



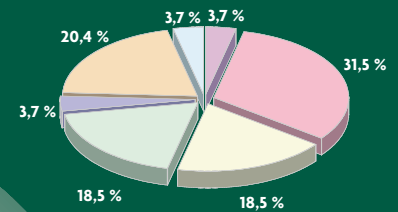
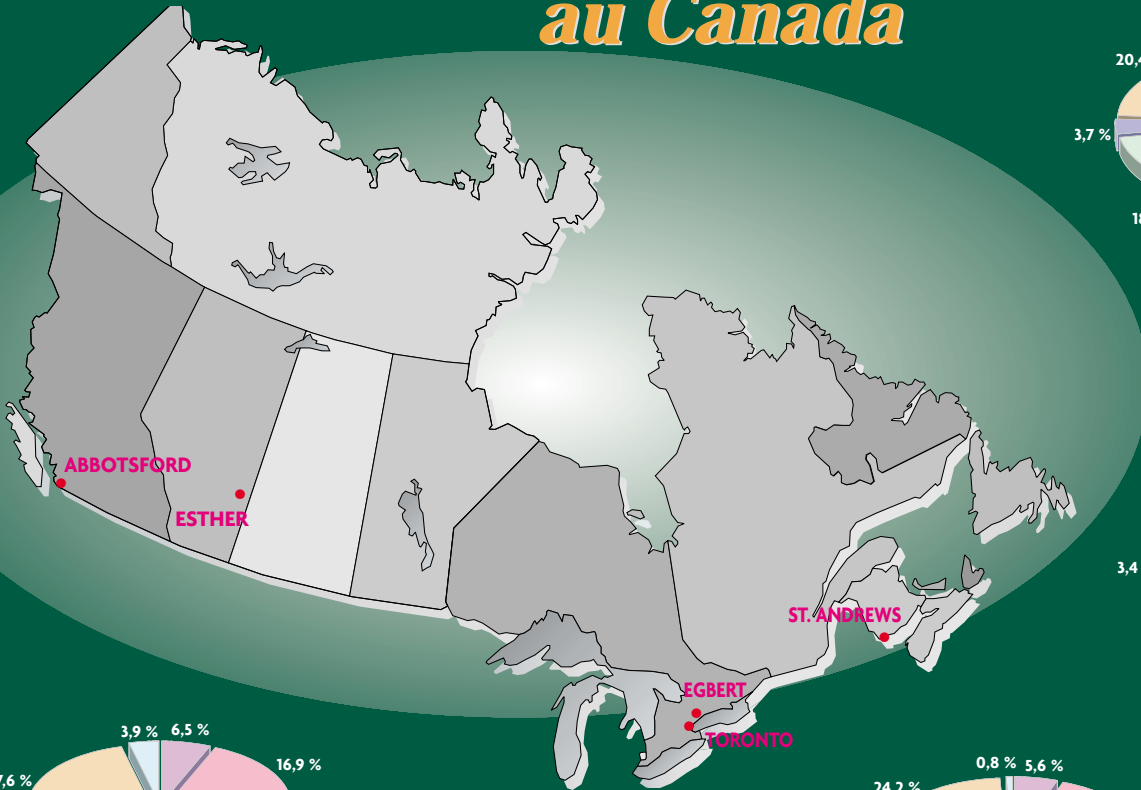
Environnement  
Canada

Environment  
Canada

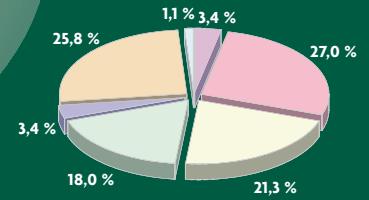
Service  
Météorologique  
du Canada

Meteorological  
Service  
of Canada

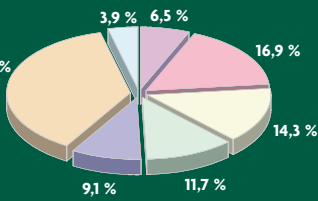
# Contribution des précurseurs aux particules fines présentes dans l'air ambiant au Canada



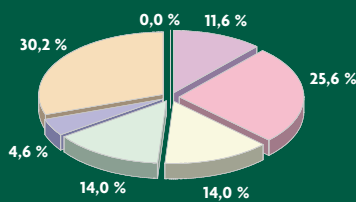
ST. ANDREWS



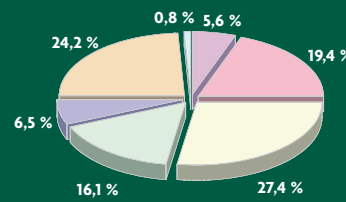
EGBERT



ABBOTSFORD



ESTHER



TORONTO

## LÉGENDE

- SO<sub>4</sub>
- NO<sub>3</sub>
- NH<sub>4</sub>
- Carbone élémentaire
- Autre

# RÉSUMÉ

Le présent rapport est disponible à l'adresse électronique <http://www.msc.-smc.ec.gc.ca/saib/>

Pour obtenir des imprimés, s'adresser à :

Direction de l'évaluation scientifique et de l'intégration  
Direction générale des sciences atmosphériques et climatiques  
Service météorologique du Canada  
4905, rue Dufferin  
Toronto (Ont.) M3H 5T4  
(416) 739-4645

© Ministre des Travaux publics et des Services gouvernementaux, 2001

ISBN : 0-662-30650-3

Numéro de catalogue : En56-167/2001E

L'illustration de la page couverture indique la *composition fractionnaire* (en pourcentage) des  $P_{2,5}$  mesurées dans le réseau GAViM à Toronto (Ont.), Egbert (Ont.), Abbotsford (C.-B.), St. Andrews (N.-B.), et Esther (Alb.). La superficie du diagramme à secteurs est proportionnelle à la concentration massique moyenne de  $P_{2,5}$  à chaque endroit. Toutes les localités, à l'exception de Toronto, se trouvent en milieu rural.



# Préface

La présente brochure est fondée sur le rapport intitulé Contribution des précurseurs aux particules fines présentes dans l'air ambiant au Canada et rédigé par les personnes suivantes.

Service météorologique du Canada, Environnement Canada :

J. R. Brook

P. A. Makar

M. D. Moran

M. F. Shepherd

R. J. Vet

Service de la protection de l'environnement, Environnement Canada :

T. F. Dann

Région du Québec, Service météorologique du Canada :

J. Dion

L'air est un mélange de gaz, et la plupart des substances qui le polluent sont aussi des gaz. Toutefois, quelques-uns des polluants atmosphériques les plus courants ne sont pas du tout des gaz, mais de petites particules de matière solide ou liquide. Ces minuscules fragments de matière sont appelés particules (P), particules en suspension dans l'air, ou aérosols, et ils sont les principaux responsables de plusieurs problèmes de pollution atmosphérique, dont le smog, les changements climatiques, les pluies acides et les polluants atmosphériques dangereux.

## Qu'entend-on par particules?

Il existe de nombreux types de particules, mais on peut les classer dans un petit nombre seulement de catégories en fonction de leur taille, de leur source (naturelle ou anthropique) et de leur composition. Le diamètre des particules en suspension dans l'air peut être aussi grand que 100 micromètres ( $\mu\text{m}$ ) ou aussi petit que 0,005  $\mu\text{m}$ ; autrement dit, il peut être presque une fois et demie aussi gros que celui d'un cheveu humain type ou environ 14 000 fois plus petit. Les grosses particules se déposent rapidement, mais celles qui ont un diamètre inférieur à environ 40  $\mu\text{m}$  ont tendance à séjourner dans l'air beaucoup plus longtemps. Ce sont ces particules en suspension qui sont au cœur de nombreux problèmes liés à la mauvaise qualité de l'air et allant d'atteintes à l'esthétique du milieu, comme la brume régionale et la réduction de la visibilité ou la salissure et l'érosion des surfaces des édifices et des monuments, à de graves effets sur la santé, comme les troubles cardiaques et respiratoires.

