
Chesterfield	11.2	10.9
Frobisher	15.9	15.8
Resolute	2.8	2.3

# V. Passé, présent et avenir des études sur la pollution de l'air

C'est la Commission mixte canado-américaine d'étude de la pollution de l'air dans la vallée du Columbia qui entreprit, après 1930, la première étude canadienne importante dans le domaine de la pollution atmosphérique. Depuis, le public s'est soucié de plus en plus de cette nuisance. Les administrations des divers paliers n'ont réagi que lentement au début, en raison surtout des incertitudes sur la répartition des compétences. Ce sont principalement les ministères de la Santé qui ont mis en œuvre les premières mesures de lutte contre la pollution. Cependant, il est très difficile de prouver que la pollution atmosphérique a des répercussions sur la santé publique, sauf quand la teneur en polluants est beaucoup plus élevée que la normale. Au cours de ces dernières années, certaines provinces, dont l'Ontario et l'Alberta, ont mis sur pied des programmes de dépollution bien conçus et largement financés. En outre, ce sont les ministères de l'Environnement ou de l'Aménagement des richesses naturelles qui ont pris la relève des ministères de la Santé.

La petite équipe de chercheurs œuvrant au début de la décennie de 1950 s'est transformée en un groupe important d'experts travaillant dans les universités et les organismes publics. Le secteur industriel a également assumé ses responsabilités, et les ingénieurs à son service ont acquis une solide expérience des questions technologiques posées par les problèmes de pollution atmosphérique; cependant, pendant bien des années, le secteur industriel canadien n'a guère financé la recherche au Canada, par exemple sur les méthodes d'épuration des gaz d'échappement des automobiles. La situation évolue petit à petit, et certaines industries entreprennent de la recherche appliquée, ou la patronnent par l'intermédiaire des fondations et des conseils de recherches.

La lutte contre la pollution offre un domaine de travail passionnant aux chercheurs. Voici les étapes franchies récemment:

1° En 1971, le gouvernement canadien a créé un nouveau ministère, Environnement Canada, et a promulgué la Loi sur la lutte contre la pollution atmosphérique.

2° Un Secrétariat à l'environnement et un Comité associé pour les critères scientifiques de la qualité de l'environnement ont été créés au sein du Conseil national de recherches du Canada.

3° Des groupes interdisciplinaires sont formés dans les universités et dans les administrations publiques à tous les paliers.

4° Des groupes bénévoles, tels que «Pollution Probe» et SPEC, constituent des forces qui orientent l'opinion publique.

5° Les organismes internationaux se préoccupent des problèmes de l'environnement à l'échelle mondiale.

La Conférence convoquée à Stockholm par les Nations Unies, pour examiner les problèmes de l'environnement, a constitué un événement important. M. Maurice Strong, ancien président de l'ACDI, était secrétaire général de la Conférence. Il s'est vu confier la tâche épineuse de concilier les vues divergentes des pays industrialisés et des pays en voie de développement au sujet de la qualité de l'environnement et de la croissance économique. On espère cependant qu'une déclaration des droits de l'Homme à un milieu salubre résultera de cette Conférence, tout comme l'approbation de principe à la mise en place d'un réseau mondial de surveillance de

la pollution et une sensibilisation du public à l'égard des problèmes complexes de l'environnement. La Conférence des Nations Unies a donné le branle à de nombreuses activités internationales. En juillet 1971, l'Institut de technologie du Massachusetts a organisé un important atelier, près de Stockholm, dont les travaux sur les répercussions climatiques de la pollution ont été publiés dans un ouvrage intitulé «Inadvertent Climate Modifications» (1971). Le Conseil international des associations scientifiques a récemment créé le Comité scientifique pour les problèmes de l'Environnement (SCOPE). Le Comité a tenu sa première assemblée générale en septembre 1971, en Australie; on espère qu'il jouera un rôle consultatif de premier plan dans les activités internationales portant sur l'environnement. Il existe maintenant un sous-comité canadien au sein de ce comité.

