

Caractérisation du bassin atmosphérique du bassin de Georgia/Puget Sound



Catalogage avant publication de la Bibliothèque nationale du Canada

Vedette principale au titre :

Caractérisation de la zone atmosphérique du bassin de Géorgie-Puget Sound : [ressource électronique]

Publ. aussi en anglais sous le titre : Characterization of the Georgia Basin/Puget Sound airshed.

Mode d'accès : site web d'Environnement Canada, Plan d'actions du bassin de Georgia.

Publ. en collaboration avec le United States Environmental Protection Agency.

ISBN 0-662-76927-9

No de cat. En84-3/2004F-PDF

1. Air – Qualité-- Georgia, Bassin de (C.-B. et Wash.)
 2. Air – Pollution – Georgia, Bassin de (C.-B. et Wash.)
 3. Air – Qualité-- Washington (État)– Puget Sound, Région du .
 4. Air – Pollution – Washington (État) – Puget Sound, Région du .
- I. États-Unis. Environmental Protection Agency.
II. Canada. Environnement Canada. Région du Pacifique et du Yukon.
III. Plan d'actions du bassin de Georgia (Canada)

TD883.7C3B7414 2004

363.739'2'097113

C2004-980192-9

Table des matières

Remerciements	x
Sommaire.....	1
Qu'est-ce qui détermine la qualité de l'air?	4
Émissions	4
Qualité de l'air ambiant	5
Ozone.....	5
Matières particulaires	5
Visibilité	6
Contexte social et économique	6
État de nos connaissances.....	6
Importance du transport transfrontalier	7
Implications	7
1. Introduction.....	9
Facteurs qui influent sur la qualité de l'air	10
Sources anthropiques.....	10
Sources naturelles	10
Conditions atmosphériques	12
Guide du rapport	12
Bibliographie	13
2. Qu'est-ce que la qualité de l'air?	15
Régimes météorologique dans le nord de la côte du Pacifique	15
Sources d'émissions	20
Principaux contaminants atmosphériques.....	20
Normes relatives à la qualité de l'air	21
Bibliographie	23
3. Facteurs régissant la qualité de l'air.....	25
Processus naturels : le temps	25
Circulation de l'air dans le Puget Sound	26
Flux d'air dans le bassin de Georgia	26
Circulation et concentration des polluants atmosphériques	26
Influence des régimes de temps sur l'ozone et les particules.....	28
Processus naturels : émissions	31
Processus anthropiques : émissions	31
Bibliographie	32
4. Émissions	33
Sources d'émissions	33
Prévisions des émissions.....	37
Prévisions pour le Puget Sound et le bassin de Georgia	38
Dynamique des émissions	40
Variabilité des émissions	42
Sources naturelles	42
Bibliographie	43

5. Qualité de l'air ambiant	45
Réseaux de mesure de la pollution atmosphérique dans le Bassin	45
Dépôt de polluants atmosphériques	48
Analyse de la qualité de l'air	50
Ozone.....	51
Ozone troposphérique.....	51
Données sur l'ozone ambiant	53
L'ozone et les normes de qualité de l'air	57
Ozone de fond.....	62
Facteurs météorologiques	63
Résumé de l'analyse de l'ozone	63
Particules (PM).....	64
Taille des particules.....	64
Sources de PM.....	66
Sources naturelles	67
Sources anthropiques.....	68
Analyse de la composition des PM.....	68
Variations saisonnières de la composition des PM.....	72
Sources et régions émettrices des principaux composés chimiques préoccupants.....	73
Concentrations annuelles et saisonnières de PM _{2,5} et de PM ₁₀	73
Particules de fond.....	74
Influences météorologiques	75
Visibilité	76
Bibliographie	81
6. Incidences et tendances sociales et économiques.....	85
Impacts sur la qualité de l'air et la durabilité	85
Incidences d'une mauvaise qualité de l'air sur la santé.....	86
Groupes et collectivités « à risque ».....	87
Incidences liées au cancer.....	88
Incidences autres que le cancer	88
Incidences d'une mauvaise qualité de l'air sur l'économie	89
Coûts pour le régime des soins de santé.....	90
Impacts sur le tourisme	90
Impacts sur l'agriculture	91
Les coûts du <i>nonattainment</i>	92
Incidences écologiques	93
Ozone.....	93
Azote	93
Dépôt acide.....	94
Impacts du changement climatique	94
Tendances socio-économiques influant sur la qualité de l'air dans la région du Puget Sound/bassin de Georgia	95
Économie	95
Mouvements économiques.....	96
Répartition de l'emploi.....	97
Accroissement et distribution de la population	97
Consommation d'énergie	101
Transports	104
Agriculture	109
Combustion du bois	110

Bibliographie	111
7. État de nos connaissances.....	115
Introduction.....	115
Incertitudes des inventaires d'émissions.....	115
Variations des émissions et qualité de l'air ambiant	117
Application des modèles informatiques.....	118
Simulations informatiques des scénarios relatifs aux PM _{2,5}	119
Simulations de scénarios pour l'ozone	121
Impacts de la pollution atmosphérique sur la santé humaine	124
Effets de la pollution atmosphérique sur la santé de l'environnement.....	127
Impacts de la pollution atmosphérique sur le changement climatique.....	129
Bibliographie	130
8. Importance du transport transfrontalier.....	133
Régimes des vents transfrontaliers.....	133
Importance du transport transfrontalier	135
Bibliographie	137
9. Résumé des principaux résultats	139
Qu'est-ce que la qualité de l'air?.....	139
Émissions	139
Qualité de l'air ambiant	140
Contexte social et économique	142
État de nos connaissances.....	143
Importance du transport transfrontalier	144
10. Implications	147

Figures

Figure 1.1. Bassin atmosphérique du bassin de Georgia/Puget Sound, délimitant les bassins atmosphériques du Puget Sound et du bassin de Georgia	11
Figure 2.1. Masses d'air l'hiver et circulation au-dessus de l'Amérique du Nord (Phillips, 1990).....	16
Figure 2.2. Masse d'air l'été et circulation au-dessus de l'Amérique du Nord (Phillips, 1990).....	18
Figure 3.1. Configuration de la pression de surface (isohypes en millibars) lorsque les concentrations d'ozone sont élevées et que les concentrations de PM sont supérieures à la moyenne régionale	29
Figure 3.2. Configuration à haute altitude (isohypes de 500 mb en mètres) lorsque les concentrations d'ozone sont élevées et que les concentrations de PM sont supérieures à la moyenne régionale	30
Figure 4.1. Inventaire des émissions de polluants atmosphériques dans le bassin atmosphérique du bassin de Georgia (Wakelin, 2003, et DRV, 2002).....	35
Figure 4.2. Inventaire des émissions de polluants atmosphériques dans le bassin atmosphérique du Puget Sound (ministère de l'Écologie, 2001)	36
Figure 4.3. Comparaison des émissions actuelles (1996) et des émissions prévues (2018) dans le Puget Sound (ministère de l'Écologie, 2001)	39
Figure 4.4. Comparaison des émissions actuelles (2000) et des émissions prévues (2025) dans le bassin de Georgia (ce qui exclut les PM ₁₀) (GVRD, 2003)	40
Figure 5.1. Emplacement des stations de mesure qui servent à analyser la pollution atmosphérique.....	47
Figure 5.2. Rapport entre les NO _x , les COV et l'O ₃ exprimé sous forme du schéma d'Ekma (NARSTO, 2000)	52
Figure 5.3. Schéma des données horaires annuelles sur l'ozone à Surrey East (NAPS).....	53
Figure 5.4. Concentrations horaires d'ozone sur l'île de Saturna (RSAP/NAPS).....	55
Figure 5.5. Variation diurne de l'ozone à Beacon Hill–Seattle (AIRS).....	56
Figure 5.6. Calcul de l'ozone à Robson Square, à Vancouver (C.-B.) selon le standard pancanadien (RNSPA).....	58
Figure 5.7. États-Unis. Calcul à Beacon Hill, à Seattle (Washington) (AIRS) selon la EPA Ozone Standard.....	59

Figure 5.8. États-Unis. Calcul relatif à Enumclaw (Washington) (AIRS) selon la EPA Ozone Standard	60
Figure 5.9. Calcul de l’ozone à Chilliwack (C.-B.) (RNSPA) selon le standard pancanadien	61
Figure 5.10. Distribution des particules fines par numération et masse (extrait du NARSTO, 2003)	65
Figure 5.11. Répartition procentuelle des principaux constituants chimiques des PM _{2.5} (zone urbaine de Vancouver) (adapté de Brook, 2002)	69
Figure 5.12. Répartition procentuelle des principaux constituants chimiques des PM _{2.5} (zone urbaine de Seattle) (adapté de Maykut, 2001)	69
Figure 5.13. Contribution en pourcentage à la masse fine reconstruite à partir des cinq modes dominants de composition des particules fines à Clearbrook (étude REVEAL II).....	70
Figure 5.14. Contribution en pourcentage à la masse fine reconstruite à partir des cinq modes dominants de composition des particules fines à Chilliwack (étude REVEAL II).....	70
Figure 5.15. Composition chimique et fraction granulométrique des PM dans deux endroits du bassin atmosphérique du bassin de Georgia (Pyror, 2003)	71
Figure 5.16. Concentrations relatives de PM _{2.5} à Abbotsford (CLBR) (Pyror, 1999)	72
Figure 5.17. Moyenne annuelle et saisonnières de la masse totale reconstruite (MTR) dans les lacs de montagne pour tous les jours (12/1/96 – 11/30/98) (IMPROVE).....	77
Figure 5.18. Dynamique du b_{ext} au mont Rainier pour toutes les journées (IMPROVE)	78
Figure 5.19. Dynamique du b_{ext} pour les catégories de polluants au mont Rainier les jours les plus défavorables (IMPROVE).....	79
Figure 5.20. Dynamique de la visibilité dans le bassin atmosphérique du Puget Sound (Puget Sound Clean Air Agency)	80
Figure 6.1. Hiérarchie des effets de la pollution atmosphérique (Bates <i>et al.</i> , 2002)	86
Figure 6.2. Accroissement annuel moyen de la population par district régional et comté, 1991-2000 (avec les données numériques pour 1991-2000 et 2000-2020)	99
Figure 6.3. Pourcentage de la population du bassin de Georgia/Puget Sound par district régional et comté, 2000.....	100
Figure 6.4. Consommation finale d’énergie dans l’État de Washington par secteur, 1970-1999	102
Figure 6.5. Volumes conteneurisés (ports de Vancouver, Seattle et Tacoma).....	108
Figure 7.1. Concentrations de PM _{2.5} attribuables aux différences procentuelles dans les émissions anthropiques inorganiques de l’ensemble du domaine à Enumclaw (Washington)	120

Figure 7.2. Concentrations de $PM_{2.5}$ attribuables aux variations procentuelles des COV anthropiques (COV), des COV biosynthétiques (COVb), des NO_x anthropiques (NO_x) et des COV et NO_x anthropiques confondus (NO_x et COV) à Enumclaw (Washington).. 121

Figure 7.3. Concentrations d’ozone attribuables à la différence procentuelle des émissions anthropiques de COV à six endroits 122

Figure 7.4. Concentrations d’ozone attribuables à la différence procentuelle des émissions anthropiques de NO_x à six endroits 123

Figure 7.5. Contributions aux risques de cancer à Beacon Hill (données de surveillance de 2000) de Keill et Maykut, 2002 127

Figure 8.1. Répartition des trajectoires d’automne jusqu’à Snoqualmie Pass, Washington . 134

Figure 8.2. Pires trajectoires pentiles jusqu’à Snoqualmie Pass, Washington..... 135

Tableaux

Tableau 4.2. Dynamique et prévisions des émissions dans les bassins atmosphériques du Puget Sound (ministère de l’Écologie, 2001) et du bassin de Georgia (GVRD, 2003)5

Tableau 2.1. Normes et objectifs sur la qualité de l’air au sujet de l’ozone qu’utilisent les juridictions dans le bassin atmosphérique du bassin de Georgia/Puget Sound 22

Tableau 2.2. Normes et objectifs sur la qualité de l’air au sujet des particules fines qu’utilisent les juridictions dans le bassin atmosphérique du bassin de Georgia/Puget Sound 22

Tableau 4.1. Secteurs d’émissions dominants pour les bassins atmosphériques du bassin de Georgia et du Puget Sound..... 37

Tableau 4.2. Dynamique et prévisions des émissions dans les bassins atmosphériques du Puget Sound (ministère de l’Écologie, 2001) et du bassin de Georgia (GVRD, 2003) ... 41

Tableau 5.1. Statistiques sommaires relatives aux concentrations de PM_{10} et de $PM_{2.5}$ sur une heure ($\mu g/m^3$) (les valeurs sont des moyennes, la fourchette étant indiquée entre parenthèses)..... 75

Tableau 5.2. Composition moyenne des PM par bonne et par mauvaise visibilité à Abbotsford (masse en $\mu g/m^3$) (adapté de Pryor, 1999) 79

Tableau 6.1. Décès cardiopulmonaires estimatifs annuels attribuables à la pollution atmosphérique par les particules dans les régions statistiques métropolitaines du Puget Sound (Natural Resources Defense Council) 89

Tableau 6.2. Pertes éventuelles de recettes touristiques attribuables à des phénomènes de mauvaise visibilité (par phénomène) (McNeill et Roberge, 2000) 91

Tableau 6.3. Catégories de polluants et d'effets écologiques (adapté de l'EPA des États-Unis, 1999)	94
Tableau 6.4. Camions qui ont franchi la frontière canado-américaine (volumes de circulation dans les deux sens) en millions	107
Tableau 7.1. Niveau de confiance des estimations des émissions (adapté de NARSTO, 2003)	116
Tableau 7.2. Réduction des émissions et changements connexes des concentrations d'ozone et de PM (adapté de NARSTO, 2003)	117
Tableau 7.3. Résumé des effets de polluants atmosphériques individuels et de mélanges aux niveaux ambiants actuels d'exposition (adapté de B.C. Lung Association, 2003)	125
Tableau 7.4. pH des précipitations et retombées humides dans les stations de surveillance du bassin de Georgia en 1990 (tiré de B. Raymond, 2003)	128
Tableau 7.5. Réductions des polluants atmosphériques associées aux impacts sur la brume sèche régionale et aux dérèglements climatiques (adapté de NARSTO, 2003)	129
Tableau 4.2. Dynamique et prévisions des émissions dans les bassins atmosphériques du Puget Sound (ministère de l'Écologie, 2001) et du bassin de Georgia (GVRD, 2003) .	140

Remerciements

L'étude de la caractérisation du bassin atmosphérique du bassin de Georgia/Puget Sound a été réalisée par :

Bruce Thomson
Chercheur principal
Région du Pacifique et du Yukon
Environnement Canada

L'auteur tient à remercier Trevor Swerdfager et Kirk Johnstone de leur appui et de leur précieuse contribution quand ils ont lancé l'idée d'une caractérisation des conditions météorologiques et de la pollution atmosphérique dans le bassin atmosphérique du bassin de Georgia/Puget Sound.

La préparation de ce rapport n'aurait pas pu se faire sans la contribution des membres du Groupe de travail sur la caractérisation du bassin atmosphérique :

Bob Bachman	Forest Service des États-Unis
Clint Bowman	Department of Ecology, Olympia
Narissa Chadwick	Conseil du bassin du Fraser
Wayne Elson	Région 10 de l'EPA, Seattle
Axel Franzmann	Northwest Air Pollution Agency, Mt. Vernon
Gordon Hanson	Coast Salish Sea Initiative
Naydene Maykut	Puget Sound Clean Air Agency
Martin Mullan	Environnement Canada, Vancouver
John Newhook	District régional de Vancouver
Janice Peterson	Forest Service des États-Unis
Steve Sakiyama	Ministère de la Protection de l'eau, des terres et de l'air, Victoria
Dick Stender	Ministère de l'Écologie, Olympia
Natalie Suzuki	Ministère de la Protection de l'eau, des terres et de l'air, Victoria
Jim VanDerwal	Conseil du bassin du Fraser
Frank Van Haren	Department of Ecology, Olympia
Elizabeth Waddell	Park Service des États-Unis

Le Groupe de travail a donné de son temps sans compter pour analyser la teneur scientifique du rapport et formuler des remarques à son sujet. La section du rapport intitulée « Incidences et tendances sociales et économiques » a été rédigée par Narissa Chadwick, qui a elle-même mené les recherches nécessaires.

L'auteur tient également à remercier Roxanne Vingarzan de son aide dans l'analyse des données et dans la production de beaucoup des graphiques utilisés dans ce rapport ainsi que de l'examen approfondi du contenu du rapport. Il apprécie également grandement l'apport des personnes suivantes à la teneur scientifique du rapport : John Anderson, Kwame Agyei, Wayne Belzer, Cristiana Figueroa-Kaminsky, Robert Kotchenruther, Derek Jennejohn, Mark Graham, Roger McNeil et Bill Taylor.

Sommaire

Si l'on a entrepris l'étude de la *caractérisation du bassin atmosphérique du bassin de Georgia/Puget Sound*, c'est pour caractériser la qualité de l'air dans une région urbanisée à croissance rapide du nord de la côte du Pacifique, soit le bassin atmosphérique du bassin de Georgia/Puget Sound (le Bassin). La croissance que connaît cette région continue de stresser l'environnement. L'étalement des banlieues, les besoins croissants de transport et les développements du secteur énergétique ne sont que quelques-uns des défis que pose la gestion de la pollution atmosphérique dans la région.

Le Bassin est situé à cheval sur le Canada et les États-Unis, deux pays qui adoptent en ce moment de nouvelles normes et lignes directrices sur la qualité de l'air. Il était donc essentiel de caractériser dès maintenant la nature de la pollution de l'air dans le bassin atmosphérique du bassin de Georgia/Puget Sound. Cette étude fournira des données scientifiques qui aideront à élaborer une stratégie relative au bassin atmosphérique international et des directives sur certaines questions stratégiques particulières en ce qui ont trait aux particules, à l'ozone et à la visibilité, la mise en œuvre des standards pancanadiens, celle des nouvelles normes sur la qualité de l'air de l'Environmental Protection Agency des États-Unis visant les particules et l'ozone et la *Regional Haze Rule* des États-Unis.

L'objet de cette étude était de comprendre la situation actuelle et les tendances de la qualité de l'air dans le bassin atmosphérique du bassin de Georgia/Puget Sound. Ses objectifs particuliers étaient les suivants :

- déterminer s'il y a une importante pollution transfrontalière dans le bassin atmosphérique du bassin de Georgia/Puget Sound;
- déterminer et décrire les grands facteurs (naturels et humains) qui affectent la qualité de l'air dans la région;
- établir un point de repère par rapport auquel mesurer les changements qui se produiront dans la qualité de l'air au cours des dix prochaines années;
- identifier les principales lacunes de nos connaissances scientifiques sur la qualité de l'air en ce qui a trait aux particules, à l'ozone et à la visibilité dans le Bassin, y compris, le cas échéant, les lacunes au chapitre de la surveillance, de l'inventoriage et des stratégies et systèmes de modélisation;
- décrire les conséquences prévues sur la qualité de l'air de mesures précises de gestion de la pollution atmosphérique;
- servir de fondement à la préparation de documents d'éducation publique et de communication destinés à élargir la compréhension que les citoyens ont de la qualité de l'air dans la région.

Même si la région décrite et étudiée dans ce rapport est communément connue sous le nom de bassin atmosphérique du bassin de Georgia/Puget Sound, il s'agit en réalité de deux bassins atmosphériques de dimensions plus restreintes : celui du bassin de Georgia et celui du Puget Sound. Le bassin atmosphérique du bassin de Georgia comprend la portion canadienne du Bassin, le comté de Whatcom dans l'État de Washington et le sud de la côte du détroit de Juan de Fuca. Il convient de signaler que la limite méridionale du bassin atmosphérique du

bassin de Georgia s'étend jusqu'aux terrains en altitude du nord des Cascades. Le bassin atmosphérique du Puget Sound englobe les comtés situés au sud du comté de Whatcom.

CARTE :

Georgia Basin Airshed
Puget Sound Airshed
Pacific Ocean
60 kilometers
Strait of Juan de Fuca
Strait de Georgia
Fraser river fleuve Fraser

Bassin atmosphérique du bassin de Georgia
Bassin atmosphérique du Puget Sound
Océan Pacifique
60 kilomètres
Déroit de Juan de Fuca
Déroit de Georgia



L'étude a ciblé trois grands éléments de la pollution atmosphérique : l'ozone troposphérique (ozone), les particules fines (PM) et la visibilité. Ces éléments ne sont pas seulement des sujets de préoccupation pour le public, mais également d'importants facteurs dans l'élaboration des normes et des stratégies internationales sur la qualité de l'air.

Les sections qui suivent décrivent les domaines d'intérêt particulier de l'étude, les principales conclusions et les conséquences de l'élaboration de stratégies visant à améliorer la qualité de l'air.

Qu'est-ce qui détermine la qualité de l'air?

Dans le bassin de Georgia/Puget Sound, la qualité de l'air est dans une large mesure fonction des régimes météorologiques qui régissent la circulation de l'air dans le bassin atmosphérique, lesquels sont à leur tour influencés par la topographie de la région. L'air déplace et disperse des substances chimiques en suspension provenant de nombreuses sources naturelles et anthropiques, à la fois dans le périmètre du Bassin et à l'extérieur.

Les périodes de stagnation se produisent essentiellement l'été et l'hiver. Durant ces saisons, les courants de vent ne poussent pas les polluants atmosphériques entre les deux bassins atmosphériques, ce qui a pour effet de les isoler l'un de l'autre et de permettre aux polluants atmosphériques de s'accumuler dans chacun.

Les polluants qui affectent le bassin atmosphérique du bassin de Georgia/Puget Sound ne proviennent pas tous du Bassin. On a en effet observé que des substances chimiques en suspension dans l'air provenant d'Eurasie et de Californie viennent s'ajouter à l'ensemble général de polluants du Bassin. Bien que ces polluants soient généralement bien dispersés au moment où ils arrivent, ils ajoutent néanmoins des concentrations, petites mais mesurables, aux concentrations ambiantes d'ozone et de PM. Le printemps, en particulier les mois d'avril et de mai, est la saison la plus propice à la pénétration des polluants atmosphériques dans le bassin atmosphérique en provenance du Pacifique. En outre, les interactions des polluants en suspension peuvent entraîner la formation de polluants atmosphériques secondaires dans l'atmosphère.

Émissions

Les polluants atmosphériques proviennent à la fois de sources naturelles et anthropiques, ou d'origine humaine. Ils peuvent subir des réactions chimiques dans l'atmosphère, créant ainsi de nouveaux polluants susceptibles de compromettre la santé de l'homme et des écosystèmes et d'entraîner des problèmes de visibilité. Les émissions anthropiques peuvent être limitées par réglementation ou par l'application de certaines technologies, mais les émissions naturelles résistent à toute intervention humaine.

Au cours des dix prochaines années, on prévoit que les émissions de polluants des véhicules automobiles diminueront dans les deux bassins atmosphériques, alors que celles du secteur maritime augmenteront, tout comme celles du secteur agricole.

Le tableau ci-dessous résume les tendances et les prévisions des émissions de plusieurs grands polluants atmosphériques dans les bassins atmosphériques du bassin de Georgia et du Puget Sound. Les émissions futures de ces polluants dépendront de la croissance démographique et économique ainsi que des politiques adoptées par le Canada et les États-Unis.