Les scientifiques mesurent régulièrement la quantité totale de particules en suspension dans l'air, mais ils sont de plus en plus préoccupés par les plus petites particules de cette catégorie, celles dont le diamètre est inférieur à 10  $\mu\text{m}$ . Celles-ci sont classées en particules grossières (si leur diamètre est compris entre 10 et 2,5  $\mu\text{m}$ ), fines (si leur diamètre est inférieur à 2,5  $\mu\text{m}$ ) et ultrafines (si leur diamètre est inférieur à 0,1  $\mu\text{m}$ ). Par souci de simplicité, toutes les particules dont le diamètre est inférieur à 10  $\mu\text{m}$  sont appelées P<sub>10</sub>, et celles dont le diamètre est inférieur à

2,5  $\mu\text{m}$  sont appelées P<sub>2,5</sub>. Les petites particules sont spécialement préoccupantes parce qu'elles peuvent rester en suspension dans l'air durant des jours ou des semaines, et que, une fois dans les poumons, leur petite dimension leur permet d'y pénétrer profondément.

Les particules peuvent être classées en deux catégories : primaires ou secondaires. Les particules primaires sont celles qui sont émises directement dans l'atmosphère par une source. Quelques-unes sont le résultat de processus physiques, comme l'érosion, et sont généralement grossières, mais d'autres, comme les particules de carbone émises par des sources de combustion, sont beaucoup plus petites. Pour la plupart, les particules secondaires font partie de la catégorie des fines particules et sont le produit de réactions chimiques où interviennent ce qu'on appelle des gaz précurseurs. Les gaz précurseurs qui forment des particules secondaires sont le monoxyde et le dioxyde d'azote (appelés collectivement les NO<sub>x</sub>), le dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>), un grand nombre de composés contenant du carbone, appelés composés organiques volatils (COV) et l'ammoniac (NH<sub>3</sub>). Toutes ces substances existent à l'état naturel, mais dans notre monde industrialisé moderne, ce sont l'utilisation de combustibles fossiles et divers procédés industriels qui contribuent le plus à la présence de la plus grande partie de ces substances dans les régions urbaines.

Les particules sont produites à la fois par des processus naturels et par des activités humaines. Les particules d'origine naturelle sont principalement des matières grossières, comme du sol soulevé par le vent, de la poussière volcanique, des embruns salins et du pollen, mais certaines particules fines, comme la cendre des feux de forêt et les particules formées à partir des substances chimiques rejetées par la végétation, sont aussi d'origine naturelle. Les particules produites par les activités humaines sont dites anthropiques et comprennent des particules grossières et des particules fines. En général, les particules grossières proviennent de sources comme les terres agricoles, les routes et les chantiers de construction, tandis que les particules fines sont dues à l'utilisation de combustibles fossiles dans les centrales électriques, les véhicules à moteur, les systèmes de chauffage et les chaudières industrielles, et à des

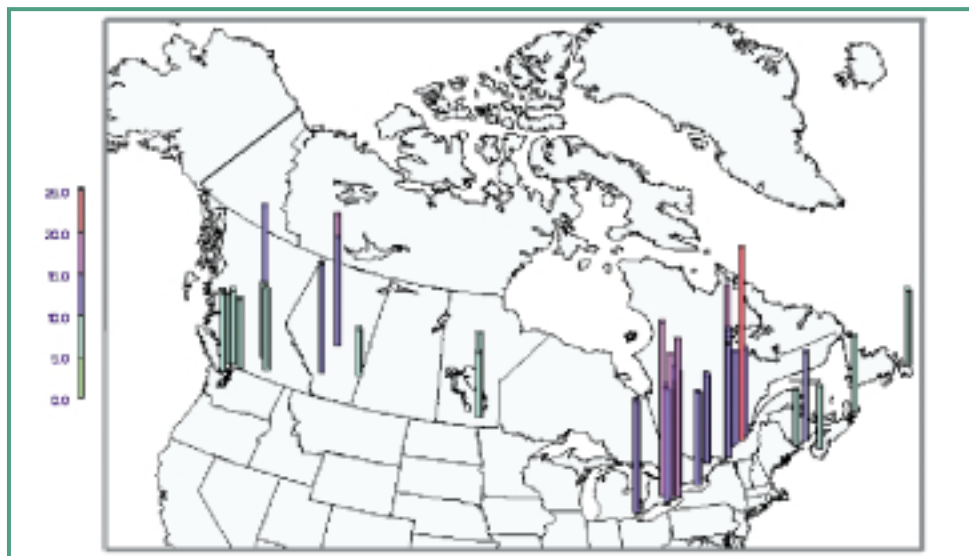


Figure 1 : Concentrations massiques annuelles moyennes de  $P_{2,5}$  ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) en 1998. Les concentrations de  $P_{2,5}$  sont les plus fortes dans le corridor Windsor-Québec, mais dans tous les grands centres urbains au Canada et dans certaines régions rurales, elles sont assez élevées pour poser un risque pour la santé.

## Les $P_{2,5}$ : Un polluant aux nombreux impacts

### Smog :

Les particules fines sont l'un des principaux composants du smog. Elles posent un grave problème pour la santé humaine parce qu'elles peuvent être inhalées dans les alvéoles, les sacs alvéolaires des poumons, où elles causent des inflammations qui peuvent entraîner des troubles respiratoires ou de plus graves problèmes cardiorespiratoires. Il ne semble pas y avoir de seuil au-dessous duquel ces effets ne se produisent pas, au moins chez certaines personnes sensibles, et le nombre de personnes touchées augmente avec les concentrations de  $P_{2,5}$  dans l'atmosphère.

### Pluies acides :

Les  $P_{2,5}$  sont aussi un important facteur dans d'autres problèmes atmosphériques. Par exemple, la formation de particules inorganiques (ne contenant pas de carbone) est étroitement reliée aux pluies acides parce que les réactions chimiques qui transforment le dioxyde de soufre ( $\text{SO}_2$ ) et les  $\text{NO}_x$  en acides sulfurique et nitrique qui acidifient les précipitations font aussi partie des processus donnant lieu à la formation de particules de sulfate et de nitrate. Ces particules peuvent, elles-mêmes, contribuer à l'acidification lorsqu'elles se déposent sur le sol, dans les lacs et les cours d'eau.

### Changements climatiques :

Les particules en suspension dans l'air, comme les sulfates et le noir de carbone (la suie), influent sur le climat de bien des façons en contribuant à son refroidissement ou à son réchauffement. Leur effet net sur le climat varie en fonction du temps et de l'espace. Elles modifient les températures à la surface de la Terre directement en réfléchissant ou en absorbant le rayonnement solaire incident. Par exemple, les particules de sulfate exercent un pouvoir de refroidissement à la surface de la Terre parce qu'elles reflètent le rayonnement solaire. À l'opposé, le noir de carbone a principalement un pouvoir de réchauffement, parce qu'il absorbe beaucoup le rayonnement solaire. Les particules ont aussi un effet indirect sur le climat en contribuant à la formation des nuages.

### Polluants atmosphériques dangereux :

Certaines particules en suspension dans l'air sont aussi classées comme des polluants atmosphériques dangereux ou toxiques. Le mercure et un certain nombre d'autres métaux peuvent être directement émis sous forme de particules à la suite de l'utilisation de combustibles fossiles, particulièrement le charbon, de la fusion des métaux et de divers autres procédés industriels. Quelques-uns des composés organiques volatils qui contribuent à la formation de particules (p. ex., les hydrocarbures aromatiques polycycliques, ou HAP) sont aussi d'importants polluants atmosphériques dangereux. Ces particules sont préoccupantes en raison de leur persistance et de leur tendance à la bioaccumulation.

réactions entre des substances chimiques produites par l'industrie et d'autres substances déjà présentes dans l'air.