Certains organismes intergouvernementaux ont, eux aussi, pris des initiatives au cours des deux dernières années. L'UNESCO a lancé le programme MAB (l'Homme et la biosphère) et d'autres organismes (tels la FAO, l'OCDE, l'OMS, l'OTAN, etc.) ont entrepris des travaux dans ce domaine. L'Organisation mondiale de la météorologie, tout particulièrement, est en train d'organiser un réseau de stations d'échantillonnages de référence. Environnement Canada participera à ce programme de surveillance, et on établit dix stations dans des endroits isolés, tels l'Île de Sable et le navire météorologique Papa. Contrairement aux É.-U., qui doivent d'urgence s'occuper de la lutte contre la pollution, les pays comme le Canada et la Suède ont encore le temps d'examiner calmement les différentes relations entre sources de pollution et auto-épuration d'une part, et agression par les polluants et réactions qu'elle entraîne d'autre part. À ce sujet, il faut absolument se rappeler que les écosystèmes doivent être étudiés dans leur ensemble. Les solutions techniques partielles peuvent faire disparaître les symptômes sans s'attaquer aux causes profondes de la dégradation de l'environnement.

*Développement de quelques abréviations utilisées dans le chapitre qui précède:*

ACDI: Agence canadienne de développement international

FAO: Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture

MIT: Institut de technologie du Massachusetts

OCDE: Organisation pour la coopération et le développement économique

OMS: Organisation mondiale de la santé

OTAN: Organisation du Traité de l'Atlantique Nord

SPEC: Society for Pollution and Environmental Control (Vancouver)

UNESCO: Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture

## Bibliographie

Projet de loi C-224. Loi relative à la qualité de l'air ambiant et à la lutte contre la pollution de l'air. Première lecture, 3<sup>e</sup> session, 28<sup>e</sup> Parlement. Chambre des Communes, Ottawa, 9 février 1971.

B. Bolin et W. Bischof: «Variation of the carbon dioxide content of the atmosphere in the northern hemisphere». *Tellus* 22, 1970, p. 431-442.

N.E. Bowne: «A mathematical model of air pollution in the state of Connecticut». Tiré à part, 62<sup>e</sup> réunion annuelle de l'Association de lutte contre la pollution de l'air, 1969. 10 p.

N.E. Bowne, D.G. Cooper, L. Shenfeld et A.E. Boyer: «A simulation model for air pollution over Toronto». Communication présentée à la 2<sup>e</sup> Conférence canadienne de micrométéorologie, Collège Macdonald, Québec, 1971.

R.C. Braun et M.J.G. Wilson: «The removal of atmospheric sulphur by building stones». *Atmospheric Environment* 4, 1970, p. 371-378.

R.M. Brice et J.F. Roesler: «The exposure to carbon monoxide of occupants of vehicles moving in heavy traffic». Tiré à part, Réunion annuelle de l'Association de lutte contre la pollution de l'air, 1966. 26 pages.

G.J. Cleary et C.R.B. Blackburn: «Air pollution in native huts in the highlands of New Guinea». *Archives of Environmental Health* 17, 1968, p. 785-794.

J. Glodman et C.I. Taggart: «The movement of large-scale air pollution areas as determined by satellite photography». Communication non publiée, Congrès météorologique canadien, Toronto, 1969.

T.T. Frankenberg, I.A. Singer et M.E. Smith: «Sulfur dioxide in the vicinity of the Cardinal plant of the American Electric Power System». Tiré à part, Deuxième congrès international de l'air pur, Washington, D.C., 1970.

E.W. Hewson: «The meteorological control of atmospheric pollution by heavy industry». *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 71, 1945, p. 266-282.

G.M. Hidy et J.R. Brock: «An assessment of the global sources of tropospheric aerosols». Tiré à part, Deuxième conférence de l'air pur, Washington, D.C. 1970. 26 p.

M.S. Hirt, L. Shenfeld, G. Lee, H. Whaley et S. Djurfors: «A study of the meteorological conditions, which developed a classic "fumigation" inland from a large lake shoreline source»; p. 71 à 132 du tiré à part, Réunion annuelle de l'Association de lutte contre la pollution de l'air, Atlantic City, 1971.

H.H. Lamb: «Volcanic dust in the atmosphere; with a chronology and assessment of its meteorological significance». *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, A* 266, 1970, p. 425 à 533.