Tableau 4.2. Tendances et prévisions des émissions dans les bassins atmosphériques du Puget Sound (ministère de l'Écologie, 2001) et du bassin de Georgia (GVRD, 2003)

Polluant	Tendances et prévisions des émissions	
	Puget Sound 1996-2018	Vallée du bas Fraser 2000-2020
NO _x	-43 %	-25 %
SO ₂	-61 %	+23 %
COV	-11 %	-13 %
NH ₃	+20 %	+31 %
PM ₁₀ (y compris les poussières routières)	+23 %	+16 %
PM _{2.5} (y compris les poussières routières)	+19 %	+ 10 %

Qualité de l'air ambiant

Les substances chimiques en suspension dans l'air et les phénomènes météorologiques connexes sont mesurés à un certain nombre de sites pour quantifier la pollution atmosphérique à la fois dans le temps et dans l'espace. Les mesures ambiantes montrent l'efficacité de diverses stratégies de gestion de la pollution atmosphérique. Pour ce qui est des trois grandes questions de qualité de l'air, les recherches ont révélé ce qui suit :

Ozone

- La concentration d'ozone troposphérique dans l'air ambiant est avant tout le fait de réactions photochimiques. L'ozone et ses précurseurs peuvent être transportés sur de grandes distances. C'est pourquoi on observe souvent les plus fortes concentrations d'ozone en aval des centres urbains et en altitude dans les régions rurales.
- Les régions rurales sont limitées par les NO_x en raison des quantités relativement importantes d'émissions de COV d'origine naturelle et des faibles émissions de NO_x. Pour réduire l'ozone dans les régions rurales, il se peut qu'il faille réduire de beaucoup les émissions anthropiques de NO_x provenant des centres urbains.
- Des concentrations d'ozone se situant entre 40 et 50 ppb sont souvent relevées dans les régions rurales du littoral au printemps, et sont qualifiées de concentrations « de fond ». Ces concentrations sont le fait d'émissions naturelles et anthropiques, dont le transport depuis l'extérieur du bassin. C'est ainsi qu'une partie de l'ozone de fond est d'origine humaine et qu'il est donc possible de le contrôler.

Matières particulaires

- Les particules fines sont surtout des matières carbonées. Dans les centres urbains, près de 50 p. 100 de la masse des particules provient de la combustion.
- Les émissions naturelles de composés organiques volatils représentent entre le tiers et la moitié des émissions totales de COV dans le Bassin. L'ampleur des émissions naturelles

limite les possibilités de réduction des émissions totales de COV ainsi que l'efficacité des mesures de contrôle des émissions d'oxydes d'azote dans l'abaissement des concentrations ambiantes de PM et d'ozone.

Visibilité

- Le SO₂, le carbone organique et les NO_x sont les principaux polluants responsables d'une réduction de la visibilité dans le Bassin. Le SO₂ et les NO_x sont transformés dans l'atmosphère en sulfates et en nitrates, qui se combinent chimiquement avec l'ammoniac d'origine agricole et avec le sodium des émissions marines naturelles pour former des particules fines.

Contexte social et économique

La pollution atmosphérique est inexorablement liée à tous les éléments de la durabilité de la région du bassin de Georgia/Puget Sound, soit un environnement sain, une économie dynamique et le bien-être social de tous. Toutefois, la pollution atmosphérique dépend d'un certain nombre de tendances sociales et économiques dans la région, notamment l'accroissement de la population, les besoins de transport et la consommation d'énergie et les modifications de l'industrie. Cette pollution atmosphérique a de profonds impacts sociaux, environnementaux et économiques. Par exemple :

- les impacts des polluants atmosphériques sur la santé vont d'une irritation des yeux, du nez et de la gorge à une diminution des fonctions pulmonaires et à des cancers;
- les contaminants présents dans l'atmosphère peuvent endommager les cultures agricoles et la végétation en réduisant les rendements de cultures d'une grande importance économique. Aux États-Unis, les pertes agricoles attribuables à l'ozone sont estimées à entre 1 et 3 milliards de dollars par an;
- la baisse de visibilité provoquée par l'accumulation de particules en suspension dans l'atmosphère peut avoir des effets préjudiciables sur le tourisme. Pour un seul épisode extrême de visibilité, les modèles informatiques estiment les pertes futures de recettes touristiques à 7,45 millions de dollars dans le district régional de Vancouver et à 1,32 million de dollars dans la vallée du Fraser;
- les concentrations accrues de gaz qui piègent la chaleur contribuent au changement climatique, avec des conséquences profondes et imprévisibles sur l'environnement, la société et l'économie.

État de nos connaissances

Il existe d'importantes lacunes dans notre connaissance de la façon dont certains polluants atmosphériques réagissent les uns avec les autres et des conséquences qu'ils ont sur la santé de l'homme et de l'environnement dans le Bassin. Les méthodes dont on se sert pour dresser des inventaires des émissions et prévoir leur évolution reposent sur des hypothèses et des techniques de modélisation informatique qui ont besoin d'être raffinées. Les modèles informatiques de la qualité de l'air appliqués au bassin atmosphérique du bassin de Georgia/Puget Sound estiment les concentrations de polluants sur plusieurs jours ou semaines, mais on ne dispose pas de prévisions des concentrations saisonnières ou annuelles. Les modèles informatiques appliqués au Bassin doivent faire l'objet d'une évaluation plus

poussée, en particulier pour les conditions hivernales. Toutefois, malgré les lacunes de nos connaissances et les défauts de différentes méthodes, l'étude a révélé que les concentrations actuelles de plusieurs polluants atmosphériques ont été liées à des effets préjudiciables sur la santé de l'homme et de l'environnement, et qu'il faut donc intervenir.

Importance du transport transfrontalier

L'étude a révélé qu'il y a un mouvement transfrontalier de l'air suffisant pour transporter des polluants en suspension à travers la frontière internationale. De fait, les vents déplacent des polluants à travers la frontière internationale dans les deux sens à toutes les saisons de l'année dans le bassin atmosphérique du bassin de Georgia. De plus, les résultats de simulations informatiques confirment l'importance du transport transfrontalier de polluants atmosphériques dans le sud du bassin atmosphérique du bassin de Georgia. Le principal échange d'air et de pollution entre les bassins atmosphériques du bassin de Georgia et du Puget Sound se fait par le « portail » situé au sud du détroit de Haro, lequel s'étend du sud de Bellingham vers l'ouest jusqu'à Port Angeles. La circulation par le portail est à son maximum à l'automne.

Implications

L'étude a permis de déterminer que l'élaboration de stratégies visant à améliorer la qualité de l'air dans le bassin atmosphérique du bassin de Georgia/Puget Sound aurait les répercussions suivantes :

- Étant donné que les polluants traversent la frontière internationale avec les vents dans les deux sens à toutes les saisons de l'année, la gestion de la pollution atmosphérique dans le bassin atmosphérique du bassin de Georgia/Puget Sound nécessitera une action coordonnée de la part du Canada et des États-Unis.
- Les conditions météorologiques stagnantes associées aux épisodes de mauvaise qualité de l'air ont généralement des conséquences simultanées sur les bassins atmosphériques du bassin de Georgia et du Puget Sound. La circulation des polluants atmosphériques entre les bassins atmosphériques est alors extrêmement limitée. Toutefois, les stratégies utilisées pour faire face aux épisodes de mauvaise qualité de l'air continueront de réclamer une action internationale coordonnée dans le bassin atmosphérique du bassin de Georgia.
- Les interactions des polluants atmosphériques peuvent entraîner la formation de polluants secondaires dans l'atmosphère. Les stratégies de réduction des émissions seront d'autant plus efficaces que l'on tiendra compte des effets synergiques des changements des émissions sur la chimie de l'air et sur les polluants atmosphériques qui en résultent.
- La concentration de pollution atmosphérique ambiante dépend de phénomènes sociaux et économiques, comme l'accroissement de la population, les besoins de transport, la consommation d'énergie et les modifications de l'industrie. Même si l'on prévoit une baisse des émissions de polluants des véhicules automobiles au cours des dix prochaines années dans les deux bassins atmosphériques, les émissions du secteur maritime sont à la hausse, de même que celles du secteur agricole. Quelques programmes et stratégies visant à réduire les émissions et à améliorer la qualité de l'air contribueront également aux stratégies dont le but est de réduire les émissions de gaz à effet de serre, et vice-versa.

- Aux niveaux actuels, les concentrations ambiantes de pollution atmosphérique ont des effets néfastes sur la santé de l'homme et sur l'environnement. Cet état de choses renforce le besoin d'une amélioration constante de la qualité de l'air et d'un maintien de concentrations acceptables aux yeux du public dans les régions où les niveaux de pollution atmosphérique sont bas.
- Les particules fines sont surtout des matières carbonées. Dans les centres urbains, près de 50 p. 100 de la masse des particules provient de la combustion. La gestion des émissions des sources de combustion doit demeurer une priorité en vue de réduire les concentrations de particules fines et les problèmes de santé humaine qu'elles entraînent.
- Le SO₂, le carbone organique et les NO_x sont les principaux polluants responsables d'une diminution de la visibilité. Les émissions de SO₂ et des NO_x sont transformés dans l'atmosphère en sulfates et en nitrates, qui se combinent chimiquement à l'ammoniac d'origine agricole et au sodium des émissions marines naturelles pour entraîner la formation des particules fines. Pour améliorer la visibilité, il faudra faire particulièrement attention aux sources de SO₂, du carbone organique, de NO_x et d'ammoniac.
- La concentration d'ozone troposphérique dans l'air ambiant est attribuable avant tout aux réactions photochimiques. L'ozone et ses précurseurs peuvent parcourir de grandes distances. De ce fait, les plus fortes concentrations d'ozone ambiant s'observent souvent en aval des centres urbains et en altitude dans les régions rurales. L'efficacité des stratégies de contrôle des concentrations d'ozone doit être évaluée en prenant des mesures ambiantes de l'ozone dans des endroits appropriés, souvent en aval des centres urbains et en altitude dans les régions rurales.
- Les émissions naturelles de composés organiques volatils représentent entre le tiers et la moitié des émissions totales de COV dans le bassin. L'ampleur des émissions naturelles limite l'abaissement réalisable des émissions totales de COV dans le bassin. Le niveau des émissions naturelles de COV limite aussi l'efficacité des mesures de contrôle des émissions de NO_x dans l'abaissement des concentrations ambiantes de PM et d'ozone.
- Des concentrations d'ozone se situant entre 40 et 50 ppb sont souvent relevées dans les régions rurales du littoral au printemps, et sont qualifiées de concentrations « de fond ». Ces concentrations sont le fait des émissions naturelles et anthropiques, dont le transport depuis l'extérieur du Bassin. C'est ainsi qu'une partie de l'ozone de fond est d'origine humaine et qu'il est donc possible de le contrôler.
- C'est le plus souvent au printemps que l'on constate l'impact du transport à grande distance des polluants atmosphériques en provenance du Pacifique. Les polluants atmosphériques provenant de l'extérieur du Bassin sont généralement bien dispersés, mais leur impact sur la qualité de l'air ambiant dans le Bassin peut néanmoins être mesuré. Les stratégies visant la qualité de l'air ambiant dans le Bassin doivent tenir compte de l'ajout de concentrations de polluants provenant de sources éloignées.

1. Introduction

Si l'on a entrepris l'étude de la *caractérisation du bassin atmosphérique du bassin de Georgia/Puget Sound*, c'est pour caractériser la qualité de l'air dans une région urbanisée à croissance rapide du nord de la côte du Pacifique, le bassin atmosphérique du bassin de Georgia/Puget Sound (le Bassin). La croissance que connaît cette région continue de stresser l'environnement. L'étalement des banlieues, les besoins croissants de transport et les développements du secteur énergétique ne sont que quelques-uns des défis que pose la gestion de la pollution atmosphérique dans la région.

Le Bassin est situé à cheval sur le Canada et les États-Unis, deux pays qui adoptent en ce moment de nouvelles normes et lignes directrices sur la qualité de l'air. La nature de la pollution atmosphérique dans le bassin atmosphérique du bassin de Georgia/Puget Sound doit être « caractérisée » pour fournir des renseignements scientifiques qui aideront à élaborer une stratégie relative au bassin atmosphérique international.

Les travaux dont nous rendons compte ici représentent les efforts de nombreux chercheurs qui ont étudié différents paramètres de la question. Le rapport réunit des études et des analyses de la qualité de l'air dans la région afin de ne pas répéter les travaux d'autres chercheurs, mais de résumer et de relier les nombreuses découvertes importantes faites par d'autres. Le texte contient des renvois qui fourniront des précisions au lecteur et qui indiqueront la provenance des données mentionnées dans l'étude.

Même si la région décrite et étudiée dans ce rapport est communément connue sous le nom de bassin atmosphérique du bassin de Georgia/Puget Sound (voir figure 1.1), il s'agit en réalité de deux bassins atmosphériques de dimensions plus restreintes : celui du bassin de Georgia et celui du Puget Sound. Le terme « bassin atmosphérique » est emprunté aux sciences aquatiques, où un bassin hydrographique se définit comme « une superficie de terre d'où l'eau s'écoule vers un cours d'eau commun dans un bassin naturel ». Même si l'expression « bassin atmosphérique » sert souvent à décrire une zone délimitée de la même façon, les processus atmosphériques sont rarement confinés à des régions géographiques ou par des obstacles naturels. Néanmoins, l'expression « bassin atmosphérique » s'applique durant les périodes de stagnation, lorsque les conditions météorologiques se conjuguent à la topographie locale pour piéger les polluants atmosphériques dans une zone géographique bien définie. Dans ces circonstances, cette région ou « bassin atmosphérique » se rapproche de très près de la définition de « bassin hydrographique » donnée plus haut. C'est dans ce contexte que l'expression est employée dans la présente étude.

Le bassin atmosphérique du bassin de Georgia comprend la portion canadienne du bassin atmosphérique du bassin de Georgia/Puget Sound, le comté de Whatcom et le comté de San Juan dans l'État de Washington et le sud de la côte du détroit de Juan de Fuca. À noter que la limite sud du bassin atmosphérique du bassin de Georgia inclut les terrains élevés du nord des Cascades. Le bassin atmosphérique du Puget Sound englobe les comtés situés au sud du comté de Whatcom (voir figure 1.1). La vallée du bas Fraser et l'extrémité sud du détroit de Haro, situé à l'extrême-est du détroit de Juan de Fuca, sont une importante région de transport international des polluants en suspension dans l'air. La présente étude ne porte pas sur toutes les caractéristiques atmosphériques de cette région, mais sur celles qui influent le plus sur la

qualité de l'air. D'autres propriétés de l'atmosphère qui jouent un grand rôle dans la qualité de l'air sont présentées par souci d'exhaustivité, mais pas en détail.

L'étude cible trois grands éléments de la pollution atmosphérique : l'ozone troposphérique (ozone), les particules fines (PM) et la visibilité. Ces éléments non seulement sont des sujets de préoccupation pour le public, mais ont également un rapport avec des questions stratégiques bien précises comme la mise en œuvre des standards pancanadiens, celle des nouvelles normes sur la qualité de l'air de l'Environmental Protection Agency des États-Unis visant les PM et l'ozone et la *Regional Haze Rule* des États-Unis.

Facteurs qui influent sur la qualité de l'air

La qualité de l'air dépend de deux facteurs essentiels : l'émission de substances chimiques dans l'atmosphère et les conditions atmosphériques qui transportent, transforment, dispersent et déposent ces polluants en suspension. Les émissions de polluants atmosphériques proviennent de deux grandes sources : les sources anthropiques (c.-à-d. résultant de l'activité humaine) et les sources naturelles. Les sources anthropiques sont souvent faciles à identifier; les émissions naturelles, plus difficiles à quantifier, contribuent néanmoins pour beaucoup à l'inventaire total des émissions du bassin atmosphérique. Les émissions anthropiques proviennent par ailleurs de sources ponctuelles, dispersées et mobiles, alors que les émissions naturelles proviennent essentiellement de sources dispersées.

Sources anthropiques

Les émissions anthropiques se concentrent en général dans les secteurs où la croissance démographique a dominé le paysage, comme les agglomérations de Seattle, Vancouver, Tacoma et Victoria. Les grands complexes industriels associés à l'industrie pétrolière, les installations portuaires et les usines manufacturières sont des exemples de sources ponctuelles de polluants. Les petites entreprises comme les nettoyeurs à sec et les ateliers de carrosserie, le chauffage domestique (dont les poêles à bois) et les feux en plein air sont des exemples de sources dispersées. Ces types de petites sources multiples sont particulièrement importants pour l'inventaire des émissions dans les quartiers résidentiels et les banlieues. Les émissions attribuables aux pratiques agricoles et forestières comme les poussières soulevées par le vent et résultant du travail du sol, l'ammoniac qui se dégage des déjections animales et le brûlage dirigé des débris végétaux font également partie des sources dispersées et peuvent grandement contribuer à l'inventaire total. Les sources mobiles d'émissions anthropiques englobent les véhicules automobiles, les véhicules tout-terrains, les trains, les navires et les aéronefs. Le milieu scientifique recherche toujours la méthode appropriée pour le calcul des émissions des poussières routières, les estimations variant grandement selon la méthode utilisée. C'est pourquoi les poussières routières résultant de la conduite automobile restent la source d'émissions la plus difficile à quantifier dans ce groupe.

Sources naturelles

Les sources naturelles de substances chimiques atmosphériques sont très importantes pour l'inventaire global des émissions et pour comprendre la qualité de l'air dans le bassin. La principale source d'émissions naturelles est la végétation, en particulier les arbres. Aussi bien les arbres à feuilles caduques que les résineux produisent des substances chimiques sous forme de gaz. La quantité émise dépend du moment de l'année et des conditions

météorologiques locales. Au printemps, lorsque le ciel est dégagé et qu'il fait chaud, les arbres produisent chaque jour plusieurs tonnes d'émissions gazeuses (Moran et Makar, 2001). Parmi les autres grandes sources d'émissions naturelles figurent les zones marines et les marais.



Figure 1.1. Bassin atmosphérique du bassin de Georgia/Puget Sound, avec les limites des bassins atmosphériques du Puget Sound et du bassin de Georgia

TRADUCTION DE LA FIGURE 1.1

Pacific Ocean	Océan Pacifique
Georgia Basin	Bassin de Georgia
Georgia Strait	Détroit de Georgia
Fraser Valley	Vallée du Fraser
Greater Vancouver	Agglomération de Vancouver
Strait of Juan de Fuca	Détroit de Juan de Fuca
Fraser River	Fleuve Fraser
kilometers	kilomètres

Conditions atmosphériques

Les caractéristiques de l'atmosphère et les conditions météorologiques qui déterminent le transport, la dispersion et le dépôt des substances chimiques en suspension subissent fortement l'influence de la topographie du bassin. L'étude se concentre sur les conditions météorologiques qui régissent le devenir des polluants atmosphériques. D'autres facteurs météorologiques propres à la région sont mentionnés, mais uniquement dans la mesure où ils sont liés à la qualité de l'air.

Le bassin de Georgia est dominé par l'axe ouest-est de la vallée du bas Fraser, l'axe nord-ouest/sud-est du détroit de Georgia et l'axe ouest-est du détroit de Juan de Fuca. Cet état de chose tranche nettement avec l'axe nord-sud bien défini du bassin atmosphérique du Puget Sound. La partie sud du bassin atmosphérique du Puget Sound est affectée par l'air arrivant du Pacifique par le passage de Chehalis. Les deux bassins atmosphériques subissent l'influence de l'air qui circule dans les vallées « tributaires » et des versants des montagnes.

Les sources de pollution sont bien connues dans le bassin atmosphérique du bassin de Georgia/Puget Sound, même si le volume exact des émissions de chaque source n'est pas documenté avec précision. Les interactions des substances chimiques rejetées dans l'atmosphère continuent d'être étudiées, tout comme les processus qui influent sur le devenir des polluants en suspension. Toutefois, diverses instances du Bassin ont appliqué des normes et des objectifs sur la qualité de l'air pour évaluer la pollution atmosphérique. C'est précisément par rapport à l'ensemble actuel de normes et d'objectifs et à celui dont on prévoit l'utilisation future qu'est évaluée ici la région du bassin de Georgia/Puget Sound.

Guide du rapport

Cette étude est divisée en un certain nombre de parties, chacune traitant d'un élément de la qualité de l'air dans le Bassin. La section 2, « Qu'est-ce que la qualité de l'air? », présente des notions fondamentales de météorologie, les inventaires des émissions, ainsi que les normes et les objectifs relatifs à la qualité de l'air ambiant et à la qualité de l'air. La section 3 analyse les facteurs naturels et humains qui jouent un rôle importants dans le rejet, le transport et la dispersion des polluants en suspension. Les détails des émissions et des inventaires d'émissions sont abordés à la section 4. « La qualité de l'air ambiant », qui constitue la section 5, représente « l'âme » de l'étude, traitant en détail de la formation de l'ozone, des particules fines secondaires et de la visibilité. Les aspects socio-économiques de la qualité de l'air dans le bassin atmosphérique sont présentés à la section 6. La section 7 est en quelque sorte une synthèse de l'étude, puisqu'elle examine l'état actuel des connaissances sur la qualité de l'air dans le Bassin. L'importance du transport transfrontalier est illustrée à

la section 8, juste avant les sections finales qui font état des principales constatations et implications scientifiques.

Bibliographie

Moran, M.D., et P.A. Makar, 2001. Chapitre 3 : La nature des sources d'émissions. *In* Contribution des précurseurs aux particules fines présentes dans l'air ambiant au Canada. Environnement Canada, Service météorologique du Canada, Direction des sciences atmosphériques et climatiques, 327 p.

2. Qu'est-ce que la qualité de l'air?

La qualité de l'air est le résultat de plusieurs processus. Les substances chimiques d'origine humaine et naturelle sont transformées, transportées, dispersées et absorbées par des processus atmosphériques. Nous analyserons ici les facteurs qui se conjuguent pour déterminer la qualité de l'air, les effets des substances chimiques en suspension ont sur la santé de l'homme, la visibilité et d'autres récepteurs dans l'environnement, de même que l'utilisation de normes et de lignes directrices sur la qualité de l'air pour évaluer la qualité de l'air dans différentes instances et entre elles.

L'air déplace et disperse les substances chimiques en suspension, d'où l'importance critique de la circulation atmosphérique pour comprendre la qualité de l'air. La façon dont l'air s'écoule à travers et autour d'accidents topographiques détermine souvent les concentrations de pollution atmosphérique en différents endroits d'un bassin atmosphérique. Les régimes météorologiques qui amènent des vents légers ou des conditions calmes présentent un intérêt particulier pour l'étude de la qualité de l'air, car ils favorisent l'augmentation des concentrations de polluants atmosphériques. Pour amorcer une analyse de la circulation de l'air dans le bassin atmosphérique du bassin de Georgia/Puget Sound, il faut commencer par comprendre les régimes météorologiques généraux qui influent sur le nord de la côte du Pacifique.

Régimes météorologique sur le nord de la côte du Pacifique

Les raisons des déplacements planétaires des systèmes météorologiques et des masses d'air qui les accompagnent sont complexes. Les écarts de température entre l'équateur et les pôles influent sur la façon dont la Terre tourne sur son axe incliné, ce qui entraîne un mouvement général d'air d'ouest en est aux latitudes tempérées. Cette vue très simpliste de la circulation atmosphérique est compliquée par les changements de saison, les masses continentales et les variations dans les températures de la surface de la mer.

Généralement parlant, les régimes météorologiques qui affectent le nord de la côte du Pacifique viennent de l'ouest (Phillips, 1990), mais ils peuvent également venir du sud-ouest ou du nord-ouest, selon la saison. La fréquence des événements dépend aussi du moment de l'année. Le principal facteur qui détermine le sens de l'approche et sa fréquence est la « trajectoire des tempêtes » ou « courant-jet », une bande de vents bien définie dans les couches moyennes de l'atmosphère. La trajectoire des tempêtes se déplace vers le nord et le sud avec les fluctuations des configurations barométriques (voir figures 2.1 et 2.2), et ce déplacement détermine la fréquence à laquelle les régimes météorologiques affectent la région.