**Les particules contribuent beaucoup à la formation de smog et jouent un rôle important dans les problèmes de santé liés au smog.** Le smog a été associé à divers troubles cardiaques et respiratoires qui peuvent être la cause d'absentéisme à l'école et au travail, nécessiter des hospitalisations, ou même causer la mort prématurée. Ces effets sur la santé semblent être reliés aux concentrations ambiantes de  $P_{2,5}$ . Les concentrations moyennes de  $P_{2,5}$  varient considérablement au Canada, mais dans tous les grands centres urbains du pays, elles sont suffisamment élevées pour poser un risque pour la santé. La figure 1 indique les concentrations annuelles moyennes de  $P_{2,5}$  au Canada en 1998 dans les grands centres urbains, exprimées en microgrammes par mètre cube d'air.

## Connaître la nature des $P_{2,5}$

Afin d'élaborer des mesures efficaces de réduction des  $P_{2,5}$ , nous devons en savoir plus sur les rapports entre les particules dans l'atmosphère et les émissions qui les produisent ou entraînent leur formation. Pour ce faire, nous avons besoin de réponses détaillées à un certain nombre de questions. Par exemple, quels sont les principaux composants

des  $P_{2,5}$ ? D'où viennent-elles? Quels facteurs influent sur la formation, la concentration et le transport des  $P_{2,5}$ ? Comment expliquer les variations saisonnières et régionales des concentrations de  $P_{2,5}$ ? Quelle est la cause des épisodes de  $P_{2,5}$ , au cours desquels des concentrations anormalement élevées de particules peuvent persister pendant plusieurs jours?

**Les particules, tant les particules totales en suspension que les  $P_{10}$ , sont mesurées au Canada par les gouvernements fédéral et provinciaux depuis 1974 dans le cadre du Réseau national de surveillance de la pollution atmosphérique (RNSPA); la mesure des  $P_{2,5}$  a commencé en 1984.** Ce que nous savons des  $P_{2,5}$  au Canada provient de ces programmes de surveillance permanente et de divers travaux de recherche à court terme.

## Composition des $P_{2,5}$

Des échantillons de  $P_{2,5}$  sont prélevés chaque heure ou chaque jour dans des stations urbaines et non urbaines partout au Canada. Lorsque ces échantillons sont analysés en laboratoire, les résultats de toutes les stations indiquent la présence de six fractions principales : les composés organiques (contenant du carbone\*) et le carbone élémentaire ou noir de carbone, les composés inorganiques, con-

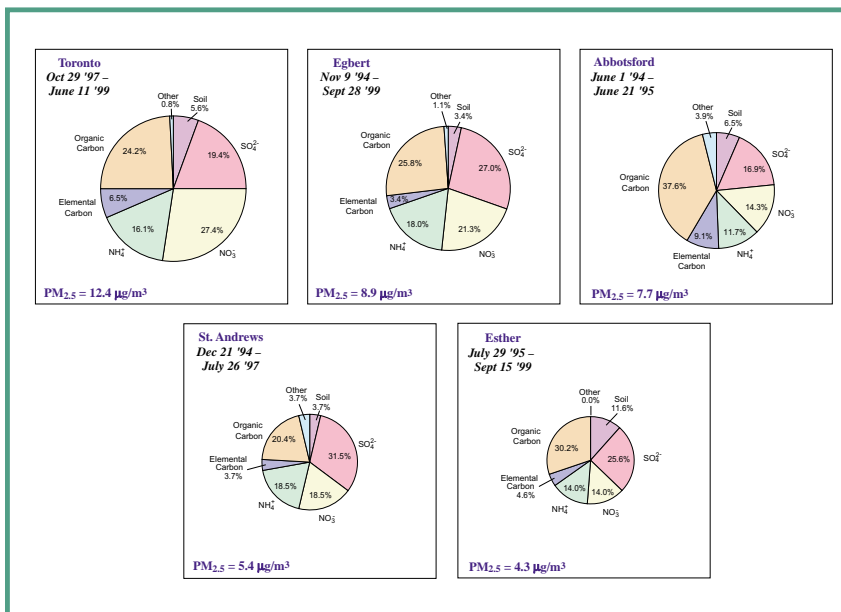


Figure 2 : Composition des  $P_{2,5}$  ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) dans cinq emplacements urbains et ruraux. La composition des  $P_{2,5}$  varie considérablement d'un endroit à l'autre, mais les particules inorganiques (de sulfate, de nitrate et d'ammonium) constituent le plus important groupe de composants, et les composés organiques forment une autre grande catégorie. Quelques-unes des particules organiques et presque toutes les particules inorganiques sont d'origine secondaire et se forment à la suite de réactions atmosphériques où interviennent le dioxyde de soufre, les  $\text{NO}_x$  et l'ammoniac (dans le cas des particules inorganiques) et divers composés organiques volatils (dans le cas des particules organiques).

\* Presque tous les composés contenant du carbone et du hydrogène sont appelés composés organiques. Le monoxyde et le dioxyde de carbone comptent parmi les rares composés carbonés qui ne sont pas classés comme des composés organiques.



stitués de sulfates, de nitrates et d'ammonium, le sol ou la matière crustale, et les métaux.

Comme le montre la figure 2, le pourcentage moyen de chacun de ces composants varie sensiblement d'un endroit à l'autre du pays. Dans l'est (à Toronto et Egbert, dans le sud de l'Ontario, et à St. Andrews, dans le sud du Nouveau-Brunswick), les particules inorganiques représentent environ les deux tiers de la masse totale des particules. Dans l'ouest (à Abbotsford, dans la vallée inférieure du Fraser en C.-B., et à Esther, à la frontière entre l'Alberta et la Saskatchewan), les particules inorganiques ne constituent que la moitié environ de la masse totale des particules.

*Particules primaires et secondaires* : D'où viennent ces divers composants des particules? Seul un très faible pourcentage des particules de sulfate, de nitrate et d'ammonium retrouvées dans la fraction inorganique des  $P_{2,5}$  est vraiment émis directement par des sources naturelles ou humaines. Ce sont plutôt les produits de réactions atmosphériques qui commencent avec des émissions d'origine à la fois naturelle et anthropique de dioxyde de soufre ( $SO_2$ ), d'oxydes d'azote ( $NO_x$ ) et d'ammoniac ( $NH_3$ ). La fraction organique est un mélange de particules primaires émises directement et de particules secondaires formées indirectement. Parce qu'un très grand nombre de composés organiques contribuent à la formation des particules fines et que leur présence dans l'atmosphère n'a pas fait l'objet de mesures très poussées, il est impossible à l'heure actuelle de dire avec exactitude si la majeure partie des matières organiques sont d'origine primaire ou secondaire. Pour l'instant, moins de 10 à 20 % des composants organiques des particules fines en Amérique du Nord ont été identifiés, mais dans ce groupe, on estime qu'il y a plus de particules organiques d'origine primaire que d'origine secondaire. Le sol est évidemment d'origine primaire, tout comme le carbone élémentaire qui est rejeté à la suite d'une combustion incomplète pendant les feux de forêt et lorsque des sources comme les moteurs diesel brûlent des combustibles fossiles.

*Sources des précurseurs* : Les gaz précurseurs qui entraînent la formation de particules fines secondaires sont en grande majorité d'origine humaine. Au Canada, le dioxyde de soufre provient principalement de grandes sources ponctuelles, comme les fonderies les centrales électriques alimentées aux combustibles fossiles, les puits et les raffineries de pétrole et de gaz, et les fabriques de pâtes et

papiers. Les émissions de  $NO_x$  proviennent à la fois de grandes sources ponctuelles, comme les centrales électriques alimentées aux combustibles fossiles, et de sources diffuses, comme les transports. L'été, il y a également une contribution faible, mais non négligeable (environ 15 % des émissions totales), des sources naturelles, principalement la foudre, les feux de forêt et les émissions des sols. L'ammoniac est en majeure partie d'origine agricole, l'élevage du bétail, la production et l'utilisation d'engrais commerciaux en étant les principales sources, bien qu'une certaine quantité soit aussi émise par des sources liées aux industries et aux transports. Les composés organiques volatils (COV) proviennent pour la plupart des combustibles, des solvants et des substances chimiques industrielles. Les arbres et d'autres végétaux en rejettent aussi dans l'atmosphère (odeur de pin) et, en été, les COV les plus abondants sont, en fait, d'origine biologique.