J.H. Ludwig, G.B. Morgan et T.B. McMullen: «Trends in urban air quality». *Transactions of the American Geophysical Union* 57, 1970, p. 268-475.

G.R. Lundquist: «Ventilation and transfer effects in buildings measured by a gaseous tracer». *Building Climatology*, WMO Tech. Note n° 109, 1970, p. 73-79.

R.A. McCormick et J.H. Ludwig: «Climatic modification by atmospheric aerosols». *Science* 156, 1967, p. 1358 et 1359.

A.R. Meethan: «Natural removal of pollution from the atmosphere». *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 76, 1950, p. 359 à 371.

A. Miller et D. Ahrens: «Ozone within and below the west coast temperature inversion». *Tellus*, 22, 1970, p. 328 à 339.

E.I. Mukammal: «Ozone as a cause of tobacco injury». *Agricultural Meteorology* 2, 1965, p. 145 à 165.

R.E. Munn et H. Rodhe: «On the meteorological interpretation of the chemical composition of monthly precipitation samples». *Tellus* 23, 1971, p. 1 à 13.

M. Murozami, T.C. Chow et C.C. Patterson: «Changes in concentrations of common lead in north polar snows with time». Tiré à part, Réunion annuelle à Cleveland de l'Association de lutte contre la pollution de l'air, 1967, p. 67-69.

T.R. Oke et C. East: «The urban boundary layer in Montreal». *Boundary-Layer Meteorology* 1, 1971, p. 411-437.

E. Robinson et R.C. Robbins: «Gaseous atmospheric pollutants from urban and natural sources». Dans *Global Effects on Environmental Pollution* (sous la direction de S.F. Singer), Reidel Publishing Company, 1969, p. 50 à 64.

E. Robinson et R.C. Robbins: *Sources, abundance and fate of gaseous atmospheric pollutants*, Rapport final SR1, Project PR-6755, Stanford Research Institute, Calif.

J.H. Ryther: «Is the world's oxygen supply threatened?». *Nature* 227, 1970, p. 374-375.

F.H. Schmidt et C.A. Velds: «On the relation between changing meteorological circumstances and the decrease of the sulphur dioxide concentration around Rotterdam». *Atmospheric Environment* 3, 1969, p. 455 à 460.

W. Seiler et C. Junge: «Carbon monoxide in the atmosphere». *Journal of Geophysical Research* 75, 1970, p. 2217 à 2226.

D.J. Spedding: «Uptake of sulphur dioxide by barley leaves at low sulphur dioxide concentrations». *Nature* 224, 1969, p. 1229 à 1231.

Study of Critical Environmental Problems (SCEP). *Man's Impact on the Global Environment: Assessment and Recommendations for Action*. Rapport, Cambridge, Mass. MIT Press, 1970, 319 p.

Study of Man's Impact on the Climate (SMIC): *Inadvertent Climate Modifications*. Rapport, Cambridge, Mass. MIT Press, 1971, 308 p.

Tennessee Valley Authority (TVA): «Report on full-scale study of inversion break-up at large power plants». U.S. Division of Environmental Research and Development. TVA, Muscle Shoals, Alabama, 1970.

## Publications du Conseil des sciences du Canada

### Rapports annuels

**Premier rapport annuel, 1966-1967 (SS1-1967F)**

**Deuxième rapport annuel, 1967-1968 (SS1-1968F)**

**Troisième rapport annuel, 1968-1969 (SS1-1969F)**

**Quatrième rapport annuel, 1969-1970 (SS1-1970F)**

**Cinquième rapport annuel, 1970-1971 (SS1-1971F)**

**Sixième rapport annuel, 1971-1972 (SS1-1972F)**

### Rapports

*Rapport n° 1,* **Un programme spatial pour le Canada (SS22-1967/1F, \$0.75)**

*Rapport n° 2,* **La proposition d'un générateur de flux neutroniques intenses – Première évaluation et recommandations (SS22-1967/2F, \$0.25)**

*Rapport n° 3,* **Un programme majeur de recherches sur les ressources en eau du Canada (SS22-1968/3F, \$0.75)**