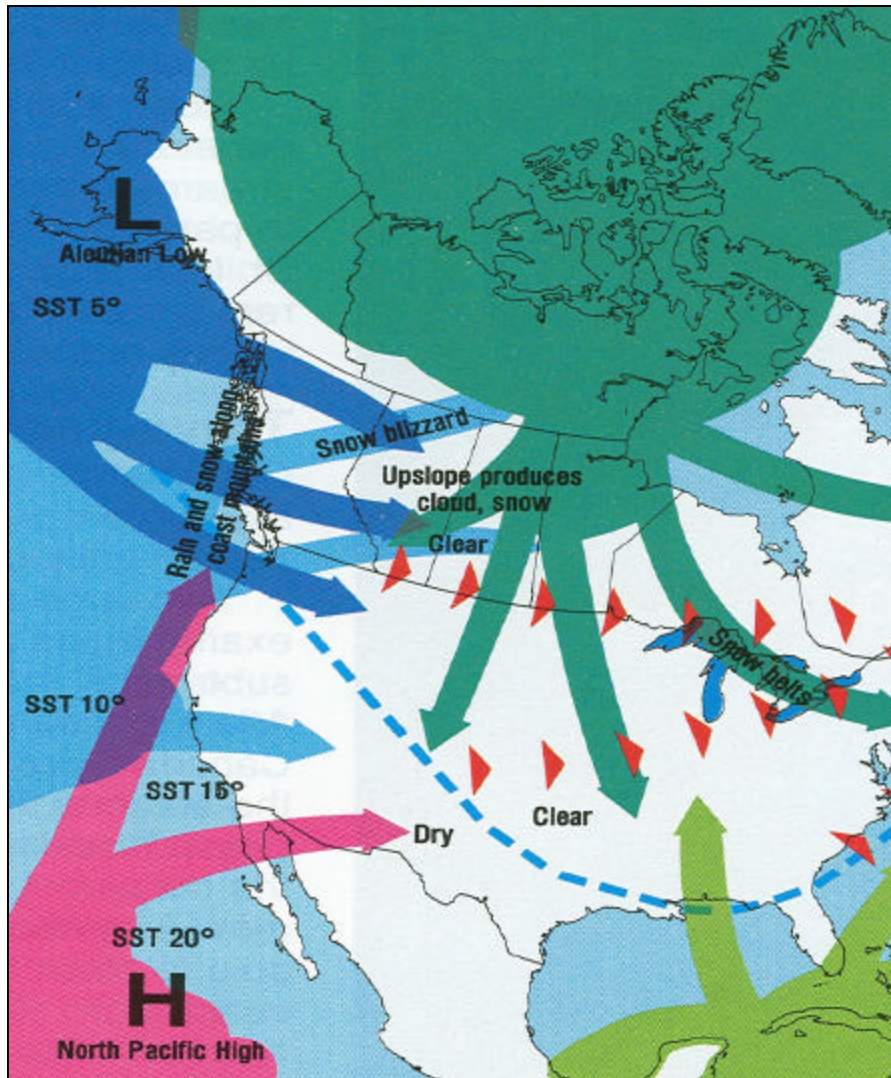


Figure 2.1. Masses d'air l'hiver et circulation au-dessus de l'Amérique du Nord (Phillips, 1990)

TRADUCTION DE LA FIGURE 2.1

Aleutian Low	Dépression des Aléoutiennes
Rain and snow...	Pluie et neige le long des chaînes du littoral
Upslope produces cloud...	Écoulement ascendant produisant des nuages, de la neige
Clear	Dégagé
Dry	Sec
Snow belts	Zones de neige
North Pacific High	Anticyclone du Pacifique-Nord

La dépression des Aléoutiennes et l'anticyclone subtropical sont des déterminants importants de la position de la trajectoire des tempêtes sur le nord de la côte du Pacifique. L'anticyclone subtropical domine en été, repoussant la trajectoire des tempêtes vers le nord de la région et déplaçant vers le centre de la Colombie-Britannique les régimes météorologiques actifs en provenance du Pacifique. À la fin de l'été, l'anticyclone subtropical réagit au refroidissement

des températures océaniques et commence à se déplacer vers le sud, et la dépression des Aléoutiennes devient l'élément majeur. La trajectoire des tempêtes commence à se déplacer vers le sud à l'automne, ce qui permet aux régimes météorologiques en provenance du Pacifique de traverser la région. De la fin novembre au mois de mars, la trajectoire des tempêtes est au sud, ce qui expose le nord de la côte du Pacifique à des masses d'air plus froides et humides. L'hiver, quand les tempêtes se déplacent vers le sud, l'air arctique plus froid est parfois refoulé de l'intérieur vers les régions côtières. Le retour de la chaleur du Soleil au printemps permet à l'anticyclone subtropical de reprendre de la force et de repousser vers le nord la trajectoire des tempêtes. C'est durant cette partie du cycle annuel de la trajectoire des tempêtes que les masses d'air franchissent le Pacifique, atteignant le nord de la côte du Pacifique en trois à cinq jours. La circulation que l'on observe en avril et en mai amène avec elle des polluants et d'autres substances en suspension en provenance d'Eurasie. Le déplacement alternatif de la trajectoire des tempêtes vers le nord et le sud du nord de la côte du Pacifique joue un rôle important dans la fréquence et la durée des grands systèmes météorologiques qui, à leur tour, déterminent la façon dont les courants de vent locaux se développeront et disperseront la pollution atmosphérique dans la région.



Figure 2.2. Masse d'air l'été et circulation au-dessus de l'Amérique du Nord (Phillips, 1990)

Hot and humid = Chaud et humide

Même si les tempêtes et les périodes d'accalmie peuvent survenir à n'importe quelle saison, l'activité météorologique est plus grande au printemps et à l'automne, et l'hiver et l'été sont des périodes plus tranquilles.

Il est important de déterminer de quelle façon le bassin atmosphérique du bassin de Georgia/Puget Sound réagit aux régimes météorologiques de grande échelle à mesure qu'ils approchent du nord de la côte du Pacifique. Les vents des basses couches de l'atmosphère (de la surface à environ 1 500 mètres d'altitude) réagissent au passage de ces systèmes météorologiques. La vitesse et la direction du vent dépendent de la topographie locale et de la pression atmosphérique. Dans le bassin de Georgia, les systèmes qui arrivent du sud-ouest font que les vents sortent de la vallée du bas Fraser et des secteurs maritimes en direction du système qui arrive. Cela provoque des vents sortants d'est dans de nombreux secteurs, qui sont accompagnés de vents de nord-ouest à nord-est dans le détroit de Georgia. À mesure que le système se déplace de la côte vers l'intérieur, les vents tournent alors à l'ouest et au nord-ouest.

Le bassin atmosphérique du Puget Sound réagit de façon radicalement différente. Les vents d'ouest à sud-ouest s'engouffrent dans le bassin atmosphérique par le passage de Chehalis et se conjuguent aux vents du sud qui prédominent dans la région du Puget Sound. Des vents sortants d'est provenant des vallées tributaires soufflent sur l'est du Sound. À mesure que le système poursuit sa route vers l'est, les vents dans le Sound tournent au nord et au nord-ouest et, dans les vallées tributaires, les vents sont d'ouest. Un système météorologique gagnant la côte par le nord-ouest aura un impact différent sur les vents locaux dans le Puget Sound et dans le bassin de Georgia. Dans le Puget Sound, le flux demeurera d'est à sud-est dans beaucoup des vallées alors que, dans le bassin de Georgia, les vents soufflant dans le détroit de Georgia seront du sud-est, tournant à l'ouest dans le détroit de Juan de Fuca. On trouvera une analyse plus fouillée de ces régimes de circulation du vent dans Lange (1998).

Il est fréquent d'avoir des périodes de stagnation en été et en hiver, d'où l'importance de ces saisons pour l'étude de l'ozone, des particules fines et de la visibilité. Durant ces deux saisons, il se peut que les vents soient légers et variables, lorsque la trajectoire des tempêtes se trouve soit au nord soit au sud de la région. L'hiver, ces périodes de relative accalmie permettent aux masses d'air arctique froid de se déplacer de l'intérieur vers l'ouest. L'air arctique froid provoque des conditions de stagnation avec de fortes inversions thermiques dans beaucoup des vallées. Lorsque ces conditions se conjuguent au déplacement d'un système météorologique plus important en provenance du Pacifique, de forts vents d'est peuvent se lever. L'été est dominé par des anticyclones sur l'est de l'océan Pacifique et souvent sur le nord de la côte du Pacifique. C'est au cours de ces périodes, lorsque le bassin de Georgia et le Puget Sound sont sous l'influence de hautes pressions atmosphériques, que l'écoulement de l'air dans les deux bassins atmosphériques est réduit à des circulations localisées. Les inversions thermiques sont alors courantes. La trajectoire des tempêtes est loin au nord, et fait dévier les systèmes météorologiques vers l'Alaska et le nord de la Colombie-Britannique. Ce sont ces périodes de vents légers et de fortes inversions thermiques qui provoquent les phénomènes les plus extrêmes de pollution atmosphérique dans le nord de la côte du Pacifique.

Il y a des périodes où le nord de la côte du Pacifique, ou certaines parties de la région ne subissent pas l'influence des systèmes météorologiques qui suivent la trajectoire des tempêtes. À ces moments-là, la configuration locale des courants atmosphériques devient très importante, et détermine la direction et la vitesse du vent. Les vents de pente ascendants et descendants et les brises soufflant de la mer vers la terre sont deux types de courants locaux provoqués par la conjonction de la topographie locale et à des variations de température. La majeure partie du bassin de Georgia et du Puget Sound subit l'influence des terrains montagneux où le vent est canalisé dans les vallées. Le mouvement diurne du Soleil crée des écarts de température qui font que l'air s'élève dans une région et descend dans une autre.

La majeure partie de l'année, le régime des vents change constamment en réaction aux systèmes météorologiques décrits ci-dessus. C'est alors que les polluants atmosphériques sont transportés depuis le bassin atmosphérique du bassin de Georgia jusqu'à celui du Puget Sound, et vice-versa. Les vents qui transportent le mieux les polluants sont ceux des couches inférieures de l'atmosphère à une altitude inférieure à environ 1 500 mètres. Cette circulation permet le libre mouvement des polluants depuis les sources d'émissions jusqu'aux régions réceptrices, et n'est limitée que par la topographie locale. Si l'on revient à la figure 1.1, le secteur situé à l'extrémité nord du Puget Sound, délimité au nord par le détroit de Haro et à l'est et à l'ouest par un relief élevé (supérieur à 1 500 mètres), constitue le portail de l'échange de polluants atmosphériques entre les bassins atmosphériques du Puget Sound et du bassin de Georgia. La circulation des vents dans et entre les bassins atmosphériques est démontrée par l'emploi de trajectoires, qui illustrent les trajets empruntés par les particules d'air pour arriver à une région réceptrice donnée. Une analyse des trajectoires à l'aide du modèle météorologique à mésoéchelle (MM5) (Bowman, 2003) illustre la circulation de l'air autour des monts Olympus et par le portail du Puget Sound.

Sources d'émissions

La qualité de l'air dans le bassin atmosphérique du bassin de Georgia/Puget Sound est également régie par l'intensité et l'emplacement des sources de pollution. Il y a de nombreuses sources de polluants dans le Bassin; certaines sont naturelles, mais la plupart sont humaines et qualifiées d'émissions anthropiques. Les émissions naturelles de substances chimiques dans l'atmosphère proviennent de la végétation, des milieux humides, de l'océan, des volcans, des matières crustales exposées, des cheminées tectoniques et des feux de friche (de forêt).

Principaux contaminants atmosphériques

Les polluants atmosphériques désignés sous l'appellation de principaux contaminants atmosphériques (PCA) au Canada et de « criteria pollutants » aux États-Unis sont les oxydes de soufre (SO_x), les oxydes d'azote (NO_x), l'ozone (O_3), le monoxyde de carbone (CO) et les particules fines (PM). Il a été prouvé que ces polluants endommagent la végétation et suscitent des préoccupations pour la santé de l'homme. Parmi les autres polluants figure l'ammoniac (NH_3), qui est considéré comme toxique et entre dans la formation des PM. Les particules peuvent contenir des métaux lourds comme de l'arsenic et du plomb. Les composés organiques volatils (COV) sont un groupe de substances chimiques qui réagissent avec d'autres polluants atmosphériques pour former de l' O_3 , des PM et d'autres composés « secondaires ». Les COV comprennent également les polluants organiques persistants (POP) en suspension, qui sont d'autant plus préoccupants qu'ils se bioaccumulent dans les organismes vivants. Le climat de la planète est affecté par les gaz à effet de serre (GES), dont le dioxyde de carbone (CO_2), le méthane (CH_4), l'hémioxyde d'azote (N_2O), l'ozone (O_3), l'ammoniac (NH_3) et d'autres.

Dans le bassin atmosphérique du bassin de Georgia/Puget Sound, les principaux polluants atmosphériques d'intérêt sont l'ozone et les particules fines. L'ozone est préjudiciable à la santé de l'homme et cause des dégâts à la végétation et aux ouvrages matériels. Les particules fines sont responsables d'affections respiratoires et d'autres problèmes de santé, et réduisent la visibilité. C'est pourquoi l'ozone, les PM et la visibilité constituent les trois principales questions de qualité de l'air dans le Bassin.

Les émissions atmosphériques sont inventoriées régulièrement afin de comprendre la teneur en polluants de ces rejets et l'évolution temporelle des émissions qui y sont associées. On mesure la qualité de l'air pour illustrer le devenir des émissions à mesure que les polluants sont transportés, transformés, dispersés et absorbés par l'atmosphère. Dès qu'une substance chimique est injectée dans l'air, les processus atmosphériques commencent à régir son devenir. Certains polluants demeurent inchangés et sont extraits de l'atmosphère par les courants aériens ou les précipitations, ce qui pollue souvent les milieux récepteurs comme l'eau ou les sols. D'autres substances chimiques peuvent être modifiées par des processus physiques ou des réactions chimiques et donner naissance à un composé différent. C'est ce qui se passe lorsque les NO_x et les COV réagissent en présence de la lumière du Soleil pour former de l'O₃.

On sait que les PCA sont préjudiciables à l'environnement et à la santé. Bates et Vedal (2002) décrivent en détail l'état actuel des connaissances sur les conséquences pour la santé des polluants atmosphériques, notamment des PCA. L'un des éléments les plus importants de cette question tient au fait que de très faibles concentrations de polluants atmosphériques peuvent avoir des effets graves sur certains membres vulnérables de la population, comme les asthmatiques et les personnes qui souffrent de maladie respiratoire obstructive chronique. Les auteurs de ce rapport constatent aussi que les normes et objectifs actuels visant la qualité de l'air ne font rien pour protéger la santé de l'homme, et d'autres recherches montrent qu'ils ne protègent pas non plus la santé des écosystèmes.

Normes relatives à la qualité de l'air

Il a été établi des normes, des objectifs et des lignes directrices pour évaluer les concentrations relatives de polluants atmosphériques dans les bassins atmosphériques. Il est important d'identifier les polluants qui atteignent des concentrations justifiant l'adoption de mesures de limitation. Avec des concentrations préétablies, on peut comparer les bassins atmosphériques et les secteurs dans ces bassins. Les normes nationales sur la qualité de l'air ambiant au Canada et aux États-Unis sont illustrées aux tableaux 2.1 et 2.2.

Tableau 2.1. Normes et objectifs de qualité de l'air pour l'ozone utilisés par les instances dans le bassin atmosphérique du bassin de Georgia/Puget Sound

Organisme	Période de moyennage	Actuellement		
Canada ONQAA	1 heure	82 ppb	-	Ozone
	24 heures	25 ppb	-	
	Annuelle	15 ppb	-	
NPC	8 heures	-	65 ppb*	
Objectif provincial de la C.-B.	-	-	-	
EPA des É.-U. NAAQS	1 heure	120 ppb	-	
	8 heures	-	80 ppb*	

* Résultat reposant sur la moyenne sur trois ans du quatrième maximum quotidien annuel des concentrations sur huit heures.

Tableau 2.2. Normes et objectifs sur la qualité de l'air pour les particules fines utilisées par les instances dans le bassin atmosphérique du bassin de Georgia/Puget Sound

Organisme	Période de moyennage	Actuellement		
Canada ONQAA	24 heures	120 µg/m ³	-	TSPM
	Annuelle	70 µg/m ³	-	
C.-B.	24 heures	50 µg/m ³	-	PM ₁₀
	EPA des É.-U.	24 heures	150 µg/m ³	
	Annuelle	50 µg/m ³	50 µg/m ³	
NPC	24 heures	-	30 µg/m ^{3*}	PM _{2.5}
	EPA des É.-U.	24 heures	65 µg/m ^{3*}	
	Annuelle	-	15 µg/m ³	
Puget Sound Clean Air Agency**	24 heures	-	25 µg/m ³	
	Annuelle	-	15 µg/m ³	

* Résultat reposant sur la mesure ambiante du 98^e centile sur 24 heures chaque année, moyennée sur trois années consécutives.

** Objectif à ne jamais dépasser.

Les émissions de polluants peuvent résulter de l'activité humaine ou provenir de sources naturelles. Le devenir des émissions est déterminé dans une large mesure par l'atmosphère, qui est à son tour contrôlée par l'interaction des régimes météorologiques et de la topographie

locale. La section qui suit aborde les facteurs qui influent sur les concentrations de pollution atmosphérique.

Bibliographie

Bates, D.V., et S. Vedal. 2002. Chapitre 4 : Adverse Health Effects. *In* Guide du citoyen sur la pollution atmosphérique – Deuxième édition. Fondation David Suzuki, Vancouver (C.-B.). ISBN 0-9689731-2-4, 391 p.

Bowman, C. 2003. Washington State Department of Ecology. Comm. pers.

Hare, F.K., et M.K. Thomas. 1974. Climate Canada. Wiley Publishers of Canada Limited. ISBN 0-471-35143-1, 253 p.

Lange, O.S. 1998. The wind came all ways: a quest to understand the winds, waves and weather in the Georgia Basin. Environnement Canada. ISBN 0-660-17517-7, 122 p.

Phillips, D. 1990. Les climats du Canada. Environnement Canada. ISBN 0-660-13459-4, 159 p.

3. Facteurs régissant la qualité de l'air

La qualité de l'air est fonction des concentrations relatives de polluants atmosphériques présents à un moment donné. Ces concentrations dépendent de deux grands facteurs : les processus naturels et les processus anthropiques. Les processus naturels sont indépendants de la volonté de l'homme, et englobent les conditions météorologiques, les volcans, les poussières soulevées par le vent, les émissions de substances chimiques biosynthétiques et les feux de friche. Parmi ces facteurs ou processus, ce sont les conditions météorologiques qui sont le plus important et qui constitueront l'essentiel de cette section. Les régimes météorologiques régissent en effet le transport, la dispersion et l'absorption des substances chimiques en suspension.

Processus naturels : le temps

Dans la section 2 de ce rapport, « Qu'est-ce que la qualité de l'air? », nous avons donné un aperçu des régimes météorologiques et des processus qui influent sur le bassin atmosphérique du bassin de Georgia/Puget Sound. Il convient d'étudier ces processus naturels plus en détail pour bien comprendre les variations spatiales et temporelles des concentrations de polluants dans le périmètre du bassin atmosphérique.

Nous avons décrit plus haut comment les grands systèmes météorologiques s'approchent de la côte de l'État de Washington et de la Colombie-Britannique. Ces systèmes transportent des polluants atmosphériques sur de grandes distances. On a déjà vu que des substances chimiques en suspension provenant d'Eurasie et de Californie (Belzer, 1997) viennent aggraver la pollution dans le bassin. La trajectoire des polluants en provenance du Pacifique dépend du déplacement des systèmes météorologiques et de la position relative de la trajectoire des tempêtes. Ainsi, c'est au printemps, en particulier en avril et en mai, que la situation est surtout propice à la pénétration des polluants atmosphériques dans le bassin atmosphérique en provenance de l'ouest. La trajectoire des polluants provenant du sud (Californie) dépend elle aussi de la position des grands systèmes météorologiques, mais pas du moment de l'année. Les courants aériens peuvent changer à tout moment et offrir une voie à la pollution provenant du sud. Une situation analogue peut apporter des polluants atmosphériques du nord (Alaska, Yukon et certains secteurs de la Colombie-Britannique). Les polluants provenant de ces sources éloignées sont généralement bien dispersés au moment où ils arrivent dans le bassin atmosphérique, ce qui ajoute des quantités faibles, mais mesurables, aux concentrations de fond d'ozone et de particules (PM).

Le mouvement à court terme (à l'échelle des heures ou des jours) des polluants atmosphériques dans le Bassin est régi par la combinaison des systèmes météorologiques à grande échelle et du relief local. La géographie du Bassin englobe l'océan Pacifique, les détroits de Juan de Fuca et de Georgia et des chaînes de montagnes dont l'altitude dépasse largement les 1 500 mètres. En canalisant et en retenant les polluants atmosphériques, ces accidents naturels contribuent pour beaucoup au transport et au devenir des polluants atmosphériques.

Circulation de l'air dans le Puget Sound

Le Puget Sound a une orientation nord-sud; il est bordé à l'est par la chaîne des Cascades, qui peut atteindre entre 2 000 et 2 500 mètres et constitue un obstacle significatif parallèle au Sound, et par à l'ouest et au nord les monts Olympus, qui atteignent entre 1 500 et 2 000 mètres d'altitude. Les principales voies d'accès de l'air qui pénètre dans le Sound et qui le quitte sont le passage de Chehalis au sud-ouest et le détroit de Haro au nord. Les vallées tributaires qui entaillent la chaîne des Cascades jouent également un rôle important dans la circulation générale de l'air dans le Sound. L'air y circule en effet du nord au sud ou du sud au nord, régi par l'orographie locale et les écarts de température entre le centre et le sud du Sound. Les perturbations de ce régime d'écoulement sont dues à l'influence des grands systèmes météorologiques qui permettent à l'air maritime des bas niveaux de s'engouffrer vers l'intérieur de l'ouest de l'État de Washington par le passage de Chehalis et le détroit de Juan de Fuca. Le relief montagneux présente des pentes et des vallées qui contribuent à la complexité des flux d'air à mésoéchelle (Cokelet, 1991).

Ce sont les grands systèmes météorologiques qui s'approchent du littoral de l'État de Washington qui déterminent la circulation de l'air dans le Puget Sound. Les perturbations qui passent au nord de la région entraînent un flux d'air du sud dans le Puget Sound, l'air sortant par le détroit de Haro. À l'inverse, un système météorologique qui arrive sur la région par le sud entraîne un écoulement d'air du nord dans la majeure partie du Sound. Arrivant de l'ouest, les systèmes météorologiques du Pacifique créent des flux d'air de l'ouest qui s'engouffrent par le passage de Chehalis et le détroit de Juan de Fuca. Les monts Olympus font converger ces flux dans le Puget Sound, créant ainsi la « zone de convergence du Puget Sound », où l'air qui arrive du sud en empruntant le passage de Chehalis rencontre les flux du nord en provenance du détroit de Juan de Fuca et du détroit de Haro (Mass, 1981). Cette configuration des vents crée des voies complexes pour les sources de pollution locales.

Flux d'air dans le bassin de Georgia

La partie du bassin atmosphérique concernant le bassin de Georgia englobe une portion de la côte est et de l'extrémité sud de l'île de Vancouver, le détroit de Haro, le détroit de Georgia et la vallée du bas Fraser. Celle-ci est délimitée à l'ouest par le détroit de Georgia, au nord par la chaîne Côtière (montagnes du North Shore) et à l'est et au sud par la chaîne des Cascades. Le triangle formé par ces accidents géographiques renferme les districts régionaux de Vancouver et de la vallée du Fraser, et le comté de Whatcom dans l'État de Washington.

Le bassin de Georgia subit l'influence du passage des perturbations météorologiques en provenance du Pacifique d'une façon analogue à ce qui se passe dans le Puget Sound. Les systèmes météorologiques qui passent au nord de la région provoquent de forts vents dans les vallées de l'île de Vancouver, comme les « vents Qualicum ». Dans le détroit de Georgia, les vents soufflent du sud-est et sont alimentés par les courants provenant de la baie Howe et de la vallée du bas Fraser. Une perturbation météorologique qui gagne le sud de la région provoquera des vents sortant de la baie Howe et de la vallée du bas Fraser, alors que les vents dans le détroit de Georgia seront du nord-ouest. On trouvera une description détaillée de ces régimes de vent dans Lange (2003).

Circulation et concentration des polluants atmosphériques

Ce sont les régimes de temps provoquant des vents très légers dans le bassin de Georgia/Puget Sound qui sont les plus importants sur le plan de la pollution atmosphérique.

Ces régimes sont plus fréquents entre la fin du printemps et le début de l'automne qu'à tout autre moment de l'année. Une zone de haute pression se formera au-dessus du nord de la côte du Pacifique, généralement alimentée par une très faible circulation d'air en altitude. L'absence d'une bonne circulation d'air favorise le développement de brises de terre/mer et de vents de pente. Les brises de terre/mer, causées par les écarts de température entre la terre et l'eau, créent un afflux d'air provenant de l'eau qui débute au milieu de la matinée et se poursuit jusqu'au milieu de l'après-midi, avant de se transformer en une sortie d'air aux petites heures du matin. Le flux d'air le long des pentes des vallées est un autre important régime de circulation attribuable au réchauffement différentiel des pentes. Ces vents légers et variables peuvent durer plusieurs jours. Ils s'accompagnent d'une inversion thermique qui piège efficacement l'air près de la surface sur de très vastes parties du bassin atmosphérique.