Les particules inorganiques secondaires formées à partir des gaz précurseurs suivants : le dioxyde de soufre, les  $NO_x$  et l'ammoniac, constituent entre le tiers et les deux tiers des particules fines au Canada. Dans l'Est du pays, où le pourcentage de ces particules inorganiques est généralement plus élevé que dans l'Ouest, les particules de sulfate sont le plus important composant. Ces plus fortes concentrations de sulfates dans les  $P_{2,5}$  de l'est canadien sont liées aux émissions de dioxyde de soufre, beaucoup plus élevées dans les provinces de l'Est et les régions adjacentes des États-Unis.

La présence de fines particules dans une région donnée dépend non seulement des sources locales de gaz précurseurs, mais aussi des régimes de circulation régionale et d'écoulement de l'air permettant de transporter ces gaz ou particules de leurs sources à d'autres endroits. Particulièrement pendant l'été, les zones méridionales des provinces de l'Est sont exposées à un flux d'air du sud-ouest qui transporte des polluants provenant de zones fortement urbanisées et industrialisées des É.-U., comme la vallée de l'Ohio et le corridor Boston-New York-Washington. Comme les gaz précurseurs de ces régions ont eu le temps de prendre part à des réactions avant d'arriver au Canada, l'air qui arrive a tendance à être très chargé de particules et de gaz précurseurs qui peuvent contribuer à la formation d'autres particules. La figure 3 indique l'origine des masses d'air ayant contribué aux importants épisodes de  $P_{2,5}$  qui se sont produits à 4 endroits au Canada de 1992 à 1995.

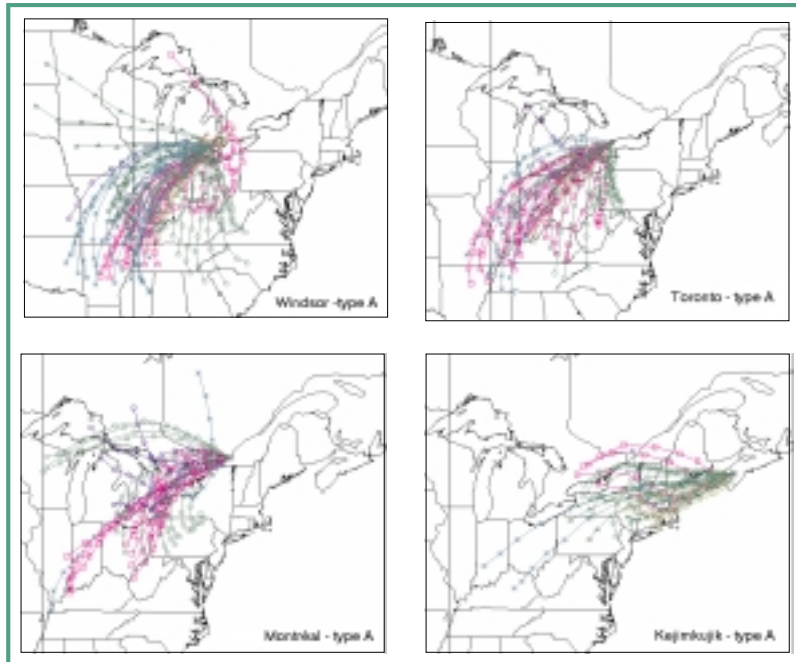


Figure 3 : Rétrotrajectoires des masses d'air contribuant aux importants épisodes de  $P_{2,5}$  à Windsor, Toronto, Montréal et dans le parc national Kejimikujik de 1992 à 1995. Les épisodes prolongés de  $P_{2,5}$  touchant de vastes régions géographiques sont généralement associés à des masses d'air qui ont traversé des régions où les émissions de dioxyde de soufre et de  $NO_x$  sont élevées. Dans le cas de Windsor et de Toronto, la plus importante de ces régions sources est le Midwest américain. Pour Montréal, c'est le Midwest américain et le sud de l'Ontario, et pour Kejimikujik, les États de New York et de la Nouvelle-Angleterre.

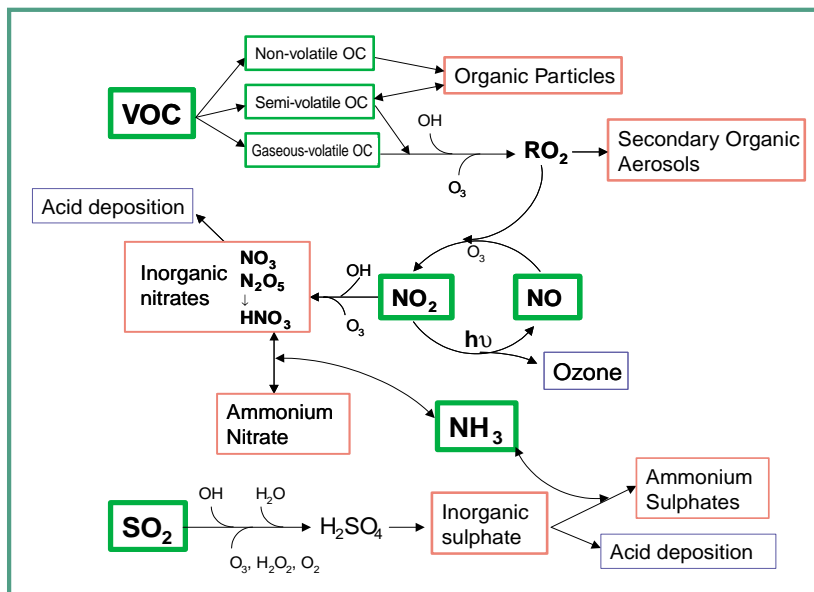


Figure 4 : Les nombreuses réactions complexes par lesquelles les gaz précurseurs (en vert) forment des particules (en rouge) sont schématisées ici dans une forme très simplifiée. Les agents oxydants, comme le radical hydroxyle (OH) et l'ozone ( $O_3$ ), jouent un rôle important dans un grand nombre de ces réactions. On peut également voir que la formation de particules est étroitement liée aux processus de formation des pluies acides et de l'ozone troposphérique.

### Quels facteurs influent sur la formation et la concentration des $P_{2,5}$ ?

Étant donné que la plupart des particules fines sont d'origine secondaire, il est important de mieux connaître les facteurs qui influent sur leur formation, leur concentration et leur transport dans l'atmosphère. Les processus par lesquels les gaz précurseurs comme le dioxyde de soufre, les oxydes d'azote, l'ammoniac et différents types de COV for-

ment des  $P_{2,5}$  sont nombreux et chemins réactionnels, et ils comportent un grand nombre de réactions chimiques et divers mécanismes. Ces chemins réactionnels sont présentés sous une forme simplifiée à la figure 4. Ils dépendent non seulement de la présence de gaz précurseurs, mais aussi des conditions météorologiques et de la disponibilité d'autres composés réactifs dans l'atmosphère, notamment d'oxydants comme l'ozone et d'un fragment moléculaire très réactif appelé radical hydroxyle (OH).



**Les sulfates** sont habituellement les plus abondants des composants inorganiques des particules fines, notamment dans l'Est du Canada. Les particules de sulfate se forment à la suite d'un processus au cours duquel le dioxyde de soufre réagit avec le radical hydroxyle (OH) pour donner de l'acide sulfurique. Ce dernier peut ensuite former des particules directement par des processus physiques ou chimiques, ou il peut réagir avec les ions ammonium dans l'atmosphère pour produire des particules fines de sulfate d'ammonium. La figure 5 illustre la relation étroite qui existe entre les concentrations atmosphériques de dioxyde de soufre et celles des particules de sulfate dans diverses régions du Canada.