*Rapport n° 4,* **Vers une politique nationale des sciences au Canada (SS22-1968/4F, \$0.75)**

*Rapport n° 5,* **Le soutien de la recherche universitaire par le gouvernement fédéral (SS22-1969/5F, \$0.75)**

*Rapport n° 6,* **Une politique pour la diffusion de l'information scientifique et technique (SS22-1969/6F, \$0.75)**

*Rapport n° 7,* **Les sciences de la Terre au service du pays – Recommandations (SS22-1970/7F, \$0.75)**

*Rapport n° 8,* **Les arbres ... et surtout la forêt (SS22-1970/8F, \$0.75)**

*Rapport n° 9,* **Le Canada ... leur pays (SS22-1970/9F, \$0.75)**

*Rapport n° 10,* **Le Canada, la science et la mer (SS22-1970/10F, \$0.75)**

*Rapport n° 11,* **Le transport par ADAC: Un programme majeur pour le Canada (SS22-1970/11F, \$0.75)**

*Rapport n° 12,* **Les deux épis, ou l'avenir de l'agriculture (SS22-1970/12F, \$0.75)**

*Rapport n° 13,* **Le réseau transcanadien de téléinformatique: Ière phase d'un programme majeur en informatique (SS22-1971/13F, \$0.75)**

*Rapport n° 14,* **Les villes de l'avenir: Les sciences et les techniques au service de l'aménagement urbain (SS22-1971/14F, \$0.75)**

*Rapport n° 15,* **L'innovation en difficulté: le dilemme de l'industrie manufacturière au Canada (SS22-1971/15F, \$0.75)**

*Rapport n° 16,* **«... mais tous étaient frappés» Inquiétudes pour l'environnement et dangers de pollution de la nature canadienne (SS22-1972/16F, \$1.00)**

*Rapport n° 17,* **In vivo – Quelques lignes directrices pour la biologie fondamentale au Canada (SS22-1972/17F, \$1.00)**

*Rapport n° 18,* **Objectifs d'une politique de la recherche fondamentale (SS22-1972/18F, \$1.00)**

*Rapport n° 19,* **Problèmes d'une politique des richesses naturelles au Canada (SS 22-1973/19F, \$1.25)**

## Études spéciales

Les cinq premières études de la série ont été publiées sous les auspices du Secrétariat des sciences.

*Special Study No. 1*, **Upper Atmosphere and Space Programs in Canada**, by J.H. Chapman, P.A. Forsyth, P.A. Lapp, G.N. Patterson (SS21-1/1, \$2.50)

*Special Study No. 2*, **Physics in Canada: Survey and Outlook**, by a Study Group of the Canadian Association of Physicists headed by D.C. Rose (SS21-1/2, \$2.50)

*Étude spéciale n° 3*, **La psychologie au Canada**, par M.H. Appley et Jean Rickwood, Association canadienne des psychologues (SS21-1/3F, \$2.50)

*Étude spéciale n° 4*, **La proposition d'un générateur de flux neutroniques intenses: Évaluation scientifique et économique**, par un Comité du Conseil des sciences du Canada (SS21-1/4F, \$2.00)

*Étude spéciale n° 5*, **La recherche dans le domaine de l'eau au Canada**, par J.P. Bruce et D.E.L. Maasland (SS21-1/5F, \$2.50)

*Étude spéciale n° 6*, **Études de base relatives à la politique scientifique: Projection des effectifs et des dépenses R & D**, par R.W. Jackson, D.W. Henderson et B. Leung (SS21-1/6F, \$1.25)

*Étude spéciale n° 7*, **Le gouvernement fédéral et l'aide à la recherche dans les universités canadiennes**, par John B. Macdonald, L.P. Dugal, J.S. Dupré, J.B. Marshall, J.G. Parr, E. Sirluck, E. Vogt (SS21-1/7F, \$3.00)

*Étude spéciale n° 8*, **L'information scientifique et technique au Canada, Première partie**, par J.P.I. Tyas (SS21-1/8F, \$1.00)  
*II<sup>e</sup> partie, Premier chapitre*, Les ministères et organismes publics (SS21-1/8-2-1F, \$1.75)  
*II<sup>e</sup> partie, Chapitre 2*, L'industrie (SS21-1/8-2-2F, \$1.25)