Plusieurs fois par hiver, des vents sortants provoquent un afflux d'air arctique froid des régions de l'intérieur vers les régions côtières via les vallées des montagnes. Ce phénomène est beaucoup plus fréquent dans la partie vallée du bas Fraser du bassin atmosphérique du bassin de Georgia que dans d'autres régions. Une crête de haute pression se forme sur l'intérieur de la Colombie-Britannique et de l'État de Washington, créant un gradient de pression en surface qui entraîne un vent soufflant de la terre vers la mer. Dans l'est de la vallée du bas Fraser, les vents sortants sont suffisamment forts pour soulever des particules de sol et de sable, créant des concentrations de PM qui dépassent les normes de pollution atmosphérique; ces conditions de vents sortants peuvent durer de deux à trois jours.

Même si les périodes de vents légers et variables entraînent une mauvaise qualité de l'air, des vents plus forts parviennent également très bien à transporter des polluants atmosphériques d'un secteur à l'autre. C'est pourquoi tous les régimes de temps sont importants lorsqu'on étudie l'impact de la qualité de l'air dans le bassin atmosphérique du bassin de Georgia/Puget Sound.

Les vents légers et variables sont souvent associés à une crête barométrique en altitude et à de très faibles gradients de pression à la surface. Lorsqu'ils se combinent à des inversions thermiques, ils provoquent un régime météorologique stagnant, et peuvent entraîner une baisse de la qualité de l'air. Cette situation peut durer plusieurs jours, particulièrement l'été et l'hiver, isolant certaines parties du Bassin en bassins atmosphériques nettement définis.

Les régimes stagnants affectent souvent simultanément les bassins atmosphériques du bassin de Georgia et du Puget Sound. Une crête en altitude se déplace au-dessus du Bassin, créant des vents légers en surface attribuables à des gradients de pression très faibles dans tout le Bassin. Les périodes de stagnation estivales sont associées à un « creux thermique » qui s'établit sous un ciel dégagé et par fort réchauffement solaire. Ce phénomène de surface élimine les brises de terre/mer dans la vallée du bas Fraser et le Puget Sound. La brise caractéristique qui souffle du nord au sud dans le Puget Sound s'interrompt elle aussi, créant une situation de calme quasi total (Steenburgh, 1996) qui permet une élévation des températures de surface. Un gradient de pression vers la mer attire l'air au-dessus de la chaîne des Cascades, ce qui provoque une inversion de subsidence au-dessus du bassin atmosphérique du Puget Sound, et piège les polluants. Dans la vallée du bas Fraser, un ensemble analogue de phénomènes météorologiques interrompt les brises de terre/mer, mais, du fait de l'orientation est-ouest de la vallée, l'inversion de subsidence est contrôlée par la crête en altitude. Ces régimes de temps presque identiques ont pour effet d'isoler l'un de l'autre les deux bassins atmosphériques. Les régimes de vent qui s'établissent durant ces périodes de stagnation ne permettent pas aux polluants atmosphériques de passer d'un bassin

à l'autre. L'interruption des brises de terre/mer dans le détroit de Georgia a également pour effet de dissocier le flux d'air en provenance de l'est de l'île de Vancouver.

Influence des régimes de temps sur l'ozone et les particules

Cette étude a ciblé les régimes de temps et les concentrations de pollution atmosphérique (O₃ et PM) en utilisant des méthodes statistiques pour déterminer les types de régimes qui causent des conditions de stagnation et une élévation des concentrations de polluants (Cannon *et al.*, 2002). L'analyse a été élargie pour déterminer la fréquence de survenue des divers cas de figure (*ibid.*). Les figures 3.1 et 3.2 illustrent respectivement les régimes en surface et en altitude, à des moments où les concentrations d'ozone étaient élevées et les concentrations de particules fines supérieures à la moyenne régionale. Ces régimes de temps concordent avec d'autres analyses mentionnées plus haut, qui ont identifié la présence d'une crête barométrique en altitude et des gradients de pression en surface très faibles. Ce régime de temps estival s'est produit à neuf reprises au cours des onze ans qu'a duré la période étudiée. L'analyse a examiné séparément les fortes concentrations d'ozone et de PM. Les régimes de temps étaient analogues à ceux des figures 3.1 et 3.2, mais leur fréquence d'occurrence ne l'était pas. Les fortes concentrations d'ozone durant les mois d'été étaient dues à des régimes de temps qui se sont produits à 78 reprises durant la période étudiée. Le régime qui a donné des PM, qui ne s'est produit que six fois, montre un centre de basse pression en surface qui se déplace vers l'ouest au large de la côte et d'un gradient vers la mer beaucoup plus puissant en altitude. Les régimes qui donnent des concentrations élevées de PM et des concentrations d'ozone supérieures à la moyenne régionale (soit l'inverse du premier cas décrit ci-dessus) se sont produits à 12 reprises, surtout au printemps et à l'automne.

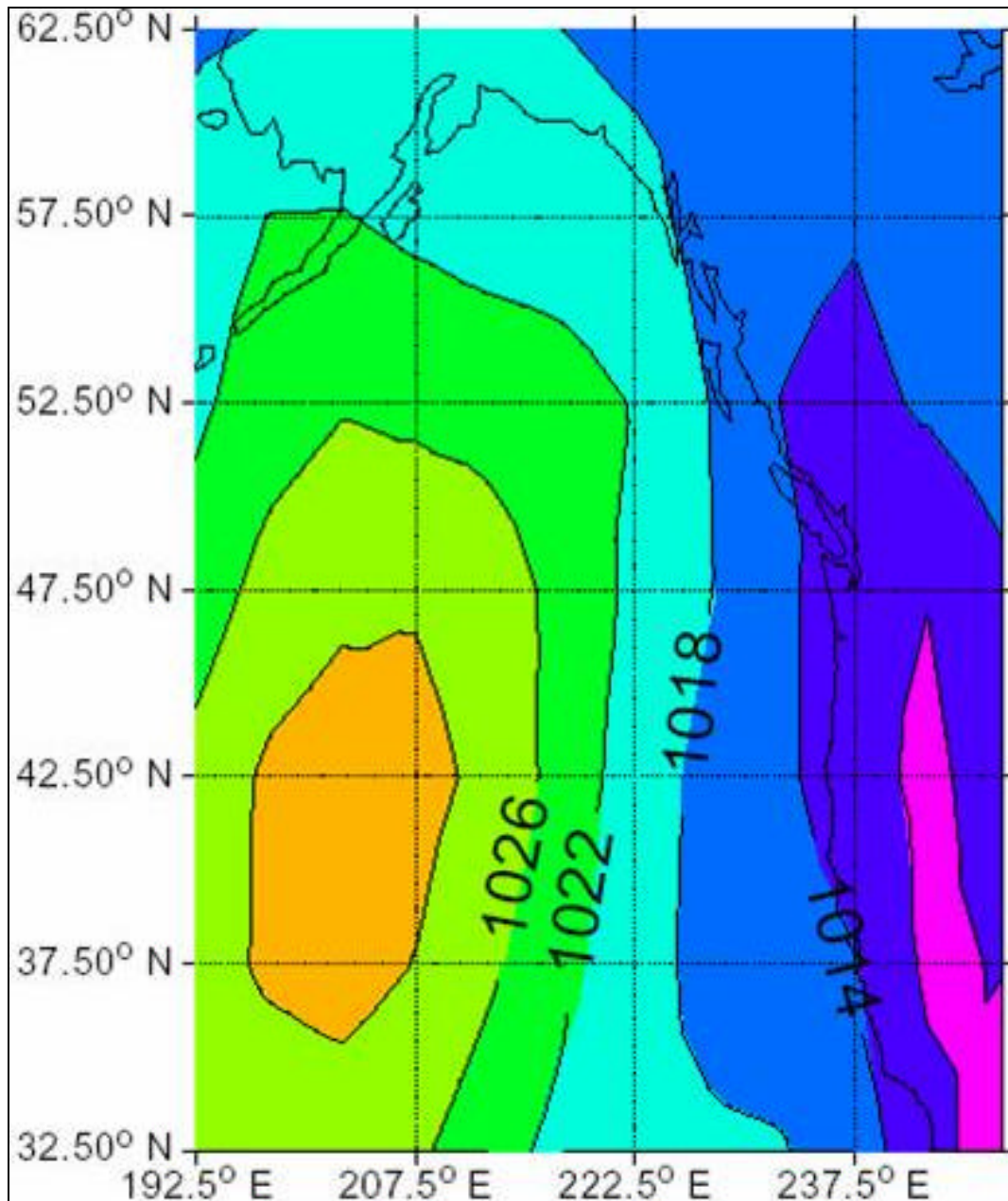


Figure 3.1. Configuration de la pression en surface (en millibars) lorsque les concentrations d’ozone sont élevées et les concentrations de PM supérieures à la moyenne régionale

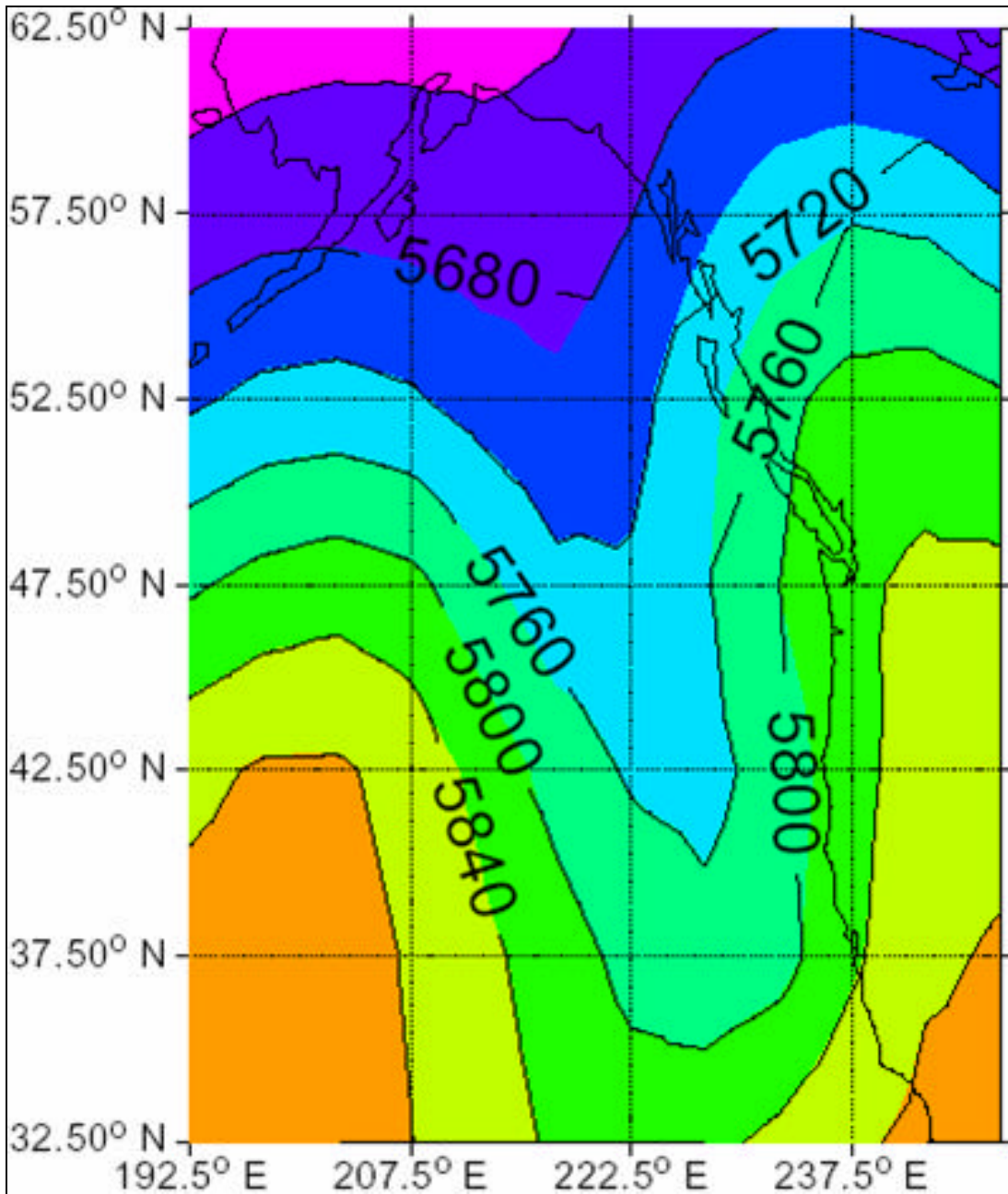


Figure 3.2. Configuration en altitude (hauteur de la surface 500 mb, en mètres) lorsque les concentrations d’ozone sont élevées et les concentrations de PM supérieures à la moyenne régionale

Processus naturels : émissions

Outre les régimes météorologiques, les émissions de sources naturelles comme la végétation et les feux de friche injectent des polluants atmosphériques dans l'atmosphère et influent sur la qualité de l'air. Parmi les sources naturelles et leurs émissions figurent :

- la végétation, les feux de friche et les milieux humides, qui représentent la plus forte contribution d'origine naturelle et produisent des composés organiques volatils;
- l'océan et les volcans, qui émettent des composés inorganiques réagissant avec la pollution atmosphérique anthropique pour produire des polluants secondaires comme l'ozone et les particules fines;
- les plans d'eau salée, qui émettent du soufre et du sodium, lesquels jouent également un rôle dans la formation de particules fines secondaires;
- les feux de friche, qui produisent de grandes quantités de particules fines, des oxydes d'azote et des composés organiques qui enveloppent parfois tout le Bassin.

Certains processus naturels présentent une variabilité saisonnière liée aux régimes de croissance; d'autres, comme les feux de friche, sont très variables dans le temps et dans l'espace; et quelques-uns sont spectaculaires mais rares, comme l'éruption du mont Saint-Helens, qui a rejeté d'importantes concentrations de SO₂ et d'autres polluants durant les années 1980. Ces émissions de sources naturelles sont présentées plus en détail à la section 4, « Émissions ».

Processus anthropiques : émissions

Les émissions dans l'atmosphère résultant de l'activité humaine proviennent généralement de sources ponctuelles, dispersées ou mobiles. Parmi les émissions anthropiques dans l'atmosphère figurent :

- la pollution industrielle attribuable à la combustion de combustibles fossiles ou de déchets ligneux pour produire de l'énergie; à la combustion des déchets municipaux, hospitaliers et dangereux; à l'utilisation de solvants et de revêtements dans les procédés de fabrication; à la fusion primaire et secondaire de l'aluminium et de l'acier; au raffinage du pétrole; à la fabrication de pâtes et papiers; à la production de bois d'œuvre et de contreplaqués; au transport des produits, etc.;
- la pollution due à des choix de mode de vie comme les transports; le chauffage domestique, dont les poêles à bois; la combustion des déchets à l'extérieur; et l'utilisation de pesticides;
- les émissions agricoles et sylvicoles, notamment l'ammoniac dégagé par les déjections animales, la fumée du brûlage dirigé des champs et des forêts, le sol entraîné à cause du travail du sol et de l'utilisation de pesticides.

Les émissions anthropiques peuvent également présenter des fluctuations saisonnières, hebdomadaires et diurnes. Par exemple, les émissions de particules des poêles à bois prédominent l'hiver, alors que le brûlage agricole est particulièrement important l'été et l'automne. Les émissions de sources mobiles affichent des pics le matin et le soir, qui correspondent aux heures de pointe.

Les inventaires des émissions de chaque type de source sont évalués et archivés au moins tous les cinq ans par des organismes gouvernementaux. Ils servent à évaluer l'importance relative des sources d'émissions et fournissent de précieuses données pour l'application des modèles informatiques de la qualité de l'air. On trouvera des précisions sur les inventaires des émissions à la section 4, « Émissions ».

Bibliographie

Belzer, W., A. Poon et C. Evans. 1997. Atmospheric Concentrations of Agricultural Chemicals in the Lower Fraser Valley. Plan d'action du Fraser, rapport 1997-31. Environnement Canada, 1997, 20 p.

Cannon, A.J., P.H. Whitfield et E.R. Lord. 2002. Synoptic map-pattern classification using recursive partitioning and principal component analysis. *Mon. Wea. Rev.*, 130(5) : 1187-1206.

Cokelet, E.D. 1991. Axial and Cross-axial winter winds over Puget Sound. *Mon. Wea. Rev.*, 120 : 826-834.

Lange, O.S. 2003. Living with weather along the British Columbia coast: the veil of chaos. Environnement Canada. ISBN 0-660-18984-4, 198 p.

Mass, C. 1981. Topographically forced convergence in western Washington State. *Mon. Wea. Rev.*, 109 : 1335-1347.

Steenburgh, W.J., et C.F. Mass. C.F., 1996. Publication interne, Université de l'État de Washington.

4. Émissions

Pour surveiller les hausses et les baisses des émissions de polluants dans les bassins atmosphériques, il est nécessaire d'établir des inventaires des émissions et de les actualiser régulièrement. C'est ainsi que plusieurs inventaires et prévisions ont été établis pour le bassin atmosphérique du bassin de Georgia/Puget Sound, les méthodes utilisées étant généralement les mêmes des deux côtés de la frontière canado-américaine. Par exemple, les émissions des principaux contaminants atmosphériques (PCA) ont été inventoriées par les organismes canadien et américain pour 1995-1996, avec des prévisions jusqu'en 2018 pour l'État de Washington et jusqu'en 2020 pour la Colombie-Britannique. Par ailleurs, un inventaire des émissions en l'an 2000, qui comprend des prévisions jusqu'en 2025, a été établi pour la vallée du bas Fraser du bassin de Georgia.

Sources d'émissions

Pour inventorier les émissions, de nombreuses hypothèses sont formulées et différents modèles sont utilisés pour compenser l'absence de mesures réelles. En général, on estime les émissions à l'aide de coefficients d'émission tirés des données sur la source étudiée. Les inventaires sont subdivisés en trois types de sources distincts : ponctuelles, diffuses et mobiles.

- Les sources ponctuelles, généralement autorisées, sont des sources stationnaires qui rejettent des polluants dans l'atmosphère au-dessus d'un taux préétabli. Le type de source ponctuelle est identifié, et on indique les PCA émis. Cette information est combinée aux taux de production connus du site pour établir l'estimation des émissions. Toutes les estimations des principales sources reposent sur des enquêtes et des données réelles.
- Les sources diffuses sont plus petites, dispersées comme leur nom l'indique, et elles englobent les émissions causées par des processus anthropiques et naturels qui, ensemble, donnent des totaux importants. Parmi les sources diffuses figurent les émissions résidentielles, commerciales, industrielles légères, agricoles, ainsi que les émissions de défrichage et de remblai. Pour estimer les émissions d'une source diffuse, on prend les PCA émis par chacune des diverses activités et on les multiplie par le nombre de fois où chaque activité a lieu dans la région.
- Les émissions mobiles sont encore plus complexes à inventorier. Pour les sources routières, les estimations reposent sur plusieurs modèles informatiques qui calculent la distance parcourue et les vitesses de la circulation. Celles-ci sont alors combinées à la sortie d'un autre modèle (MOBILE) qui calcule les émissions des véhicules selon un certain nombre de scénarios différents. Pour les sources non routières et d'autres secteurs des transports, on estime certaines sources en se fondant sur un modèle (NONROAD), et pour d'autres selon une méthode analogue à celle utilisée pour les sources ponctuelles. Toutefois, il est parfois nécessaire d'estimer les heures et les conditions de conduite pour estimer les émissions.

L'emploi de ces méthodes soulève des questions sur les estimations réelles signalées pour diverses sources d'émissions. En outre, les niveaux projetés des émissions dépendent d'une diversité d'actions, dont certaines résultent de décisions politiques et d'autres de la croissance démographique et économique. L'objet de cette analyse n'est pas de cibler des volumes

d'émissions précis, mais plutôt de déterminer l'importance relative des sources d'émissions et de décrire les changements qui surviennent dans les niveaux d'émissions.

Dans cette étude, on a utilisé l'inventaire des émissions de 1996 pour le Puget Sound (Department of Ecology, 2001); dans le cas du bassin de Georgia, l'inventaire des émissions de 1995 pour l'île de Vancouver (Wakelin, 2003) a été conjugué à l'inventaire des émissions de 2000 pour la vallée du bas Fraser (GVRD, 2002). Les émissions totales signalées pour les principaux contaminants atmosphériques que sont les NO_x, le SO₂, les COV, le NH₃ et les PM s'élevaient respectivement à 831 et à 500 kilotonnes pour le Puget Sound et le bassin de Georgia. À noter que les émissions totales n'englobent pas le CO. Les émissions de monoxyde de carbone se sont chiffrées à 1 936 kilotonnes dans le Puget Sound en 1996 et à plus de 500 kilotonnes dans le bassin de Georgia. Les émissions de CO sont révélatrices du taux de combustion de combustibles fossiles dans les bassins atmosphériques et sont avant tout fonction du nombre de véhicules dans la région.

Les émissions génératrices de smog (NO_x, SO₂, COV, NH₃, PM₁₀ et PM_{2,5}) présentent un intérêt particulier et sont utilisées pour comparer les deux bassins atmosphériques (voir figures 4.1 et 4.2).

(Créé à l'origine en 1905 par Des Voeux, le terme « smog » désigne le brouillard naturel contaminé par des polluants industriels, soit un mélange de fumée et de brouillard. Aujourd'hui, c'est le terme couramment utilisé pour désigner la pollution atmosphérique problématique et essentiellement urbaine, avec ou sans brouillard « naturel »; toutefois, une certaine manifestation visible est presque toujours implicite.)