La formation de **particules de nitrate** résulte d'une série de réactions au cours desquelles les  $\text{NO}_x$  sont convertis en acide nitrique qui, ensuite, réagit avec l'ammoniac dans l'air pour former des particules de nitrate d'ammonium. Les réactions chimiques où interviennent les  $\text{NO}_x$  sont l'ultime source des agents oxydants (OH et  $\text{O}_3$ ) nécessaires pour transformer le dioxyde de soufre en acide sulfurique et convertir divers COV en composés organiques oxydés qui ont tendance à former des particules.

**L'ammonium** se forme lorsque l'ammoniac gazeux réagit avec l'eau. L'ammonium contribue à la formation de particules lorsqu'il réagit avec des sulfates ou des nitrates.

**Les COV** peuvent former des particules de nombreuses façons. Certains peuvent passer alternativement de la phase

gazeuse à la phase solide ou liquide, ce qui dépend en grande partie de la température de l'air ambiant. Ces derniers sont appelés composés organiques semi-volatils, ou COSV. Toutefois, la plupart des COV restent en phase gazeuse dans la plage normale des températures de l'air ambiant. Lorsqu'ils réagissent avec des agents oxydants dans l'atmosphère, les COV peuvent être convertis en produits qui ont plus de chance d'exister sous forme de particules aux températures ambiantes ou qui passent de la phase gazeuse à la phase particulaire à des températures plus basses.

**Influences météorologiques :** La température influe considérablement sur la formation des particules. La plupart des réactions chimiques donnant lieu à la formation de particules sont plus rapides aux températures élevées, mais certains processus de formation, comme la condensation, sont favorisés par des températures plus fraîches. La présence ou l'absence d'un intense rayonnement solaire influe aussi sur la disponibilité des agents oxydants, étant donné que ces derniers sont produits par des réactions photochimiques qui nécessitent l'énergie du soleil.

L'humidité atmosphérique est un autre facteur qui influe sur la formation des particules. Les précipitations peuvent lessiver les polluants qui se trouvent dans l'air, mais les petites gouttelettes d'eau présentes dans les nuages ou le brouillard peuvent accroître le taux de formation des particules. Par exemple, le dioxyde de soufre est converti en sulfate beaucoup plus rapidement lorsqu'il y a du brouil-

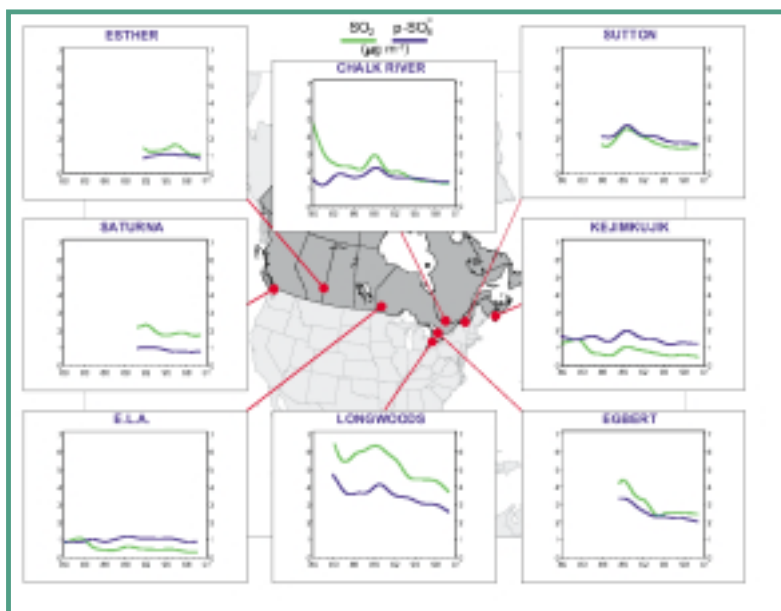


Figure 5 : Tendances à long terme des concentrations de  $\text{SO}_2$  et de  $\text{SO}_4^{2-}$  dans des stations rurales et éloignées du CAPMON (Réseau canadien de surveillance de l'air et des précipitations) au Canada.

lard, laissant des concentrations de particules plus élevées dans l'air une fois le brouillard évaporé.

Compte tenu des différentes conditions météorologiques qui influent sur la formation des particules l'année durant, **les particules posent un problème de qualité de l'air pendant toute l'année**. Les tendances que nous observons dans les particules sont fortement tributaires des variations saisonnières. La figure 6 indique la variation saisonnière des concentrations mensuelles de  $P_{2,5}$  à quatre endroits au Canada.

Des facteurs météorologiques sont aussi à l'origine de conditions saisonnières bien précises dans la composition des particules. Par exemple, les sulfates sont généralement plus abondants en été, et ce, pour diverses raisons, l'une des plus importantes étant que les températures élevées et l'intensité du rayonnement solaire favorisent la formation des agents oxydants nécessaires à la conversion du dioxyde de soufre en acide sulfurique. Par contre, les nitrates sont plus abondants en hiver, entre autres parce qu'un grand nombre de réactions où l'ammoniac et l'acide nitrique interviennent pour former des particules sont favorisées par des basses températures. En outre, comme la production de sulfates diminue durant les mois où le temps est froid, une plus grande quantité d'ammoniac peut prendre part aux réactions avec l'acide nitrique qui donnent lieu à la formation de particules. La figure 7 montre la différence qui existe entre la composition des  $P_{2,5}$  pendant les épisodes d'hiver et celle pendant les épisodes d'été à Egbert, en Ontario.

## Importants épisodes de $P_{2,5}$

De temps à autre, les concentrations de  $P_{2,5}$  peuvent atteindre des valeurs anormalement élevées supérieures à  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$  et rester plusieurs jours à ce niveau. Ces épisodes ont lieu plus souvent dans le sud de l'Ontario et l'Est du Canada que dans les provinces des Prairies et en Colombie-Britannique. Ils peuvent se produire à n'importe quelle période de l'année, mais en Ontario, ils sont plus fréquents en été. Dans l'Ouest, cependant, ils peuvent se produire pendant toute l'année.

**Les épisodes de  $P_{2,5}$  sont associés à des conditions météorologiques propices à l'accumulation de gaz précurseurs et de particules dans une masse d'air et qui facilitent le transport des polluants à partir des régions sources en amont.** Ils se produisent habituellement lorsque des anticyclones se déplaçant lentement, accompagnés de vents faibles et d'air stable à la verticale, arrivent dans une région. Dans ces conditions, les polluants restent à proximité de leurs sources et près du sol, tout comme dans le cas d'une inversion de température. Les inversions de température, au cours desquelles une couche d'air chaud se forme au-dessus d'une couche d'air froid, stoppent le mouvement ascendant de l'air. Les anticyclones qui causent un flux d'air provenant de régions comme la vallée de l'Ohio sont aussi reliés à des concentrations élevées de  $P_{2,5}$  parce qu'ils transportent les précurseurs là où ils réagissent subseqüemment pour former des  $P_{2,5}$  dans l'air. En fait,