*II<sup>e</sup> partie, Chapitre 3*, Les universités (SS21-1/8-2-3F, \$1.75)

*II<sup>e</sup> partie, Chapitre 4*, Organismes internationaux et étrangers (SS21-1/8-2-4F, \$1.00)

*II<sup>e</sup> partie, Chapitre 5*, Les techniques et les sources (SS21-1/8-2-5F, \$1.25)

*II<sup>e</sup> partie, Chapitre 6*, Les bibliothèques (SS21-1/8-2-6F, \$1.00)

*II<sup>e</sup> partie, Chapitre 7*, Questions économiques (SS21-1/8-2-7F, \$1.00)

*Étude spéciale n° 9*, **La chimie et le génie chimique au Canada: Étude sur la recherche et le développement technique**, par un groupe d'étude de l'Institut de Chimie du Canada (SS21-1/9F, \$2.50)

- Étude spéciale n° 10*, **Les sciences agricoles au Canada**, par B.N. Smallman, D.A. Chant, D.M. Connor, J.C. Gilson, A.E. Hannah, D.N. Huntley, E. Mercier, M. Shaw (SS21-1/10F, \$2.00)
- Étude spéciale n° 11*, **L'Invention dans le contexte actuel**, par Andrew H. Wilson (SS21-1/11F, \$1.50)
- Étude spéciale n° 12*, **L'aéronautique débouche sur l'avenir**, par J.J. Green (SS21-1/12F, \$2.50)
- Étude spéciale n° 13*, **Les sciences de la Terre au service du pays**, par Roger A. Blais, Charles H. Smith, J.E. Blanchard, J.T. Cawley, D.R. Derry, Y.O. Fortier, G.G.L. Henderson, J.R. Mackay, J.S. Scott, H.O. Seigel, R.B. Toombs, H.D.B. Wilson (SS21-1/13F, \$4.50)
- Étude spéciale n° 14*, **La recherche forestière au Canada**, par J. Harry G. Smith et Gilles Lessard (SS21-1/14F, \$3.50)
- Étude spéciale n° 15*, **La recherche piscicole et faunique**, par D.H. Pimlott, C.J. Kerswill et J.R. Bider (SS21-1/15F, \$3.50)
- Étude spéciale n° 16*, **Le Canada se tourne vers l'océan: Étude sur les sciences et la technologie de la mer**, par R.W. Stewart et L.M. Dickie (SS21-1/16F, \$2.20)
- Étude spéciale n° 17*, **Étude sur les travaux canadiens de R & D en matière de transports**, par C.B. Lewis (SS21-1/17F, \$0.75)
- Étude spéciale n° 18*, **Du formol au Fortran – La biologie au Canada**, par P.A. Larkin et W.J.D. Stephen (SS21-1/18F, \$2.50)
- Étude spéciale n° 19*, **Les Conseils de recherches dans les provinces, une richesse pour notre pays**, par Andrew H. Wilson (SS21-1/19F, \$1.50)
- Étude spéciale n° 20*, **Perspectives d'emploi pour les scientifiques et les ingénieurs au Canada**, par Frank Kelly (SS21-1/20F, \$1.00)
- Étude spéciale n° 21*, **La recherche fondamentale**, par P. Kruus (SS21-1/21F, \$1.50)
- Étude spéciale n° 22*, **Sociétés multinationales, investissement direct de l'étranger, et politique des sciences du Canada**, par Arthur J. Cordell (SS21-1/22F, \$1.50)
- Étude spéciale n° 23*, **L'innovation et la structure de l'industrie canadienne**, par Pierre L. Bourgault (SS21-1/23F, \$2.50)
- Étude spéciale n° 24*, **Aspects locaux, régionaux et mondiaux des problèmes de qualité de l'air**, par R.E. Munn (SS21-1/24F, \$0.75)
- Étude spéciale n° 25*, **Étude des associations de scientifiques, d'ingénieurs et de technologues du Canada**, par le Comité directeur de la SCITEC et le Professeur Allen S. West (SS21-1/25F, \$2.50)