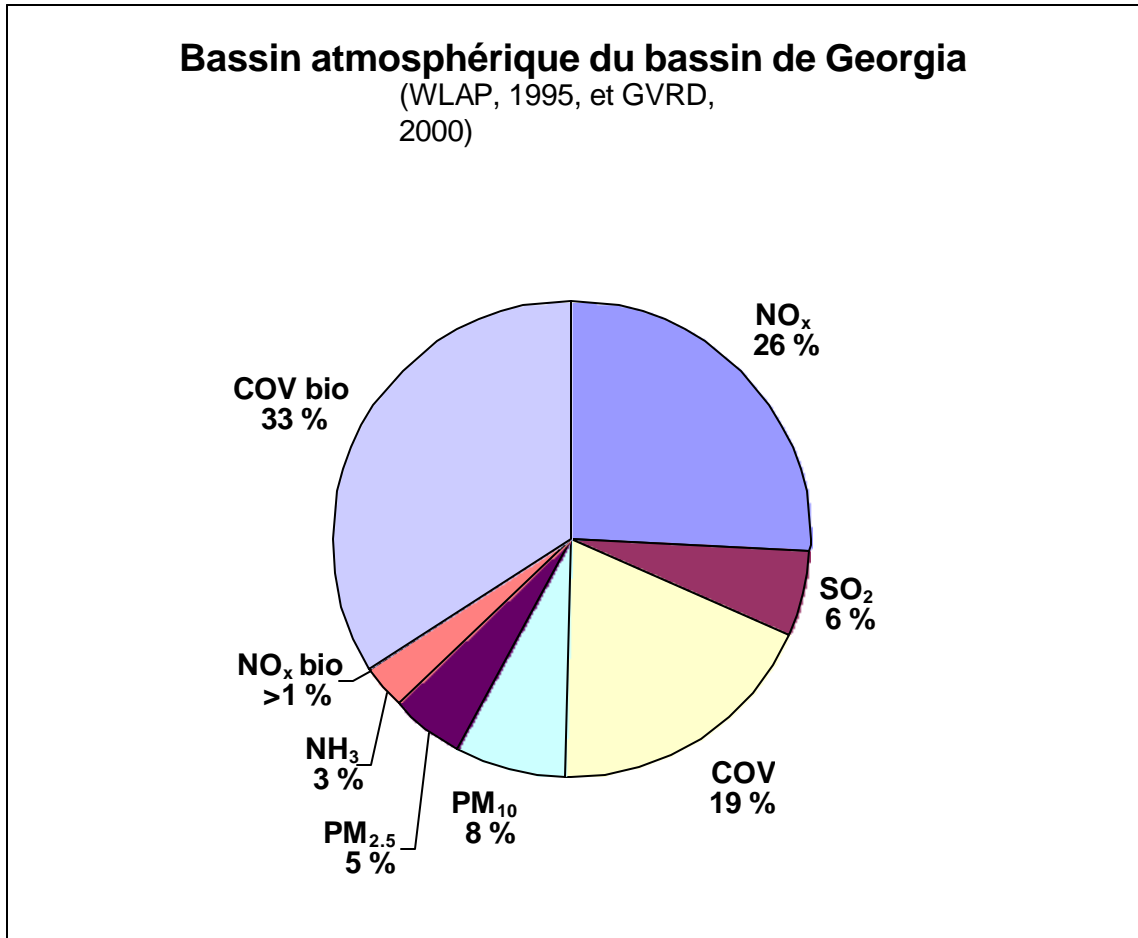


Figure 4.1. Inventaire des émissions de polluants atmosphériques dans le bassin atmosphérique du bassin de Georgia (Wakelin, 2003, et GVRD, 2002)

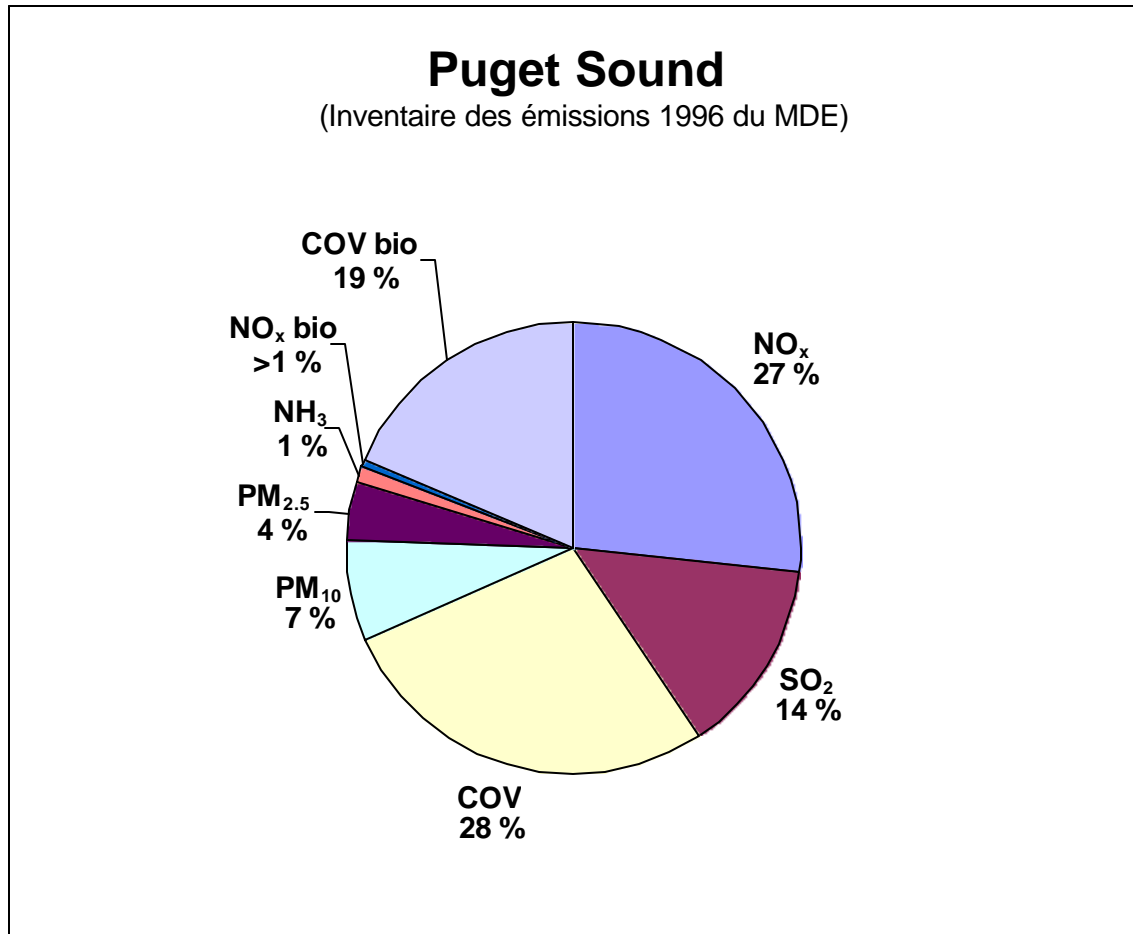


Figure 4.2. Inventaire des émissions de polluants atmosphériques dans le bassin atmosphérique du Puget Sound (Department of Ecology, 2001)

Les inventaires des émissions dans le Puget Sound et le bassin de Georgia présentent de nombreuses similitudes, les substances d'origine biologique (végétation), les NO_x et les COV représentant près des trois quarts des émissions. En termes relatifs, les émissions de substances d'origine biologique et de NH₃ représentent des parts plus importantes dans l'inventaire du bassin de Georgia que dans celui du Puget Sound. Les composés organiques volatils et le SO₂ constituent une plus grande part des émissions dans l'inventaire du Puget Sound (voir figures 4.1 et 4.2). Les émissions de PM₁₀ et de PM_{2.5} représentent des parts analogues dans les deux inventaires.

Toutefois, le tableau ainsi dressé ne relate qu'une partie de l'histoire des émissions. Dans chaque grand secteur de sources ou de catégorie de sources, il est fréquent qu'une source en particulier soit dominante. Le tableau 4.1 identifie les sources majeures d'émissions pour chacun des polluants. Ces sources sont importantes dans l'examen des orientations de politiques, et seront utiles pour analyser l'inventaire des émissions prévues.

Tableau 4.1. Secteurs d'émissions dominants pour les bassins atmosphériques du bassin de Georgia et du Puget Sound

Secteurs d'émissions dominants – 1996 (PS)/2000 (BG/VBF)		
Principal contaminant atmosphérique	Puget Sound	Bassin de Georgia (VBF)
NO _x	Véhicules routiers	Véhicules routiers Sources marines
COV	Véhicules routiers Sources naturelles	Véhicules routiers Évaporation de solvants Sources stationnaires Sources naturelles
SO ₂	Sources ponctuelles	Sources ponctuelles (produits pétroliers, métaux primaires) Sources marines
NH ₃	Agriculture	Agriculture*
PM ₁₀ **	Agriculture Poêles à bois et cheminées	Agriculture Transports (diesel)
PM _{2.5} **	Poêles à bois et cheminées	Transports (diesel)

* Tiré de l'inventaire de 2000.

** À l'exclusion des poussières routières.

L'inventaire des émissions le plus récent, établi en 2000, témoigne de l'amorce d'un changement dans les sources majeures dans le bassin atmosphérique du bassin de Georgia. Les navires concentrent 22 p. 100 des émissions de NO_x, contre 23 p. 100 pour les véhicules légers. Les navires sont la principale source de SO₂ dans le bassin atmosphérique, puisqu'ils émettent 33 p. 100 du SO₂. L'agriculture est la source dominante de PM₁₀ (21 p. 100), le chauffage localisé émettant pour sa part 20 p. 100 des PM_{2.5}.

L'inventaire de 2000 montre également que l'utilisation d'un seul élément auxiliaire (la population) pour comparer les niveaux d'émissions peut induire en erreur. Avec à peine 7 p. 100 de la population dans le bassin de Georgia, le comté de Whatcom est relativement peu peuplé, mais il compte plusieurs grandes industries et contribue pour 29 p. 100 aux émissions génératrices de smog. Par opposition, le district régional de Vancouver, avec 83 p. 100 de la population, en émet 56 p. 100, et le district régional de la vallée du Fraser, avec 10 p. 100 de la population, à peine 15 p. 100. Les poussières routières ont été analysées de façon très rigoureuse dans l'inventaire de la vallée du bas Fraser de 2000. C'est ainsi que la fraction de PM₁₀ et de PM_{2.5} attribuée aux poussières routières a nettement baissé par rapport aux inventaires antérieurs. Les estimations des émissions de poussières routières reposent sur une combinaison de mesures des poussières et d'une nouvelle méthode de l'Environmental Protection Agency (EPA) qui tient compte de l'effet des précipitations dans le calcul.

Prévisions des émissions

L'inventaire des émissions prévues en 2018, établi par le département de l'Écologie de l'État de Washington selon des estimations de la population, de la croissance économique et de la technologie futures, repose sur l'inventaire de 1996 (Department of Ecology, 2001). Des estimations comparables des émissions de la vallée du bas Fraser dans le bassin de Georgia ont

été établies par le district régional de Vancouver jusqu'en 2025 (GVRD, 2003). Pour les comparaisons, on utilisera les prévisions de 2020 relatives à la vallée du bas Fraser.

Pour inventorier les émissions prévues, on estime les émissions futures en prévoyant les changements de l'activité (croissance ou baisse) et en les combinant aux changements des taux d'émission ou des mesures de contrôle. Les prévisions évaluent les niveaux futurs des émissions dans l'atmosphère et les conséquences des mesures de réduction. Ces changements peuvent être modulés par les progrès technologiques, les règlements sur l'environnement, l'âge ou la dégradation des équipements et des véhicules, les formulations du carburant et d'autres facteurs. Les prévisions permettent d'évaluer des niveaux futurs d'émissions dans l'atmosphère qui reflètent les conséquences des mesures de réduction des émissions. C'est pourquoi il est impératif de savoir quelles stratégies de contrôle ont été envisagées dans les prévisions des émissions. Les hypothèses utilisées pour établir les émissions prévues dans le bassin atmosphérique du bassin de Georgia/Puget Sound se trouvent dans les documents du DRV (2003) et du département de l'Écologie (2001).

Prévisions pour le Puget Sound et le bassin de Georgia

Les émissions de polluants générateurs de smog dans l'ensemble du bassin atmosphérique du Puget Sound devraient baisser de 20 p. 100 entre 1996 et 2018, selon les inventaires et les prévisions actuels (voir figure 4.3). Les prévisions les plus récentes pour la vallée du bas Fraser dans le bassin de Georgia montrent des baisses analogues après 1996, mais la tendance ralentit, et les émissions génératrices de smog dans leur ensemble affichent de légères hausses après 2015 (voir figure 4.4).

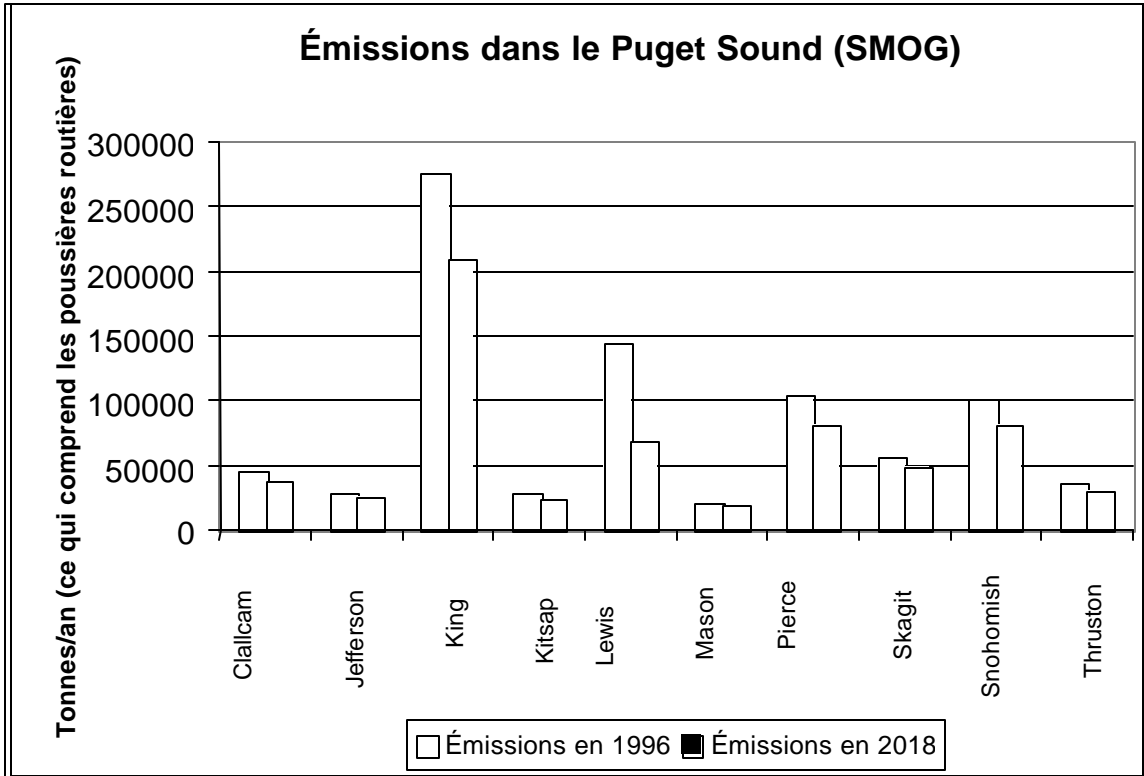


Figure 4.3. Comparaison des émissions actuelles (1996) et des émissions prévues (2018) dans le Puget Sound (Department of Ecology, 2001)

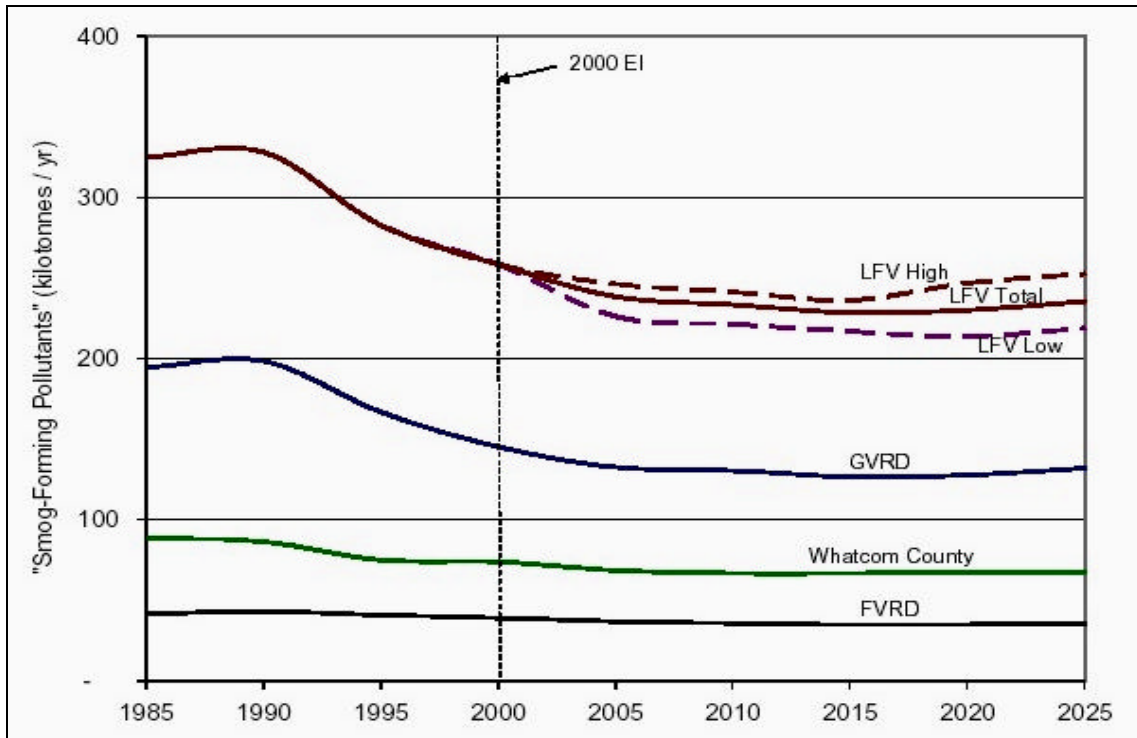


Figure 4.4. Comparaison des émissions actuelles (2000) et des émissions prévues (2025) dans le bassin de Georgia (à l'exclusion des PM₁₀) (GVRD, 2003)

« Smog-Forming Pollutants »...

LFV High

LFV Total

LFV Low

GVRD

Whatcom County

FVRD

« Polluants générateurs de smog » (kilotonnes/an)

VBV maximum

VBV total

VBV minimum

DRV

Comté de Whatcom

DRVF

Dynamique des émissions

Un examen plus détaillé des inventaires d'émissions révèle que certains polluants baissent très nettement alors que d'autres augmentent (voir tableau 4.2). L'ammoniac et les particules fines (PM₁₀ et PM_{2,5}) augmentent dans les bassins atmosphériques du Puget Sound et du bassin de Georgia, alors que les NO_x et les COV y diminuent. Les oxydes de soufre diminuent nettement dans le Puget Sound, mais ils augmentent modérément dans le bassin de Georgia. Une analyse plus fine des sources permet de se faire une idée de la façon dont se produiront ces fluctuations des émissions d'ici une dizaine d'années.

Tableau 4.2. Tendances et prévisions des émissions dans les bassins atmosphériques du Puget Sound (Department of Ecology, 2001) et du bassin de Georgia (GVRD, 2003)

Polluant	Tendance et prévisions des émissions	
	Puget Sound 1996-2018	Vallée du bas Fraser 2000-2020
NO _x	-43 %	-24 %
SO ₂	-61 %	+21 %
COV	-11 %	-12 %
NH ₃	+20 %	+32 %
PM ₁₀ (y compris les poussières routières)	+23 %	+19 %
PM _{2.5} (y compris les poussières routières)	+19 %	+ 8 %

Les émissions de NO_x sont essentiellement attribuables au secteur automobile. Les baisses importantes identifiées dans le bassin atmosphérique du Puget Sound sont dues à de nouvelles normes sur les véhicules qui auront pour effet d'améliorer la consommation et la qualité des carburants. Des baisses analogues ne s'observent pas dans le bassin de Georgia en raison d'une hausse des émissions de NO_x du secteur maritime. On s'attend à ce que les émissions de NO_x du secteur maritime dépassent les émissions combinées des véhicules légers et des véhicules lourds sur route d'ici 2010 (GVRD, 2003).

La forte baisse des émissions de SO₂ dans le Puget Sound est attribuable à de nettes réductions des sources ponctuelles. La hausse des émissions de SO₂ dans le bassin de Georgia est attribuable aux hausses dans le secteur maritime et dépend directement de la consommation de carburant et de la quantité de soufre dans le carburant.

On prévoit une baisse des émissions de composés organiques volatils dans le bassin atmosphérique grâce à l'adoption de nouvelles normes sur les véhicules, même si cette baisse sera quelque peu atténuée par une hausse des émissions résultant de l'évaporation de solvants dans le bassin atmosphérique du bassin de Georgia. Dans le Puget Sound, des mesures de contrôle ont été mises en place pour réduire les émissions de COV attribuables aux enduits pour bâtiment et aux produits commerciaux et de consommation. La diminution des émissions de COV prévue dans le Puget Sound est également atténuée par l'augmentation des émissions des poêles à bois et des cheminées. À mesure que les émissions anthropiques de COV continuent de diminuer, les émissions de sources naturelles gagnent en importance.

Les émissions de NH₃ sont attribuables aux pratiques agricoles dans les deux bassins atmosphériques. Dans le bassin de Georgia, on s'attend à une hausse des activités agricoles, et donc à une augmentation des émissions d'ammoniac au cours des dix prochaines années. Il n'existe pas de données analogues sur le secteur agricole dans le Puget Sound; les hausses prévues proviennent du secteur automobile. Les émissions d'ammoniac des véhicules routiers joueront également un rôle important dans le bassin atmosphérique du bassin de Georgia.

Les émissions de particules inhalables et fines (PM_{10} et $PM_{2.5}$) sont dominées par les sources de poussières diffuses, essentiellement les routes asphaltées, l'érosion éolienne et d'autres activités dans les champs agricoles. L'augmentation des émissions dans le Bassin est liée à la croissance démographique, qui se traduit par un plus grand nombre de déplacements en voiture et donc par une augmentation de la distance parcourue. Dans le Puget Sound, les émissions des poêles à bois et des cheminées ainsi que du brûlage dirigé et du brûlage des champs agricoles font croître les émissions de PM.

Variabilité des émissions

L'analyse des émissions dans ce rapport concernait les inventaires annuels et la façon dont ils varient selon l'instance. Les sources d'émissions varient elles aussi d'une saison, d'une semaine et d'un jour à l'autre en fonction des niveaux d'activité, qui sont variables tout au long de l'année. L'étude du ministère de l'Écologie de l'État de Washington (2001) a examiné ces variations saisonnières. Elle a révélé que les sources dominantes d'ammoniac sont attribuables à l'épandage d'engrais agricoles au printemps et à l'automne, et aux déjections animales l'été et l'hiver. Les sources routières y contribuaient pour une petite fraction en été et en hiver. Les sources de PM_{10} étaient dominées par les poussières routières l'été et l'hiver, les émissions de poussières diffuses agricoles en automne et les émissions des poêles à bois et des cheminées en hiver. Les émissions de $PM_{2.5}$ provenaient essentiellement des poêles à bois et des cheminées au printemps et en hiver, des poussières routières en été et des poussières diffuses agricoles et du brûlage dirigé des champs en automne. Les composés organiques volatils étaient émis par des sources naturelles tout au long de l'année, alors que les sources motorisées sur route dominaient l'hiver. Les sources mobiles étaient les principales responsables des émissions de NO_x et de CO. Les émissions de SO_2 par source ponctuelle montrent très peu de variation sur l'année.

Les niveaux d'activité ont également une incidence sur les émissions hebdomadaires et quotidiennes. On a constaté, par exemple, que les habitudes de conduite des automobilistes changent durant la semaine en fonction des horaires de travail et de loisir. Ces habitudes se reflètent dans les émissions quotidiennes, où l'on observe des pics de NO_x et de CO au début de la journée, en fin d'après-midi et le soir. Les émissions de NO_x et de $PM_{2.5}$ augmentent elles aussi le soir et la nuit, avec le chauffage des maisons. Durant les saisons plus froides, les hausses des émissions de NO_x et de $PM_{2.5}$ tôt le matin sont essentiellement attribuables au chauffage résidentiel.

Sources naturelles

Il existe quantité de sources naturelles d'émissions, dont la végétation, les milieux humides (marais), les feux de forêt, l'océan et les volcans. Ces sources produisent généralement les émissions suivantes :

- Les feux de forêt et les volcans déposent de grandes quantités de polluants dans le bassin atmosphérique du bassin de Georgia/Puget Sound, mais uniquement de façon épisodique. Les feux de friche sont une source de particules, d'oxydes d'azote et d'ozone; les volcans rejettent également des oxydes de soufre et des métaux lourds.
- La végétation et les milieux humides émettent des composés organiques (COV) qui contribuent à la formation d'ozone et de particules organiques secondaires. La végétation est une source importante au printemps et durant l'été, lorsque la production végétale atteint son

maximum. Étant donné que la volatilisation est un processus important du rejet des COV naturels, le taux d'émission dans l'atmosphère dépend de la température.

- Les secteurs maritimes comme le détroit de Georgia émettent des composés soufrés issus de processus biologiques, de même que du sodium et du chlore dus aux lames déferlantes et aux embruns. Même si d'autres substances chimiques proviennent des océans, leurs émissions dans l'atmosphère sont minimales.

On a réussi à quantifier l'importance de certaines sources d'émissions naturelles. C'est ainsi que l'océan est responsable d'à peine 7 p. 100 du bilan annuel du soufre dans le Bassin, mais de jusqu'à 26 p. 100 au printemps (Sharma, 2003). Le sodium présent dans l'eau de mer réagit au contact d'autres polluants atmosphériques, formant ainsi des particules, alors que le chlore participe à des réactions qui forment de l'ozone. Dans le bassin de Georgia, les produits d'origine biologique produisent 36 600 tonnes par an ou 33 p. 100 des COV; dans le Puget Sound, ils représentent 46 p. 100 des COV ou 189 000 tonnes par an. Ce sont là des volumes importants d'émissions organiques volatiles dans le Bassin, qu'il est impossible de contrôler par réglementation ou grâce à la technologie.