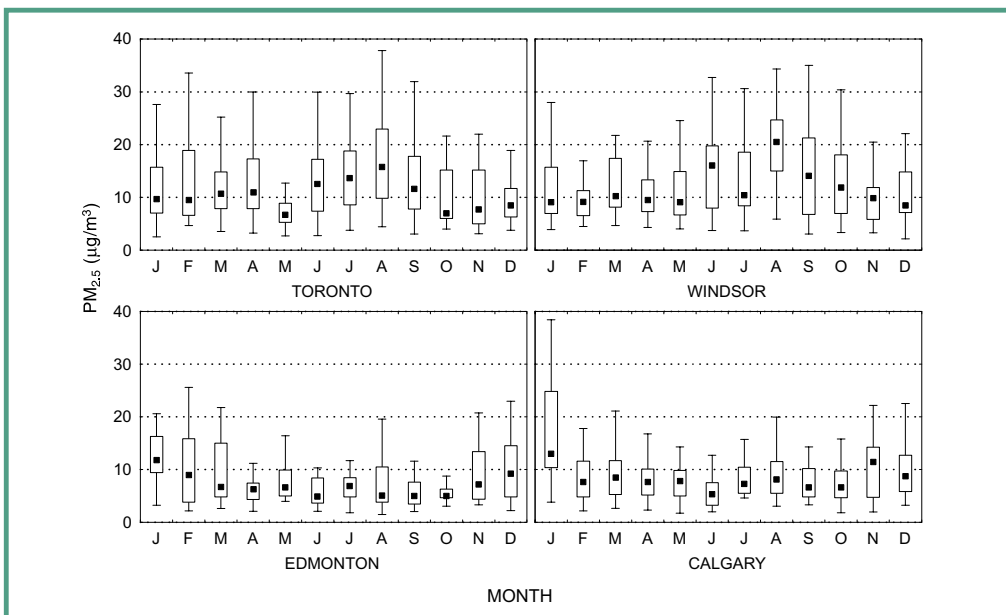


Figure 6 : Variation mensuelle des concentrations de  $P_{2,5}$  (en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) en Ontario et en Alberta de 1994 à 1998, fondée sur les résultats pour 24 heures obtenus à l'aide d'un échantillonneur dichotomique et enregistrés tous les 6 jours.

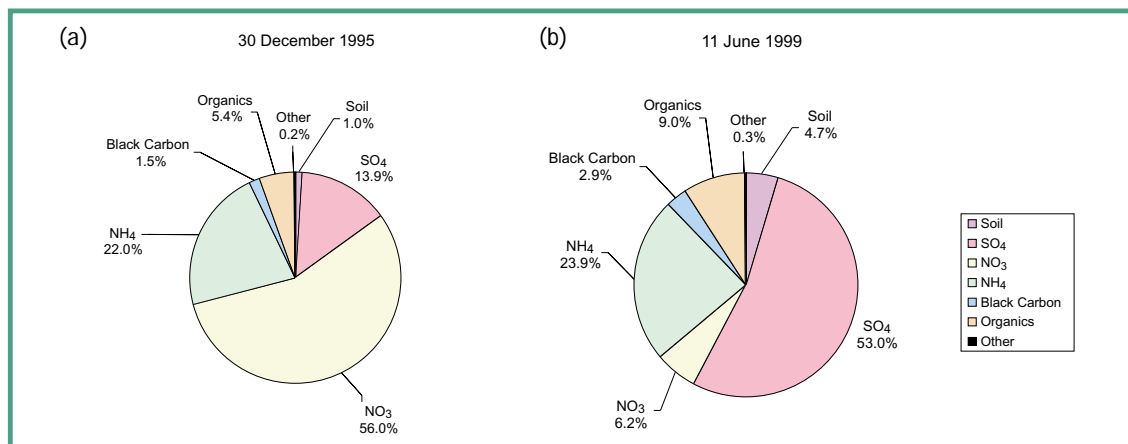


Figure 7 : Composition relative (en %) de la masse des  $P_{2,5}$  à Egbert (Ontario), durant (a) l'épisode hivernal de  $P_{2,5}$  du 30 décembre 1995, et (b) l'épisode estival du 11 juin 1999. La composition des  $P_{2,5}$  durant les épisodes d'hiver est radicalement différente de celle pendant les épisodes d'été. À Egbert, les composants les plus abondants sont les sulfates durant les épisodes d'été, et les nitrates, l'hiver. Cette différence n'est pas due à des changements dans les émissions, mais plutôt au fait que les réactions entraînant la formation de particules de sulfate et de nitrate sont influencées de façon différente par la température.

### les épisodes de $P_{2,5}$ qui touchent de grandes régions ont tendance à être causés par les particules et les précurseurs provenant de régions sources éloignées plutôt que par les émissions locales.

La température est également importante en raison de ses effets différents sur la formation de sulfates et de nitrates. Des études faites à la station de recherche d'Environnement Canada à Egbert (Ontario), dans une région rurale au nord de Toronto, montrent que la composition chimique des  $P_{2,5}$  durant les épisodes d'été et d'hiver est très différente. Alors que les concentrations ambiantes de la plupart des composants des  $P_{2,5}$  augmentent durant les épisodes, **les concentrations de sulfates à Egbert augmentent beaucoup plus durant les épisodes d'été** et deviennent le principal composant du mélange total des  $P_{2,5}$ . Par contre, **les nitrates deviennent le principal composant au cours des épisodes d'hiver** [figure 7]. Les variations saisonnières des émissions de sulfates et de  $NO_x$  ne sont pas suffisantes pour expliquer ces phénomènes. Par conséquent, la cause la plus probable de ces différences entre les saisons et les épisodes est l'effet de la température et d'autres facteurs météorologiques saisonniers sur les processus de formation des particules secondaires.

Même si les concentrations atmosphériques des COV d'origine naturelle et anthropique augmentent durant l'été en raison des taux d'évaporation plus élevés, les composés

organiques ne semblent pas jouer un rôle important dans les épisodes de  $P_{2,5}$ . En fait, le pourcentage de carbone organique dans le mélange total de  $P_{2,5}$  diminue habituellement lorsque les concentrations de  $P_{2,5}$  atteignent des valeurs élevées, et ce, en raison de l'augmentation disproportionnée de la quantité de particules inorganiques qui est caractéristique des épisodes plutôt que de la diminution réelle des concentrations de carbone organique. Il faudra faire l'analyse de la composition des P dans diverses conditions d'épisodes si nous voulons mieux connaître les nombreuses façons possibles dont les COV peuvent contribuer à la formation de particules.

### Gestion des P

En général, les concentrations moyennes de  $P_{2,5}$  dans les villes du Canada indiquent une tendance à la baisse depuis le milieu des années 80 [figure 8 : concentrations composites de  $P_{2,5}$  dans 11 villes canadiennes de 1986 à 1998]. Les raisons de cette diminution n'ont pas fait l'objet d'une analyse approfondie, mais on croit qu'elle est liée aux importantes réductions des émissions de dioxyde de soufre qui ont alors eu lieu dans l'est de l'Amérique du Nord à la suite des efforts déployés pour réduire les pluies acides. Toutefois, malgré ces importantes réductions, les  $P_{2,5}$  demeurent un grave danger pour la santé publique, étant donné que les

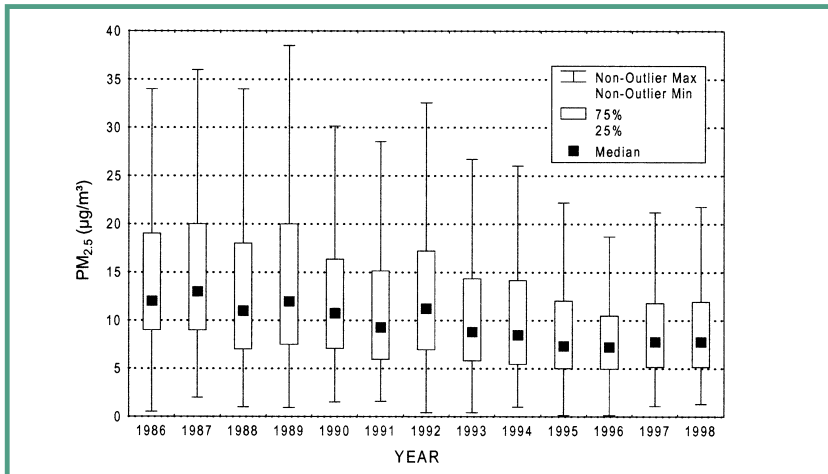


Figure 8 :

Concentrations composites de  $P_{2,5}$  pour 11 villes canadiennes, de 1986 à 1998. De 1992 à 1996, les concentrations moyennes de  $P_{2,5}$  pour ces 11 villes (indiquées par les carrés noirs) ont diminué d'environ 40 %, mais elles ont augmenté de nouveau en 1997 et 1998. Les valeurs maximales ont aussi sensiblement diminué. Des diminutions des émissions de dioxyde de soufre dans l'Est du Canada et le nord-est des É.-U. sont probablement la principale raison de cette réduction.

concentrations dans la plupart des régions du Sud du Canada continuent de dépasser régulièrement les niveaux associés à des effets nocifs sur le cœur et les poumons. Par conséquent, les gouvernements fédéral, provinciaux et territoriaux du Canada sont tous tombés d'accord pour dire qu'il fallait réduire davantage les concentrations de  $P_{2,5}$ .

Les  $P_{10}$  (qui incluent aussi les  $P_{2,5}$ ) ont récemment été ajoutées à la liste des substances toxiques de la *Loi canadienne sur la protection de l'environnement*. Une norme pan-canadienne a aussi été établie pour les  $P_{2,5}$ . Elle exige que des mesures soient prises pour que les concentrations quotidiennes moyennes de  $P_{2,5}$  ne dépassent pas  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$  pendant plus de 2 % du temps, sur une période de trois ans. Les gouvernements fédéral, provinciaux et territoriaux se sont entendus sur un ensemble de mesures initiales pour commencer à s'attaquer au problème que posent les particules. Ces premières mesures consistent à réduire les émissions dues aux transports et au chauffage au bois, ainsi qu'à entreprendre des consultations avec diverses industries et d'autres groupes d'intervenants au sujet de l'élaboration de stratégies de réduction des émissions de polluants multiples pour un certain nombre de secteurs industriels. En outre, les engagements actuels pris aux termes de l'Accord Canada-États-Unis sur la qualité de l'air conclu afin de réduire les émissions d'oxydes d'azote ( $\text{NO}_x$ ) et de COV qui produisent de l'ozone peuvent également être élargis pour inclure d'autres précurseurs des particules. Ce serait une étape importante en vue de la réduction de l'impact des particules et de leurs précurseurs provenant des États-Unis.

Étant donné que la plupart des particules fines sont formées à partir de gaz précurseurs, il semblerait que toute

réduction des émissions de ces gaz entraîne une réduction correspondante des concentrations de  $P_{2,5}$ . Pour diverses raisons cependant, la solution au problème n'est pas aussi simple. Les nombreuses réactions différentes qui peuvent donner lieu à la formation de particules fines dépendent de bien des facteurs, comme les conditions météorologiques ainsi que la présence et la concentration d'autres constituants chimiques de l'atmosphère. La correspondance entre les changements dans les concentrations des précurseurs et les changements dans la quantité totale de particules dans l'air n'est donc pas nécessairement biunivoque. En fait, le rapport entre les changements dans les concentrations des précurseurs et l'abondance des  $P_{2,5}$  est souvent très fortement non linéaire. Par exemple, une diminution des émissions de dioxyde de soufre pourrait entraîner une augmentation provisoire des  $P_{2,5}$  totales, durant les mois les plus froids, parce qu'une diminution des concentrations de sulfates permettrait à une plus grande quantité d'ammoniac de réagir avec l'acide nitrique pour former des particules de nitrate d'ammonium.

La gestion efficace des particules nécessite aussi la prise en compte d'autres facteurs qui compliquent la situation :

- La composition des  $P_{2,5}$  et leurs concentrations ainsi que la fréquence des épisodes peuvent varier considérablement d'un endroit à l'autre en raison de différences dans les sources locales, le climat et la topographie, et dans la contribution des polluants transportés.
- La composition des  $P_{2,5}$  et leurs concentrations ainsi que la fréquence des épisodes varient aussi d'une saison à l'autre.

- Les facteurs météorologiques sont principalement responsables des importants épisodes de  $P_{2,5}$  caractérisés non seulement par des concentrations beaucoup plus élevées de  $P_{2,5}$ , mais aussi par un changement dans leur composition, les sulfates étant les plus abondants l'été, et les nitrates, l'hiver (du moins dans l'Est du Canada). **La gestion des épisodes de  $P_{2,5}$  et la gestion de la distribution globale des  $P_{2,5}$  lorsqu'il ne se produit pas d'épisodes sont donc deux problèmes très différents.**
- Les  $P_{2,5}$  ont un rapport très étroit avec d'autres problèmes, comme les pluies acides et le smog. Certaines mesures qui pourraient atténuer les problèmes de  $P_{2,5}$  peuvent donc influencer sur ces autres problèmes. Par exemple, bien que l'ammoniac contribue à la formation de particules, il réduit également l'acidité des précipitations. Par conséquent, réduire les émissions d'ammoniac pour diminuer la formation de particules pourrait rendre les précipitations plus acides. Cependant, certaines mesures visant à réduire les  $P_{2,5}$  pourraient aussi avoir des avantages dans d'autres domaines. Par exemple, une baisse des émissions de  $\text{NO}_x$  et de COV permettrait non seulement de réduire la formation de nitrates et de particules organiques, mais également de réduire l'ozone troposphérique et le smog.
- Les COV posent un problème particulier en raison du très grand nombre d'espèces de ces composés et parce que nous en avons encore beaucoup à apprendre sur la façon dont la plupart contribuent à la formation de  $P_{2,5}$ . En outre, ce ne sont pas nécessairement les espèces dont les émissions sont les plus considérables qui contribuent le plus aux concentrations de particules. Les fortes émissions localisées de COV (comme dans les zones urbaines) peuvent avoir des répercussions encore plus importantes sur la formation de particules dans les régions peuplées. Une difficulté additionnelle à surmonter est qu'en été, une grande partie des COV proviennent de sources naturelles, et il y a peu de choses que l'on puisse faire pour les réduire.

Compte tenu de ces nombreuses complexités, **il est clair qu'aucune solution ne sera efficace partout et dans toutes les situations.** Les stratégies de réduction des émissions qui donnent de bons résultats dans certaines régions et certaines saisons peuvent n'avoir que peu d'effet, voire aucun, dans d'autres cas. **Il faut donc une stratégie glo-**

**bale souple comportant de nombreuses méthodes de réduction des précurseurs tenant compte des saisons et adaptées aux besoins des différentes régions.** En outre, diminuer la gravité des épisodes de  $P_{2,5}$  pourrait nécessiter des démarches différentes de celles utilisées pour réduire les concentrations quotidiennes moyennes.

Malheureusement, nous ne possédons pas toutes les connaissances scientifiques nécessaires pour mettre au point une solution aussi diversifiée et d'avant-garde. **L'une des principales priorités des scientifiques de l'atmosphère consiste donc à combler les nombreuses lacunes qui limitent encore notre compréhension des caractéristiques et de l'évolution des divers problèmes locaux et régionaux attribuables aux  $P_{2,5}$ .**

L'une des plus importantes lacunes a trait à la contribution des COV aux concentrations totales de  $P_{2,5}$ . Parmi les nombreuses catégories de COV, lesquelles contribuent le plus à la formation de particules? Les émissions primaires de COV contribuent-elles plus aux concentrations totales de particules que les particules secondaires formées à partir des COV? Les COV les plus réactifs qui contribuent à la formation d'ozone troposphérique contribuent-ils aussi appréciablement à la formation de  $P_{2,5}$ ? Pour répondre à ces questions et à d'autres encore, les chercheurs doivent recueillir beaucoup plus de données sur les émissions de COV et sur la composition détaillée de la fraction organique des  $P_{2,5}$ , tant en laboratoire que sur le terrain. Cette information devrait permettre de cibler les réductions dans les COV qui donneront les meilleurs résultats en matière de réduction des  $P_{2,5}$ .