La répartition des émissions d'origine biologique dans le bassin atmosphérique a également de l'importance, étant donné que l'emplacement de ces sources naturelles par rapport aux sources anthropiques peut influencer sur la formation d'ozone et de PM. On sait que les émissions de sources anthropiques sont transportées par le vent des zones urbaines et des banlieues vers des milieux plus ruraux, où elles réagissent avec les émissions naturelles pour augmenter les concentrations d'ozone et de PM.

Bibliographie

Department of Ecology. 2001. Review of the Washington State Visibility Protection State Implementation Plan: Draft Report for Federal Land Managers. Programme sur la qualité de l'air du département de l'Écologie de l'État de Washington, 114 p.

GVRD. 2002. 2000 Emission Inventory for the Lower Fraser Valley Airshed. District régional de Vancouver, Département des politiques et de la planification, 20 p.

GVRD. 2003. Forecast and Backcast of the 2000 Emission Inventory for the Lower Fraser Valley Airshed 1985-2025. District régional de Vancouver, Département des politiques et de la planification, 38 p.

Sharma, S., R. Vingarzan, L.A. Barrie, A. Norman, A. Sirois, M. Henry et C. di Cenzo. 2003. Concentrations of dimethyl sulphide in the Strait of Georgia and its impact on the atmospheric sulphur budget of the Canadian West Coast. *Jour. Geo. Res.*, vol. 108, n° D15, p. 4459.

Wakelin, T. 2003. Ministère de la Protection de l'eau, des terres et de l'air de Colombie-Britannique, comm. pers.

5. Qualité de l'air ambiant

La section précédente a identifié les principales sources d'émissions responsables des substances chimiques en suspension dans l'air dans le bassin atmosphérique du bassin de Georgia/Puget Sound. Le devenir de ces émissions une fois dans l'atmosphère est très important. La qualité de l'air dans le Bassin dépend de la façon dont les émissions sont transportées, dispersées et déposées. Pour quantifier la qualité de l'air dans le temps et dans l'espace, on mesure ces substances chimiques et les conditions météorologiques qui leur sont associées à un certain nombre d'endroits. Il est fréquent que ces sites de mesure soient regroupés dans un réseau de mesure de la pollution atmosphérique relié à un programme commun et administré par un organisme gouvernemental. Dans le bassin atmosphérique du bassin de Georgia/Puget Sound, il existe plusieurs réseaux de mesure de la pollution atmosphérique et un certain nombre de programmes connexes de surveillance de la qualité de l'air qui déterminent la façon dont ces réseaux sont exploités et quelles mesures ils effectuent.

Il existe deux systèmes de base pour mesurer la qualité de l'air : le prélèvement de polluants dans un filtre et l'analyse *in situ* de l'air prélevé dans l'atmosphère locale. Généralement, les concentrations de SO₂, NO_x, O₃, CO, PM₁₀ et PM_{2,5} sont mesurées *in situ*, et ces mesures sont disponibles par le biais des réseaux de communication en temps quasi réel. On a recours aux analyses en laboratoire pour calculer les concentrations de COV, de métaux lourds et de produits chimiques sous la forme de particules. Une troisième méthode consiste à recueillir les précipitations. La pluie et la neige sont d'excellents capteurs des substances chimiques dans l'atmosphère. Les échantillons de pluie ou de neige prélevés sont ensuite analysés en laboratoire.

Réseaux de mesure de la pollution atmosphérique dans le Bassin

Le réseau de mesure de la pollution atmosphérique dans l'État de Washington se compose des stations nationales de surveillance de l'air (NAMS) et des stations d'État et locales de surveillance de l'air (SLAMS); les données qu'elles contribuent à recueillir sont archivées dans le Système d'extraction d'informations aérométriques (AIRS). En Colombie-Britannique, la qualité de l'air est mesurée par le Réseau national de surveillance de la pollution atmosphérique (RNSPA), le ministère de la Protection de l'eau, des terres et de l'air (WLAPN) et le Réseau de surveillance de la qualité de l'air de la vallée du bas Fraser (LFVAQN). Les données qui servent à analyser la qualité de l'air dans le bassin atmosphérique du bassin de Georgia/Puget Sound proviennent des archives nationales.

Pour cette étude, les sites de mesure utilisés dans les deux instances sont illustrés à la figure 5.1. Si l'on a opté pour cette source de données, c'est pour assurer le contrôle et l'assurance de qualité et avoir des protocoles de mesure comparables, afin d'arriver à un maximum d'uniformité dans le bassin atmosphérique international.

Les SLAMS sont un réseau de stations de surveillance dont la taille et la répartition sont dictées essentiellement par les besoins des organismes d'État et locaux de lutte contre la pollution atmosphérique pour respecter les prescriptions respectives du Plan de mise en œuvre d'État (SIP). Les NAMS sont un sous-ensemble du réseau des SLAMS, axé sur les

zones urbaines et les zones multi-sources. De fait, ce sont des sites déterminants qui ciblent les secteurs où les concentrations atteignent leur maximum, et où la densité de la population est élevée. Le LFVAQN et le WLAPN ressemblent sous bien des rapports aux SLAMS; leurs mandats et objectifs de surveillance sont dictés par les organismes locaux ou par la province. Ces réseaux intègrent également plusieurs sites du RNSPA qui se cristallisent sur la mesure de la pollution atmosphérique urbaine.

TRADUCTION DE LA FIGURE 5.1

Pacific Ocean	Océan Pacifique
Air Quality Data	Données sur la pollution atmosphérique
NAPS	RNSPA
AIRS	AIRS
Air Quality Net works	Réseaux de mesure de la pollution atmosphérique
NADP/NTN	NADP/NTN
NADP/MDN	NADP/MDN
IMPROVE	IMPROVE
CASTNet	CASTNet
Georgia Basin	Bassin de Georgia
Strait of Georgia	Détroit de Georgia
Strait of Juan de Fuca	Détroit de Juan de Fuca
Fraser River	Fleuve Fraser

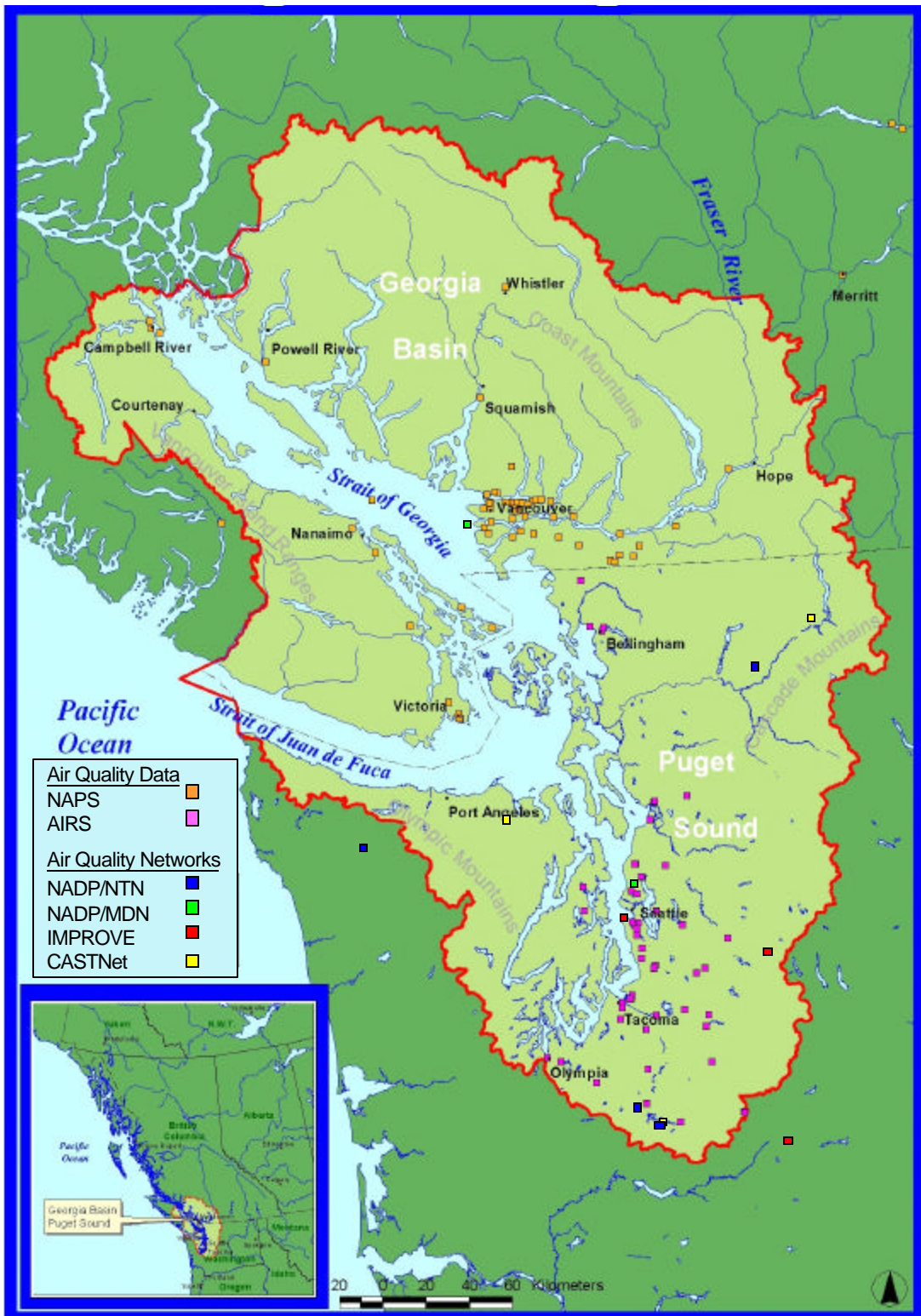


Figure 5.1. Emplacement des stations de mesure pour l'analyse de la pollution atmosphérique

Les réseaux de surveillance de la pollution atmosphérique fournissent la majeure partie des mesures de la qualité de l'air dans le bassin atmosphérique, et sont très semblables dans les deux pays. Ils effectuent les mesures des concentrations de polluants atmosphériques, en

contrôlent et en assurent la qualité, avant de les archiver au moyen de procédures et de méthodes comparables. Les mesures indiquent les concentrations horaires des principaux contaminants atmosphériques, qui sont rapportées en temps quasi réel. Cette technologie autorise une évaluation détaillée et ponctuelle des concentrations de polluants atmosphériques et permet aux organismes d'alerter le public en cas de pic de pollution.

C'est la nécessité de comprendre le comportement d'autres polluants atmosphériques et de prendre des mesures à des endroits qui ne sont pas desservis par les réseaux de base qui a abouti à l'aménagement de sites de mesure supplémentaires. Des stations de surveillance spécialisées (SPMS), implantées pour les études spéciales dont ont besoin les organismes d'État et locaux, complètent les réseaux de surveillance fixes selon les circonstances et si les moyens le permettent. Étant donné que les SPMS ne sont pas établies à titre permanent, il est facile de les adapter à l'évolution des besoins et des priorités. Les données archivées provenant des SPMS doivent respecter toutes les prescriptions en matière d'assurance de qualité et de méthodologie pour la surveillance des SLAMS. Le WLAPN et le LFVAQN sont augmentés de la même façon pour tenir compte des besoins du programme sur la qualité de l'air qui n'exigent pas de données à long terme.

Aux États-Unis, le programme de surveillance appelé Interagency Monitoring of Protected Visual Environments (IMPROVE) a été créé pour faciliter l'élaboration de plans de mise en œuvre fédéraux et d'État relatifs à la protection de la visibilité dans les secteurs de classe I. (Selon les définitions de la *Clean Air Act*, cette désignation englobe les secteurs suivants qui existaient en date du 7 août 1977 : les parcs nationaux de plus de 6 000 acres, les zones naturelles nationales protégées et les parcs commémoratifs nationaux d'une superficie supérieure à 5 000 acres, de même que les parcs internationaux.) Le programme de surveillance IMPROVE mesure les $PM_{2,5}$, la masse grossière (différence entre les PM_{10} et les $PM_{2,5}$), la masse de sulfate d'ammonium, la masse de nitrate d'ammonium, la masse de carbone (qui absorbe la lumière) et la masse de sol à grains fins. Ce réseau de sites mesure la qualité de l'air ambiant afin de déterminer les conditions actuelles de visibilité et d'aérosols dans les secteurs obligatoires de classe I, d'identifier les espèces chimiques et les sources d'émissions responsables de la baisse de visibilité d'origine humaine, d'illustrer les tendances à long terme pour évaluer les progrès vers l'atteinte de l'objectif national de visibilité et de surveiller la brume sèche régionale dans tous les secteurs fédéraux de classe I où la visibilité est protégée, lorsque cela est possible. Des échantillonneurs du programme IMPROVE ont été installés à l'extérieur des secteurs de classe I, et l'on peut obtenir les données de l'échantillonneur de Beacon Hill à Seattle et de celui de Lynden dans le comté de Whatcom.

Dépôt de polluants atmosphériques

Les programmes de mesure décrits plus haut concernent les concentrations ambiantes de pollution atmosphérique. Le dépôt des substances chimiques en suspension dans l'atmosphère dans les sites récepteurs doit également être compris et surveillé. C'est ainsi qu'on a implanté des réseaux pour prendre ces mesures dans le bassin atmosphérique des deux côtés de la frontière. Le Réseau canadien de surveillance de l'air et des précipitations (RSAP) est un réseau de surveillance de la qualité de l'air en zone non urbaine, qui mesure les dépôts humides et secs de polluants acides, de même que l'ozone troposphérique et certains métaux lourds. Des échantillons d'hydrure (acidité sous la forme du pH), de sulfates, de nitrates, d'ammonium, de chlore et de cations basiques (comme le calcium, le magnésium, le potassium et le sodium) sont prélevés pour les épisodes de précipitations, de même que des échantillons quotidiens des cartouches filtrantes. Les critères de sélection des sites de mesure

ont été conçus pour que ceux-ci soient représentatifs de la région et ne soient pas affectés par des sources locales de pollution atmosphérique. Un spectrophotomètre Brewer utilisé dans le cadre du programme canadien de surveillance de l'ozone stratosphérique et des rayons ultraviolets et faisant partie du Réseau de spectrophotomètres Brewer a été coimplanté avec le RSAP sur l'île Saturna. Ces instruments mesurent l'ozone total et le rayonnement ultraviolet spectral (290 à 325 nm) toutes les 10 à 20 minutes. Les données recueillies par le Réseau de spectrophotomètres Brewer permettent de prévoir les concentrations d'ozone et l'indice UV, d'analyser les tendances et de mener des recherches scientifiques.

L'évaluation des processus de dépôt dans les parties américaines du bassin atmosphérique est menée par le National Atmospheric Deposition Program/National Trends Network (NADP/NTN). Il s'agit d'une initiative concertée de nombreux groupes, parmi lesquels les Stations expérimentales agricoles d'État, la Geological Survey des États-Unis, le département de l'Agriculture des États-Unis et d'autres entités gouvernementales et privées. Le but du réseau est de recueillir des données sur la chimie des précipitations afin d'en surveiller les tendances géographiques et temporelles à long terme. À chaque station, les précipitations sont prélevées chaque semaine et analysées : hydrures (acidité sous la forme du pH), sulfates, nitrates, ammonium, chlorure et cations basiques (comme le calcium, le magnésium, le potassium et le sodium). L'évaluation des dépôts secs est réalisée par le Clean Air Status Trends Network (CASTNET). Le CASTNET est considéré comme la principale source américaine de données atmosphériques pour estimer les dépôts acides secs et obtenir des données sur les concentrations d'ozone en milieu rural. Dans l'État de Washington, le CASTNET fait partie de la base de données constituée par le NADP, et la complète. Ensemble, ces deux bases de données à long terme contiennent les données nécessaires à l'estimation des tendances et des configurations spatiales du dépôt atmosphérique total. Le CASTNET surveille également les concentrations d'ozone en milieu rural, et certains sites mesurent aussi la visibilité.

Les propriétés des polluants atmosphériques sont également évaluées à des sites qui ne font pas partie des réseaux locaux et régionaux. Au Canada, le dépôt de mercure total est mesuré par le Réseau canadien de mesure du mercure atmosphérique (CAMNet) afin de mieux comprendre les tendances du mercure et les processus environnementaux où il intervient. Les concentrations de mercure gazeux total sont mesurées *in situ*, les données horaires étant télémesurées à des fins de contrôle et d'assurance de qualité avant d'être archivées. Les mesures du dépôt humide prises chaque semaine sur l'île de Reifel, en Colombie-Britannique sont expédiées à un laboratoire central aux États-Unis. Il existe un programme analogue à Seattle. Les deux sites de mesure font partie du Mercury Deposition Network (MDN) du NADP, lequel prélève chaque semaine des échantillons des précipitations, dans lesquels on mesure la concentration de mercure totale. L'objectif du MDN est de surveiller la quantité de mercure dans les précipitations à l'échelle régionale et de fournir des renseignements qui sont essentiels pour que les chercheurs puissent comprendre les phénomènes qui touchent les lacs et les cours d'eau. Un réseau de six sites a été aménagé dans la région de Seattle, avec le parrainage de la région 10 de l'EPA des États-Unis, afin de mesurer les substances toxiques sur une période de deux ans (2000-2002). Ces mesures ont appuyé une étude d'impact sur la santé qui sera abordée plus loin dans ce rapport.

Les données de qualité de l'air et les données météorologiques utilisées pour cette étude proviennent des archives nationales, du RNSPA au Canada et de l'AIRS aux États-Unis. Si l'on a retenu ces données, c'est pour s'assurer d'une qualité et d'une exactitude maximales et offrir un niveau maximum de comparabilité entre les ensembles de données. Il faudra analyser d'autres ensembles de données de grande qualité pour rendre compte du dépôt et de

la visibilité dans le bassin atmosphérique. Il existe d'autres données dans les ensembles du NADN, du RSAP et du système IMPROVE, qui ont été utilisées pour l'analyse de la pollution atmosphérique dans le bassin atmosphérique du bassin de Georgia/Puget Sound.

Analyse de la qualité de l'air

La présente étude cible avant tout l'ozone troposphérique (O_3), les particules fines (PM_{10} et $PM_{2.5}$) et la visibilité. Les quantités d'ozone sont mesurées plusieurs fois par minute, moyennées et signalées systématiquement toutes les heures. De même, les particules fines (PM_{10} et $PM_{2.5}$) sont mesurées en « temps quasi réel », moyennées et signalées toutes les heures. Les PM sont également mesurées sur des cartouches filtrantes sur une période d'échantillonnage de 24 heures. Le protocole d'échantillonnage du réseau en ce qui concerne les échantillonneurs à filtres peut varier d'échantillons prélevés une fois toutes les 24 heures à une fois par semaine, ou encore d'échantillons prélevés sur une période dépassant 24 heures. Lorsqu'on analyse les données sur les PM, il faut faire attention à la période de mesure utilisée. Bien que la visibilité ne soit pas mesurée dans le cadre de la plupart des programmes de surveillance de la qualité de l'air, certains réseaux, comme IMPROVE, se consacrent exclusivement à ces mesures. Quatre sites, faisant partie du Réseau de mesure de la qualité de l'air dans la vallée du bas Fraser, ont été munis de caméras et de néphélomètres qui enregistrent régulièrement les données permettant de déterminer la visibilité. Les sites qui surveillent la visibilité effectuent souvent des mesures parallèles des PM, lesquelles nécessitent des néphélomètres et des échantillonneurs des espèces chimiques de mercure en présence. Les archives provenant des sites de surveillance de la visibilité contiennent généralement une combinaison d'images du paysage, de concentrations des PM, de propriétés optiques (b_{sct}) et de données sur les espèces chimiques. Pour ce qui est des intervalles de temps, des images sont prises plusieurs fois par jour, les mesures des concentrations et des espèces chimiques varient selon le protocole du réseau, et les propriétés optiques sont évaluées plusieurs fois par minute et font l'objet de rapports horaires.

Parmi les autres questions de qualité de l'air examinées de façon moins détaillée figurent les processus d'extraction (dépôt humide et sec) et les substances toxiques en suspension dans l'atmosphère. Le protocole d'échantillonnage conçu pour beaucoup de ces programmes est beaucoup plus irrégulier que celui des PCA. Les mesures du RSPA dépendent des « événements » en ce qui concerne le dépôt humide et sont prises quotidiennement en ce qui concerne le dépôt sec. Les échantillons du NADP sont prélevés chaque semaine pour le dépôt humide, et des moyennes hebdomadaires sont calculées à partir du CASTNET pour le dépôt sec. Les composés organiques volatils (COV) présents dans les substances toxiques en suspension sont souvent mesurés dans le cadre d'études spéciales, souvent à des sites de mesure de la pollution atmosphérique qui font partie des réseaux déjà implantés. Ces mesures sont prises pendant plusieurs heures ou même plusieurs jours, selon le composé échantillonné. Les données sur les métaux lourds jugés toxiques et sur des composés comme l'ammoniac sont généralement mesurées dans le cadre des réseaux comme le SLAMS et le WLAPN. Les intervalles d'échantillonnage sont généralement de 24 heures, mais ils peuvent être prolongés jusqu'à une semaine au maximum, selon le protocole du réseau « parent ».

Ozone

Ozone troposphérique

Les conditions atmosphériques propices à la formation photochimique d'ozone sont bien connues dans le bassin atmosphérique du bassin de Georgia/Puget Sound. Les épisodes d'ozone où la concentration atteint des niveaux nettement supérieurs aux objectifs nationaux en matière de pollution atmosphérique sont abondamment documentés. Leur occurrence dépend de certaines conditions météorologiques, comme nous l'avons vu plus haut. Alors que les émissions de précurseurs (NO_x et COV) demeurent inchangées, un régime de temps stagnant qui donne un ciel dégagé et des températures élevées peut très vite produire des concentrations d'ozone élevées.

Dans ce rapport, l'ozone des basses couches de l'atmosphère est appelé ozone troposphérique. L'objectif est de faire la différence entre celui-ci et l'ozone de la stratosphère. Cela sera d'autant plus important ultérieurement lorsque l'on abordera l'influence de l'ozone stratosphérique sur les concentrations d'ozone troposphérique. L'ozone troposphérique et l'ozone stratosphérique sont formés par des processus chimiques différents. L'ozone est formé par la destruction photochimique du dioxyde d'azote (NO_2), ce qui entraîne la création de monoxyde d'azote (NO) et d'un seul atome d'oxygène. Cet atome d'oxygène se combine alors à l'oxygène moléculaire (O_2) pour former l'ozone (O_3). En l'absence de COV, l' O_3 réagit en présence du NO pour reformer du NO_2 . La présence de COV fournit des radicaux organiques qui réagissent au NO pour former du NO_2 supplémentaire. Ce NO_2 supplémentaire est dissocié par la lumière du Soleil, ce qui aboutit à la formation d'une plus grande quantité d'ozone. En présence de quantités suffisantes de NO_2 et de COV sont présentes et de lumière du Soleil, la formation d' O_3 dépasse la dissociation, et les concentrations d' O_3 augmentent. Étant donné que le rayonnement solaire est nécessaire à la formation d' O_3 , les concentrations d'ozone affichent de fortes variations diurnes, avec des pics au milieu de l'après-midi et des concentrations minimales aux premières heures de la matinée. L'absence de rayonnement solaire la nuit et la présence de NO_x dans les centres urbains et les banlieues expliquent que les concentrations d'ozone soient souvent nulles durant la nuit. À l'inverse, l'absence de NO_x dans les régions rurales explique souvent que les concentrations d'ozone restent élevées la nuit, et qu'elles montrent peu de variation sur la journée.