Les chercheurs ont également besoin de beaucoup plus de données sur les concentrations d'ammoniac dans l'air extérieur. Ces dernières n'ont pas été mesurées régulièrement par le passé, mais de tels renseignements sont essentiels si nous voulons en savoir plus sur le rôle de l'ammoniac dans la formation des particules secondaires et son importance à l'échelle régionale. De plus, les concentrations de  $P_{2,5}$  doivent être mesurées plus fréquemment et à plus d'endroits pour avoir une meilleure idée du moment et du lieu où les épisodes de  $P_{2,5}$  se produisent. En possédant davantage de données sur ces concentrations, il sera aussi plus facile de comprendre comment les épisodes de  $P_{2,5}$  sont influencés par les émissions locales de précurseurs, les conditions météorologiques régionales et le transport de particules et de gaz précurseurs à partir de



sources éloignées. Pour obtenir ces informations et d'autres renseignements essentiels, nous devons donc accroître notre capacité de surveillance de la qualité de l'air de manière à mesurer une plus grande quantité de polluants, plus souvent et à un plus grand nombre d'endroits.

On commence à utiliser des modèles urbains et régionaux de qualité de l'air, qui font appel aux connaissances les plus avancées des processus atmosphériques de formation des P, pour avoir une idée plus claire et plus précise de la façon dont les émissions, les conditions météorologiques et les composés chimiques de l'atmosphère interagissent pour former des P<sub>2,5</sub> en suspension dans l'air. À l'aide de ces modèles, qui sont essentiellement des programmes informatiques de pointe simulant les processus chimiques et physiques dans l'atmosphère, les chercheurs étudient aussi la façon dont les différentes méthodes visant à réduire les émissions des précurseurs des P<sub>2,5</sub> peuvent

influer sur les problèmes atmosphériques connexes, comme les pluies acides et l'ozone troposphérique.

En attendant les résultats de ces recherches, il y a encore d'importantes mesures qui peuvent être prises pour s'attaquer au problème des P<sub>2,5</sub>. La réduction des émissions de dioxyde de soufre et de NO<sub>x</sub> semble être la stratégie initiale la plus prometteuse, parce qu'elle contribuerait à réduire les P<sub>2,5</sub> en été et en hiver et qu'elle aiderait aussi à réduire les concentrations moyennes de P<sub>2,5</sub> ainsi qu'à atténuer les concentrations élevées qui caractérisent les épisodes de particules. Ces réductions auraient une incidence positive sur les précipitations acides et, selon l'importance du changement dans les concentrations locales et régionales de NO<sub>x</sub> et de COV, pourraient contribuer, du même coup, à aussi permettre de réduire l'ozone troposphérique et le smog.

## Mesures initiales conjointes visant à réduire les émissions de polluants qui contribuent à la formation de particules et d'ozone troposphérique

Les secteurs inclus dans les mesures initiales conjointes ont été choisis parce qu'ils sont, selon les inventaires actuels des émissions, d'importants émetteurs de polluants précurseurs des particules et de l'ozone; ils sont communs à la plupart des instances et touchent de nombreuses collectivités au Canada; une mesure efficace nécessite une démarche multi-instances, et peut être mise en train à court terme. Certaines de ces initiatives s'appuieront sur des programmes en cours, comme les processus des options stratégiques (POS) prévus par la *Loi canadienne sur la protection de l'environnement* pour réduire les rejets de substances toxiques de certains secteurs industriels, et des mesures sectorielles de réduction des gaz à effet de serre. Plus précisément, les mesures initiales conjointes que les ministres ont accepté de prendre visent à :

- fournir aux gouvernements, à l'industrie et au public des renseignements plus complets et en temps opportun sur la qualité de l'air;
- créer de nouvelles initiatives pour réduire les émissions dues aux transports;
- participer à de nouveaux projets visant à réduire les émissions des appareils résidentiels de chauffage au bois;
- élaborer, de concert avec l'industrie et d'autres intervenants, des stratégies nationales de réduction des émissions de polluants multiples pour les principaux secteurs de l'industrie, notamment les pâtes et papiers, le bois d'œuvre et les produits connexes du bois, la production d'électricité, la sidérurgie et la métallurgie, les fonderies de métaux communs, les usines de mélange de béton et d'asphalte;
- lister, de concert avec l'industrie et d'autres intervenants, des mesures pilotes de gestion des émissions ou des codes de pratique utilisables au besoin par toutes les instances canadiennes, et applicables au secteur de la construction et de la démolition;
- mettre au point un programme pilote d'énergie de remplacement pour aider toutes les instances à préconiser le recours à ce type d'énergie;
- améliorer les mécanismes de coordination des activités scientifiques reliées aux particules et à l'ozone.



## Un plan d'action pour l'assainissement de l'air

Le Plan d'action du Canada pour l'assainissement de l'air, annoncé en février 2001, comprend un certain nombre d'initiatives visant à réduire les émissions de dioxyde de soufre, de NO<sub>x</sub> et de COV, des gaz qui contribuent de façon importante aux pluies acides et à l'ozone troposphérique ainsi qu'aux P<sub>2,5</sub>. Le plan permettra aussi d'améliorer notre capacité scientifique d'élaborer des mesures de réduction efficaces, dont les suivantes :

- Plafonner les émissions de NO<sub>x</sub> produites par les centrales électriques alimentées aux combustibles fossiles dans le centre et le sud de l'Ontario et dans le sud du Québec. En Ontario, les émissions de dioxyde d'azote rejetées par les centrales électriques seront réduites de moitié d'ici 2007.
- Mettre en application de nouvelles normes d'émission pour les automobiles, les fourgonnettes, les camionnettes et les véhicules loisirs-travail (VLT) ainsi que pour les camions lourds et les autobus, en commençant avec les modèles 2004. Les nouvelles normes permettront de réduire les émissions de NO<sub>x</sub> d'environ 88 % pour les voitures particulières et de 95 % pour les camions légers et les VLT. Les moteurs d'équipement hors route (p. ex., des tondeuses à gazon, des souffleuses à neige,

des tronçonneuses, des minitondeuses à fil rotatif, des souffleuses à feuilles, du matériel de construction et de la machinerie agricole, des génératrices portatives et les moteurs hors-bord) devront aussi être conformes à des normes d'émission plus sévères.

- Mettre en œuvre un plan décennal pour réduire les émissions de COV provenant des peintures, des agents de dégraissage, des solvants et d'autres produits.
- Ajouter jusqu'à 10 nouvelles stations de surveillance ainsi que moderniser 50 stations du réseau existant et améliorer l'équipement de plusieurs autres.
- Élargir l'Inventaire national des rejets de polluants pour fournir des données plus complètes sur les particules, l'ozone troposphérique et les précurseurs des P<sub>2,5</sub>.

Aux termes de l'Accord Canada-É.-U. sur la qualité de l'air, les États-Unis se sont aussi engagés à réaliser d'importantes réductions dans les émissions de dioxyde de soufre, de NO<sub>x</sub> et de COV. Pour sa part, le gouvernement du Canada veut négocier l'ajout d'une annexe à l'Accord qui porterait sur les particules et le rôle des sources transfrontalières de gaz précurseurs.

Diverses initiatives qui aideront à réaliser ces réductions, comme l'adoption de limites moins élevées pour le soufre dans les carburants et la mise en application de normes plus rigoureuses pour les émissions des véhicules à moteur, sont déjà en place. Des discussions avec divers représentants de l'industrie et d'autres intervenants sont déjà en cours afin de trouver d'autres moyens de réduire les émissions de dioxyde de soufre et de NO<sub>x</sub>. Nous n'en sommes cependant qu'aux premières étapes. Plus tard, lorsque nous pourrons tirer profit des nouvelles recherches, il sera possible d'élaborer une plus vaste gamme de réductions des émissions qui tiendront davantage compte des complexités régionales et saisonnières du problème, ce qui permettra à toutes les collectivités du pays d'améliorer la qualité de leur air.

Cette brochure est fondée sur le rapport intitulé *Precursor Contributions to Ambient Fine Particulate Matter in Canada* et publié par le Service météorologique du Canada en mai 2001. Elle est offerte en ligne à l'adresse : <http://www.msc-smc.ec.gc.ca/saib/>, ou on peut en obtenir une copie papier en composant le (416) 739-4645.