Le rapport entre les concentrations ambiantes de NO_x et de COV a aussi une importance critique. Il doit se situer dans une plage bien définie, sinon la concentration d'ozone à l'équilibre restera faible. Le rapport des COV aux NO_x et le lien avec la production d'ozone sont bien compris (NARSTO, 2000). On voit à la figure 5.2 que le rapport COV/ NO_x doit être proche de 8:1 pour optimiser la production d'ozone. Il s'agit là d'une notion importante pour comprendre les concentrations d'ozone dans le bassin atmosphérique du bassin de Georgia/Puget Sound, qui est analysée plus en détail à la section 7. Dans certains secteurs du Bassin, les concentrations de COV sont suffisamment élevées pour que la concentration d'ozone reste faible. Il est néanmoins plus fréquent que les concentrations de NO_x entraînent le rapport COV/ NO_x vers une concentration qui ne produit pas d'ozone. La partie ouest du bassin atmosphérique du bassin de Georgia et le sud et le centre de celui de Puget Sound ont des concentrations de NO_x suffisamment élevées pour que la production d'ozone y soit limitée. La limitation de ce rapport est la principale raison pour laquelle les secteurs du bassin atmosphérique situés en aval des sources de NO_x ont des concentrations d'ozone plus élevées. Cette situation est inversée dans les secteurs où les concentrations de COV sont relativement

élevées par rapport à celles de NO_x , ce qui donne à nouveau un rapport qui n'est pas propice à la production d' O_3 . Les régions rurales connaissent souvent des conditions où les concentrations de COV limitent la production d'ozone. Cela souligne l'importance de la distribution des sources d'émissions d'origine biologique par rapport aux émissions anthropiques. Sans les sources de NO_x dans les régions rurales, la production d'ozone est limitée par les émissions de COV d'origine biologique, ce qui se solde par des écarts diurnes très faibles des concentrations d'ozone.

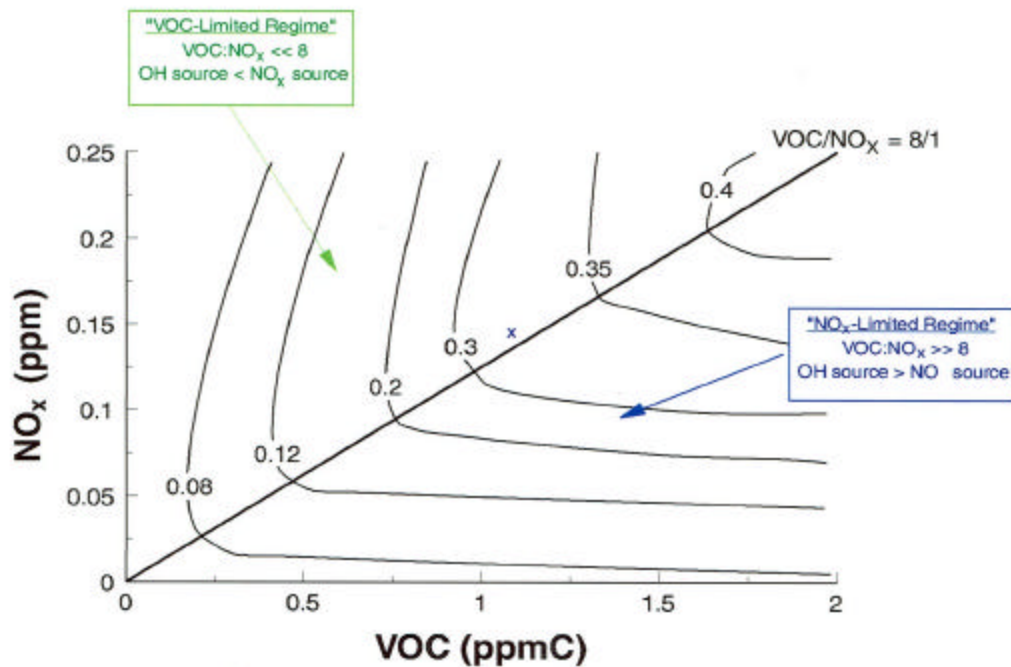


Figure 5.2. Rapport entre les NO_x , les COV et l' O_3 exprimé sous forme de schéma d'Ekma (NARSTO, 2000)

TRADUCTION DE LA FIGURE 5.2

NO_x (ppm)
COV (ppmC)

NO_x (ppm)
COV (ppmC)

VOC-Limited Regime
VOC: $\text{NO}_x \ll 8$
OH Source < NO_x source

« Régime de limitation par les COV »
COV: $\text{NO}_x \ll 8$
Source d'OH < source de NO_x

VOC/ $\text{NO}_x = 8/1$

COV/ $\text{NO}_x = 8/1$

NO_x Limited Regime
VOC: $\text{NO}_x \gg 8$
OH Source > NO source

« Régime de limitation par les NO_x »
COV: $\text{NO}_x \gg 8$
Source d'OH > source de NO

Dans les centres urbains et les banlieues, les émissions des précurseurs de l'ozone présentent des variations diurnes et hebdomadaires, d'où la variabilité des concentrations d'ozone. La formation d'ozone est modifiée en réaction aux variations des émissions, ce qui entraîne des

« points chauds » d’ozone localisés et de courte durée. Les régions rurales présentent souvent un régime radicalement différent, avec peu d’écarts d’un jour à l’autre.

Données sur l’ozone ambiant

Les concentrations d’ozone sont régulièrement mesurées par les réseaux de surveillance de la pollution atmosphérique dans tout le Bassin. Ces mesures sont effectuées dans les centres urbains, les banlieues et les régions rurales, et donnent une description précise de la distribution spatiale et temporelle des concentrations d’ozone. Couramment, les mesures de l’ozone sont analysées pour la « saison d’ozone » estivale, soit de mai à septembre. Les plus fortes concentrations d’O₃ au cours d’une année sont relevées durant cette période, qui se caractérise par des événements ou des épisodes de courte durée. Toutefois, l’analyse de l’ozone sur toute l’année révèle un maximum des concentrations moyennes au printemps (voir figure 5.3).

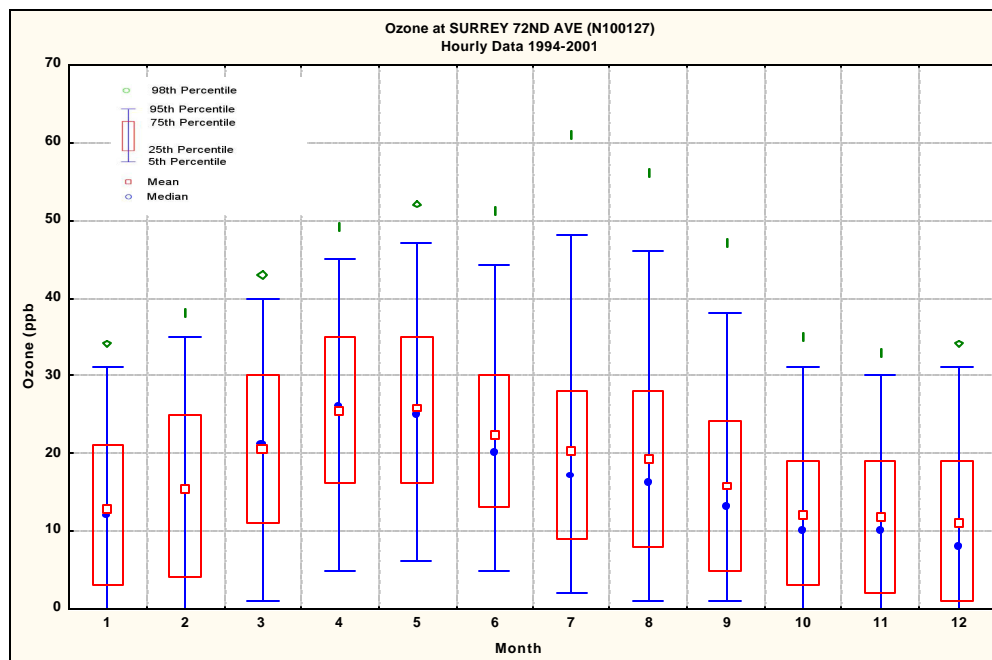


Figure 5.3. Données horaires annuelles sur l’ozone à Surrey East (NAPS)

TRADUCTION DE LA FIGURE 5.3

Ozone at SURREY...	Ozone à SURREY, 72 ^e Av. (N100127)
Hourly Data 1994-2001	Données horaires 1994-2001
98th Percentile	98 ^e centile
95th Percentile	95 ^e centile
75th Percentile	75 ^e centile
25th Percentile	25 ^e centile
5th Percentile	5 ^e centile
Mean	Moyenne
Median	Médiane
Ozone (ppb)	Ozone (ppb)
Month	Mois

Les représentations graphiques des concentrations annuelles moyennes d'ozone sur l'île de Saturna montrent un maximum au printemps (voir figure 5.4). Les hausses des concentrations d'ozone durant cette période de l'année sont dues à l'ozone résultant des réactions photochimiques, au transport d'ozone des intrusions stratosphériques et au transport transpacifique (Vingarzan, 2003).

Les concentrations de l'automne et de l'hiver représentent l'ozone provenant des sources régionales et mondiales et des intrusions stratosphériques. Cet ozone fait partie du bilan mondial de la qualité de l'air.

La formation d'O₃ par réactions photochimiques *in situ* est à son maximum l'été. À mesure que le rayonnement solaire augmente, il en va de même du potentiel de formation d'ozone. Dans le bassin atmosphérique du bassin de Georgia/Puget Sound, c'est entre la mi-juillet et la mi-août que les conditions sont le plus propices à la formation photochimique d'ozone *in situ*. Les concentrations d'ozone suivent un cycle diurne bien documenté (voir figure 5.5). Les concentrations maximales surviennent vers le milieu de l'après-midi, les valeurs minimales étant observées aux premières heures du matin. Le temps qui s'écoule entre l'émission des précurseurs de l'ozone et la formation d'ozone fait que les plus fortes concentrations d'ozone soient observées à des endroits situés en aval des sources d'émissions. C'est pourquoi il est rare d'observer de fortes concentrations d'ozone dans les régions urbaines d'où proviennent les précurseurs. La mesure des concentrations d'ozone dans le Parc national Mount Rainier (Brace, 1995) a révélé les conséquences d'être situé en aval d'un grand centre urbain. Les mesures prises dans le parc ont montré un doublement de la concentration d'ozone avec l'altitude (de 410 à 2 100 mètres) et de concentrations hebdomadaires maximales d'ozone d'environ 45 ppb.

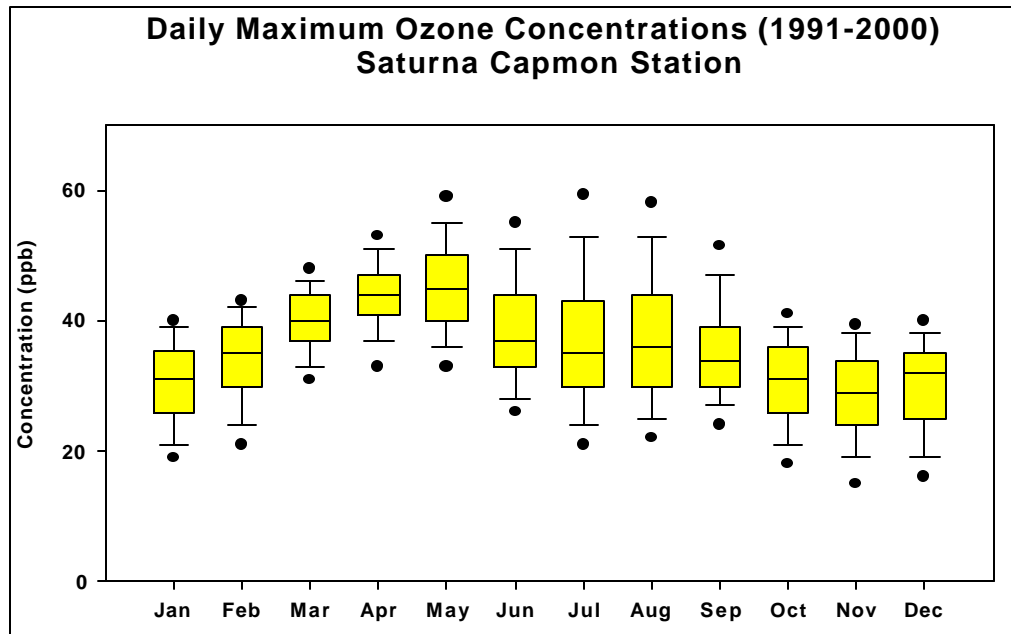


Figure 5.4. Concentrations horaires d’ozone sur l’île de Saturna (RSAP/NAPS)

TRADUCTION DE LA FIGURE 5.4

Daily Maximum Ozone... Concentrations maximales quotidiennes d’ozone (1991-2000)
Station du RSAP de Saturna

Concentration (ppb) Concentration (ppb)

Janv. Févr. Mars Avr. Mai Juin Juill. Août Sept.
Oct. Nov. Déc.

Les processus qui contribuent à la formation d’ozone ont été étudiés au moyen de modèles informatiques (Pottier, 1997; O’Neil, 2002). Les sites ruraux montrent un maximum semblable au milieu de l’après-midi, mais l’absence d’émissions de NO_x permet aux valeurs nocturnes de demeurer entre 10 et 20 ppb ou à un niveau supérieur. Le cycle diurne des concentrations d’ozone peut être modifié aux sites ruraux par le transport d’ozone et de précurseurs ozonogènes. On a observé que les concentrations d’ozone peuvent atteindre des valeurs maximales le soir et la nuit, selon la nature du transport de l’ozone et la proximité du site aux sources d’émissions. Les concentrations à Paradise sur le mont Rainier se situent entre 40 et 70 ppb la nuit, souvent avec des pics le matin plutôt que l’après-midi (Brace et Peterson, 1998).

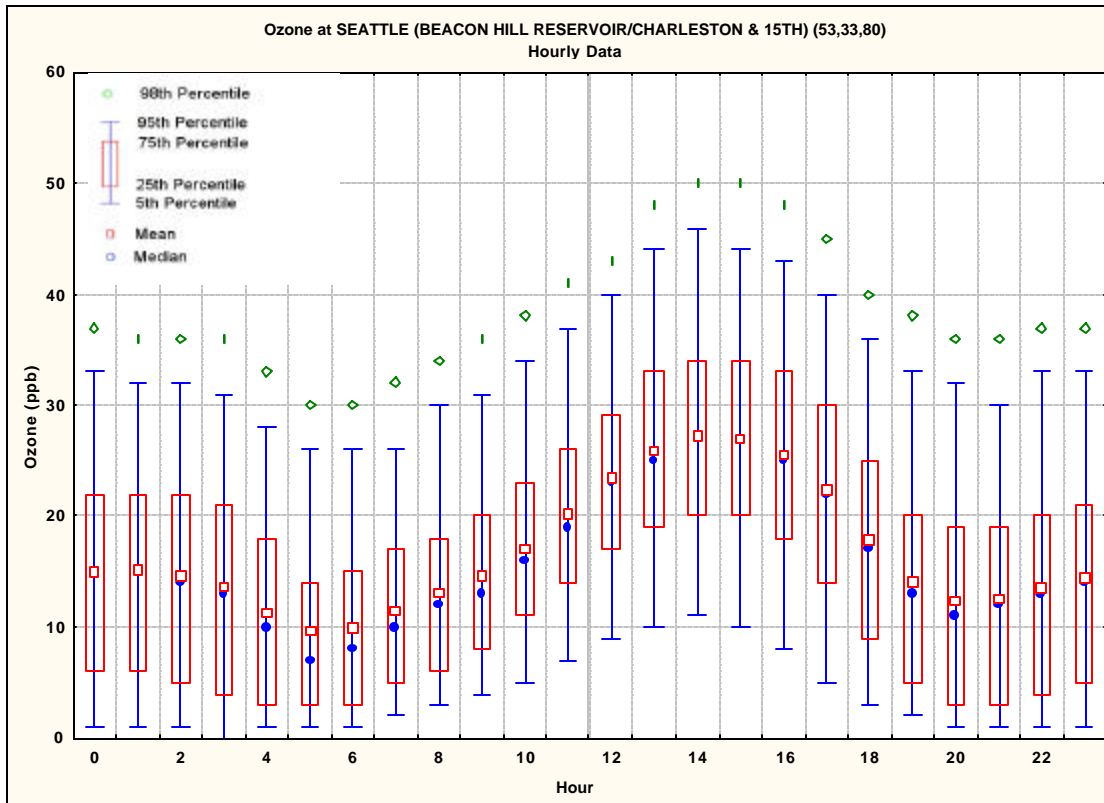


Figure 5.5. Variation diurne de l’ozone à Beacon Hill–Seattle (AIRS)

TRADUCTION DE LA FIGURE 5.5

Ozone at SEATTLE...

Ozone à SEATTLE (RÉSERVOIR BEACON HILL
(Charleston et 15^e) (53, 33, 80)

Hourly Data

Données horaires

98th Percentile

98^e centile

95th Percentile

95^e centile

75th Percentile

75^e centile

25th Percentile

25^e centile

5th Percentile

5^e centile

Mean

Moyenne

Median

Médiane

Ozone (ppb)

Ozone (ppb)

Hour

Heure

Durant l’été, les épisodes de fortes concentrations d’ozone retiennent beaucoup l’attention à cause de leurs conséquences sur la santé humaine et la visibilité. Ces épisodes de « smog » durent généralement deux ou trois jours, mais il arrive qu’ils persistent plus d’une semaine. Le dernier épisode d’importance dans le bassin atmosphérique du bassin de Georgia/Puget Sound est survenu durant la première semaine de septembre 1988, lorsque la concentration maximale d’ozone a dépassé 200 ppb. Ce sont les conditions météorologiques qui déterminent la durée et l’intensité d’un épisode. Généralement, les conditions propices à un épisode d’ozone s’établissent lentement sur l’ensemble du bassin atmosphérique et affectent

simultanément les deux bassins du Puget Sound et du bassin de Georgia. Des épisodes d'ozone ont été décrits en détail par un certain nombre de chercheurs (Steyn, 1990). Les conditions météorologiques responsables de ces épisodes surviennent en moyenne une fois par an. Les recherches menées sur la nature de ces épisodes révèlent que les émissions ne changent pas, que ce soit avant ou durant l'épisode. Les premières régions touchées sont situées en aval des grands centres urbains, comme nous l'avons vu plus haut. Ces épisodes sont rares (McKendry, 1994), mais les concentrations élevées qui les caractérisent peuvent avoir de graves conséquences sur la santé de l'homme et de l'environnement.

L'ozone et les normes de qualité de l'air

Diverses études scientifiques ont documenté les incidences de diverses concentrations d'ozone sur la santé de l'homme et sur l'environnement. Ces études ont été couplées à des facteurs socio-économiques pour établir des normes et des objectifs sur la qualité de l'air. Les tableaux 2.1 et 2.2 dressent la liste des divers objectifs et normes en vigueur et prévus pour le Canada et les États-Unis.

Les valeurs indiquées aux tableaux 2.1 et 2.2 permettent aux décideurs de savoir où et dans quelle mesure il faut réglementer et contrôler les précurseurs de l'ozone. Ces niveaux ou concentrations représentent également un instrument utile pour comparer les bassins atmosphériques et les secteurs situés dans leur périmètre. Une telle analyse a donc été réalisée pour le bassin atmosphérique du bassin de Georgia/Puget Sound. Les concentrations d'ozone dans tous les secteurs situés dans le Bassin demeurent inférieures aux normes et aux objectifs nationaux. L'analyse des concentrations d'ozone à Robson Square à Vancouver (voir figure 5.6) et à Beacon Hill à Seattle (voir figure 5.7) illustre bien les sites proches des émissions. Dans les deux cas, les concentrations d'ozone sont nettement inférieures aux normes de qualité de l'air.

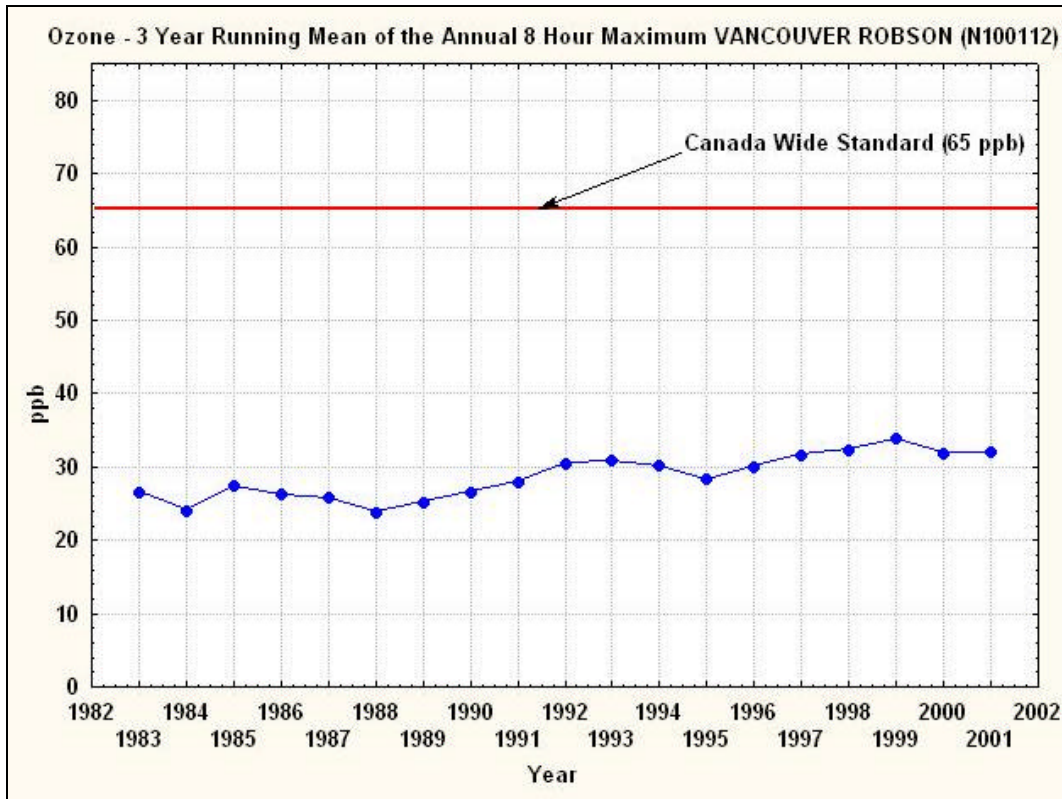


Figure 5.6. Calcul de l’ozone à Robson Square, à Vancouver (C.-B.), selon les standards pancanadiens (RNSPA)

TRADUCTION DE LA FIGURE 5.6

Ozone – 3 Year Running... Moyenne mobile sur 3 ans du maximum annuel sur 8 heures à VANCOUVER ROBSON (N100112)

Canada Wide Standard (65 ppb) Standard pancanadien (65 ppb)

ppb ppb
Year Année

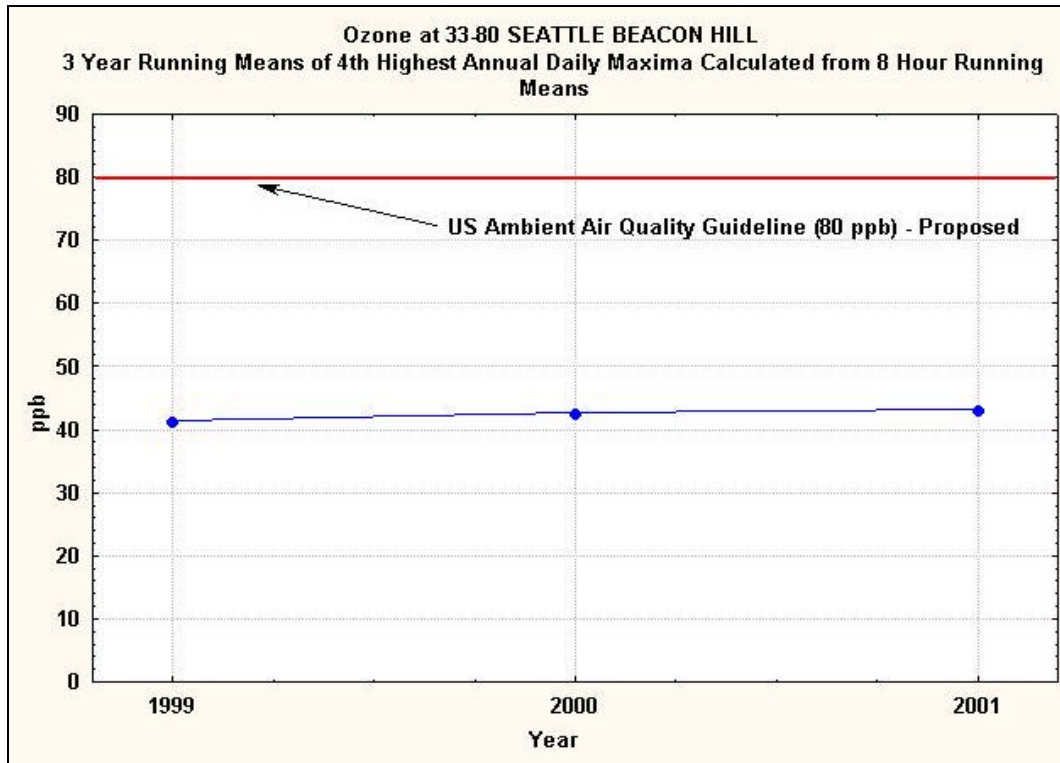


Figure 5.7. États-Unis. Calcul à Beacon Hill, à Seattle (Washington) (AIRS) selon la EPA Ozone Standard

TRADUCTION DE LA FIGURE 5.7

Ozone at 33-80...
3 Year Running Means...

Ozone à 33-80 SEATTLE BEACON HILL
Moyennes mobiles sur 3 ans du 4^e maximum quotidien
annuel calculé à partir des moyennes mobiles sur
8 heures

US Ambient Air Quality...

Ambient Air Quality Guideline des États-Unis (80 ppb) –
Prévue

ppb
Year

ppb
Année

La moyenne annuelle à Robson Square et les concentrations maximales sur une heure se situent respectivement entre 4 et 8 ppb et entre 30 et 60 ppb. À Beacon Hill, les concentrations d’ozone varient entre 12 et 24 ppb pour ce qui est de la moyenne annuelle et entre 35 et 46 ppb pour les concentrations maximales sur une heure. En aval de ces sites, soit à Surrey East (C.-B.) et à Enumclaw (Washington), les concentrations d’ozone sont plus élevées et nettement plus proches des normes (voir figure 5.8). Les moyennes annuelles sur une heure se situent entre 18 et 20 ppb et les moyennes maximales sur une heure entre 70 et 160 ppb à Surrey East. Les données pour Enumclaw indiquent des moyennes annuelles se situant entre 22 et 32 ppb et des maximums sur une heure allant de 100 à 152 ppb.

L'analyse des concentrations d'ozone à divers sites d'échantillonnage permet de se faire une idée précise de la variabilité des concentrations en aval des sources d'émissions. L'analyse de l'ozone à des sites plus ruraux, où l'ozone ne se forme pas dans les environs mais est transporté vers le site, révèle un comportement différent par rapport aux normes. Dans cette situation, les concentrations d'ozone sont plus proches des normes que celles des sites urbains (voir figure 5.9). Par exemple, la moyenne annuelle des concentrations d'ozone sur une heure à Chilliwack est semblable à celle relevée à Surrey East (18 à 20 ppb), tandis que le maximum sur une heure de la moyenne annuelle se situe entre 70 et 105 ppb.

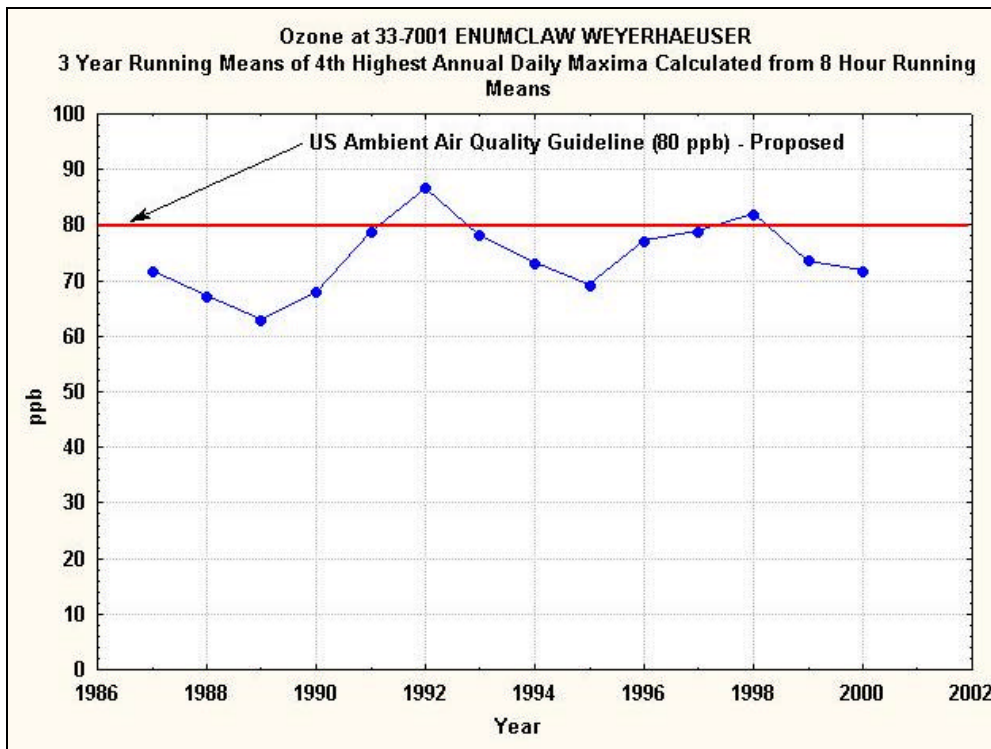


Figure 5.8. États-Unis. Calcul relatif à Enumclaw (Washington) (AIRS) selon la norme pour l'ozone de l'EPA

TRADUCTION DE LA FIGURE 5.8

Ozone at 33-7001... 3 Year Running Means...	Ozone à 33-7001 ENUMCLAW WEYERHAEUSER Moyenne mobile sur 3 ans du quatrième maximum quotidien annuel calculé à partir des moyennes mobiles sur 8 heures
US Ambient Air Quality...	Ambient Air Quality Guideline des États-Unis (80 ppb) – Prévue
ppb Year	ppb Année

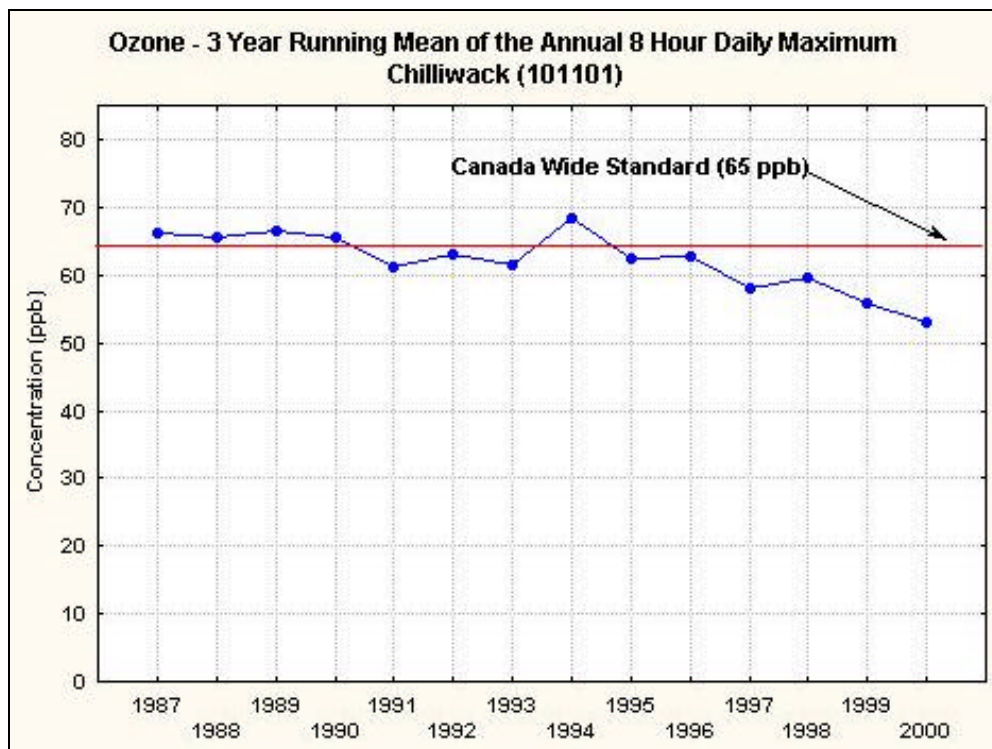


Figure 5.9. Calcul de l’ozone à Chilliwack (C.-B.) (RNSPA) selon le standard pancanadien

TRADUCTION DE LA FIGURE 5.9

Ozone – 3 Year Running...	Moyenne mobile sur 3 ans du maximum quotidien annuel sur 8 heures à CHILLIWACK (101101)
Canada Wide Standard (65 ppb)	Standard pancanadien (65 ppb)
Concentration (ppb)	Concentration (ppb)
Year	Année

Des endroits comme Victoria ou les îles Gulf, dans le bassin atmosphérique du bassin de Georgia, et peut-être même les îles San Juan, dans le bassin atmosphérique du Puget Sound, sont suffisamment éloignés des sources d’ozone ou de ses précurseurs pour que la distribution de l’ozone y prenne encore une autre forme. Les concentrations d’ozone y montrent les moyennes mensuelles les plus élevées au printemps. Ce phénomène de concentrations d’ozone élevées au printemps est relativement courant dans tout le bassin atmosphérique, mais il est accentués à ces endroits, car ils réagissent aux concentrations d’ozone régionales et mondiales.

On observe une autre configuration à des sites montagneux comme Paradise sur le mont Rainier et White Pass dans l’État de Washington. Ceux-ci présentent des fluctuations diurnes minimales des concentrations d’ozone, avec des niveaux modérés à élevés durant toute la journée. Les études réalisées au mont Rainier révèlent une augmentation de l’exposition à l’ozone avec l’altitude (Brace et Peterson, 1998). C’est ainsi que les secteurs d’altitude du bassin atmosphérique situés en aval des centres urbains peuvent être plus exposés à l’ozone

que les centres urbains ou les banlieues, en dépit de concentrations de pointe plus élevées aux sites de moindre altitude.

La façon dont les concentrations d’ozone fluctuent durant l’année, le mois, la semaine et la journée dépend de la proximité des stations de mesure aux sources d’émissions. Le moyennage des concentrations d’ozone de plusieurs sites d’échantillonnage situés dans les limites d’un bassin atmosphérique donne un résultat différent et une interprétation différente des concentrations d’ozone par rapport aux normes de qualité de l’air.

Des études scientifiques consacrées aux impacts de l’ozone sur la santé de l’homme montrent que les normes et les objectifs actuels de qualité de l’air ambiant ne protègent pas certains segments vulnérables de la population. On a constaté des conséquences sur la santé à des concentrations nettement inférieures à celles qu’on utilise comme normes de qualité de l’air ambiant. Les études montrent par ailleurs que les normes en vigueur ne protègent pas non plus les écosystèmes. Les sites ruraux sont particulièrement vulnérables, là où les concentrations horaires maximales peuvent être inférieures à ce qu’elles sont dans les banlieues, alors que l’exposition générale y est plus élevée du fait que les niveaux d’ozone restent élevés tout au long de la journée. Une étude montre une diminution de 50 p. 100 de la croissance des peupliers deltoïdes poussant en milieu rural par opposition à ceux des milieux urbains, même si les arbres poussant en milieu urbain étaient exposés à des concentrations de pointe d’ozone plus élevées et à des concentrations supérieures de nombreux autres polluants (Gregg, *et al.*, 2003).

Ozone de fond

Les concentrations d’ozone troposphérique dans les couches inférieures de l’atmosphère sont avant tout le fait de réactions photochimiques, du transport et d’intrusions d’ozone stratosphérique. On a observé que l’ozone et ses précurseurs peuvent parcourir de grandes distances dans l’atmosphère. L’ozone formé à la surface peut être transporté dans les couches supérieures de la troposphère, où il peut demeurer pendant des semaines (Derwent, 2002). Les émissions des précurseurs de l’ozone qui s’élèvent dans l’atmosphère produisent de l’ozone, ce qui augmente le réservoir mondial. Les systèmes météorologiques rabattent alors l’ozone jusqu’à la surface, ce qui s’ajoute aux concentrations produites localement. Des masses d’air pollué traversant l’océan Pacifique sont responsables d’une augmentation de 10 ppb des concentrations d’ozone de surface le long de la côte ouest depuis dix ans et devraient majorer les concentrations d’ozone de plusieurs autres ppb au cours des dix prochaines années (Jaffe, 2002).

Ces sources régionales et mondiales d’ozone et de précurseurs de l’ozone représentent ce que l’on appelle l’ozone « de fond ». Plusieurs études ont cherché à quantifier les concentrations d’ozone de fond. Fiore *et al.* (2002) ont déterminé que la concentration actuelle d’ozone de fond au niveau du sol est d’environ 20 à 45 ppb durant l’été aux États-Unis. Des concentrations de 40 à 50 ppb sont souvent relevées au printemps dans les régions rurales le long du littoral et sont désignées comme concentrations de fond (Jaffe, 2002). Ces concentrations d’ozone de fond sont le fait de sources à la fois naturelles et anthropiques. C’est pourquoi, même si les concentrations de fond augmentent, une partie peut être contrôlée.

L’étude des concentrations annuelles d’ozone dans le bassin atmosphérique du bassin de Georgia fait ressortir deux grandes tendances (Vingarzan, 2003). (Pour les besoins de notre analyse, nous avons éliminé des données les influences météorologiques pour être sûrs que

les tendances reflètent bien les changements des émissions.) Tous les sites d'échantillonnage ont montré une baisse des concentrations d'ozone durant l'été. Les sites installés en aval des sources d'émissions, et donc plus influencés par la formation locale d'ozone, ont affiché une baisse des concentrations quotidiennes maximales d'ozone. Par opposition, les sites installés en amont ou dans le périmètre des sources d'émissions ont affiché une hausse des concentrations. Les sites qui subissaient moins l'influence de la formation locale d'ozone ont montré les effets d'une baisse des émissions de NO_x et une hausse des concentrations d'ozone de fond.

Facteurs météorologiques

La formation d'ozone dans les basses couches de l'atmosphère exige l'occurrence simultanée de certaines conditions. Les concentrations d'ozone atteintes durant le jour dépendent des conditions météorologiques du moment. L'ozone est formé dans des conditions estivales généralement dégagées avec des vents très faibles; c'est ce qu'on appelle des périodes de « stagnation ». La présence d'une situation de « blocage » dans les couches supérieures de l'atmosphère et le développement d'une zone de basse pression à la surface créent des conditions météorologiques propices à la photochimie nécessaire à la formation d'ozone. La séquence des phénomènes météorologiques qui aboutissent à l'apparition d'épisodes d'ozone a été décrite par Steyn *et al.* (1990) et par Steenburgh *et al.* (1996). Un épisode d'ozone survient lorsque le régime en altitude devient stationnaire au-dessus du bassin atmosphérique, ce qui permet aux conditions stagnantes de persister pendant plusieurs jours. La seule circulation d'air est due aux brises de terre/mer locales. L'air qui descend des hautes couches piège efficacement l'ozone et ses précurseurs à proximité de la surface. Tant que la situation de blocage persiste dans les couches supérieures de l'atmosphère, ces conditions demeurent.

Une étude des régimes météorologiques au-dessus du Bassin montre que, 38 p. 100 du temps, les conditions météorologiques ne sont pas propices à la formation locale d'ozone et qu'à peine plus de 3 p. 100 du temps les concentrations d'ozone sont élevées. Le régime météorologique qui provoque un épisode extrême survient très rarement (McKendry, 1994).

Résumé de l'analyse de l'ozone

L'analyse des concentrations d'ozone au site de l'île de Saturna (figure 5.4) affiche une structure commune, avec un maximum printanier de la moyenne et des maximums élevés durant l'été. L'ozone d'été est formé essentiellement par des réactions photochimiques locales et présente un cycle diurne marqué avec des concentrations maximales au milieu de l'après-midi et des minimums aux premières heures du matin. Les conditions météorologiques qui prévalent l'été produisent à l'occasion de fortes concentrations d'ozone; ce sont les concentrations maximums observées durant l'année, mais elles sont de courte durée.

Les concentrations d'ozone dans les régions urbaines sont plus élevées en aval, où la formation locale d'ozone est le mécanisme dominant. C'est ainsi que les sites d'échantillonnage éloignés des principales sources d'émissions affichent des concentrations d'ozone beaucoup plus proches des normes de qualité de l'air que les sites situés au cœur des villes. Les sites en altitude, comme les régions montagneuses, qui sont en aval des sources d'émissions, présentent des concentrations d'ozone élevées. Les concentrations d'ozone en amont ou aux sites éloignés des sources sont plus susceptibles de subir l'influence de l'ozone de fond. Ces sites ont souvent des concentrations d'ozone plus proches des normes de qualité de l'air que ceux situés au cœur des villes qui subissent un fort titrage des NO_x. Les sites qui

ne sont pas directement affectés par les sources d'émissions locales courent plus de risques de voir augmenter les concentrations d'ozone à cause d'une augmentation de l'ozone de fond.

Particules (PM)

Taille des particules

Les matières particulaires ou les particules en suspension dans l'atmosphère sont généralement caractérisées par leurs dimensions ou leur diamètre. Le diamètre des particules peut varier de nanomètres (nm) à plusieurs dizaines de micromètres (μm). Ce vaste spectre des dimensions des particules est désigné sous l'appellation de total des particules en suspension (TPS). Les particules d'un diamètre inférieur à $10 \mu\text{m}$, que l'on appelle couramment PM_{10} , présentent un intérêt particulier pour cette étude. Le diamètre d'un cheveu humain est d'environ $70 \mu\text{m}$, ce qui permet de se faire une idée plus précise de ces minuscules particules en suspension. Il faut signaler qu'un échantillon de PM_{10} contient toutes les particules d'un diamètre inférieur à $10 \mu\text{m}$. Les particules dont le diamètre se mesure en nanomètres sont dites « ultrafines ». Les particules fines sont celles d'un diamètre inférieur à $2,5 \mu\text{m}$ ou $\text{PM}_{2,5}$. Les particules dont le diamètre se situe entre PM_{10} et $\text{PM}_{2,5}$ sont considérées comme la « fraction grossière ».

La distribution des particules fines dans l'atmosphère peut être décrite de deux façons. L'une est liée à leurs dimensions. Les particules les plus nombreuses sont de dimensions très petites, alors que le volume global provient du nombre plus petit de particules plus grosses (voir figure 5.10). La distribution des particules par masse présente un maximum autour de $0,6 \mu\text{m}$ à $0,8 \mu\text{m}$ de diamètre, avec un deuxième pic près de $6 \mu\text{m}$.

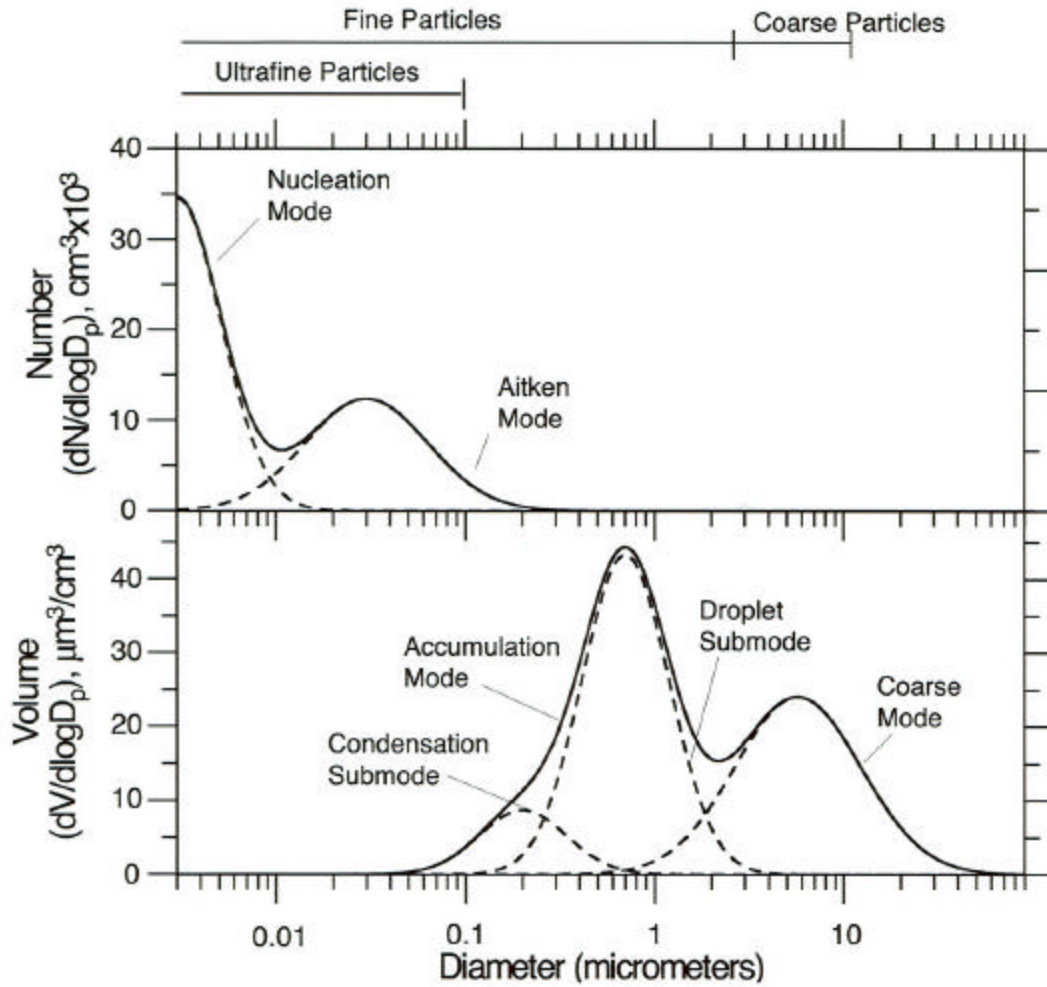


Figure 5.10. Distribution des particules fines par numération et masse (extrait du NARSTO, 2003)

TRADUCTION DE LA FIGURE 5.10

Fine particles
Coarse Particles
Ultrafine Particles

Particules fines
Particules grossières
Particules ultrafines

Number $(dN/d\log D_p)$, $\text{cm}^3 \times 10^3$
Volume $(dV/d\log D_p)$, $\mu\text{m}^3/\text{cm}^3$
Diameter (micrometers)

Nombre $(dN/d\log D_p)$, $\text{cm}^3 \times 10^3$
Volume $(dV/d\log D_p)$, $\mu\text{m}^3/\text{cm}^3$
Diamètre (micromètres)

Nucleation Mode
Aitken Mode
Condensation Submode
Accumulation Mode
Droplet Submode
Coarse Mode

Mode de nucléation
Mode Aitken
Sous-mode de condensation
Mode d'accumulation
Sous-mode de gouttelettes
Mode grossier

Sources de PM

La deuxième façon de décrire la distribution des particules dans l'atmosphère est liée à leur source. Les particules émises directement dans l'atmosphère à partir de sources comme les embruns, la chasse-poussière, la combustion de combustibles fossiles, etc. sont ce qu'on appelle les particules primaires. Ces particules primaires se trouvent à la fois dans les fractions fines ($PM_{2.5}$) et de plus grand diamètre ($PM_{2.5}$ à PM_{10}).

Les particules de la fraction $PM_{2.5}$ se forment généralement à partir de précurseurs gazeux via des processus physiochimiques et sont dites particules secondaires. Les gaz qui entrent le plus souvent en jeu sont le SO_2 , les NO_x , le NH_3 et les COV.

Parmi les sources de dioxyde de soufre (SO_2) figurent les volcans, les bactéries marines et les milieux humides, bien que la source principale soit la combustion des combustibles fossiles. L'oxydation du SO_2 en sulfates (SO_4^-) est une transformation chimique importante dans la formation des particules fines. Les sulfates sont généralement créés par la réaction chimique du SO_2 et du radical hydroxyle (OH), par la dissolution de SO_2 dans l'eau des nuages, du brouillard ou de la pluie et par l'oxydation du SO_2 lors de réactions qui se produisent dans les particules d'aérosols proprement dites. Le premier processus prédomine pendant le jour, mais est négligeable la nuit. L'oxydation en phase aqueuse qui produit du SO_4^- dans l'eau des nuages peut survenir très rapidement, convertissant souvent la totalité du SO_2 disponible. Certains affirment que l'eau des nuages et du brouillard est responsable de la production de jusqu'à la moitié du SO_4^- , ce qui entraîne des concentrations élevées de sulfates. Les particules sont formées dans ce processus aqueux après évaporation de l'eau des nuages, ce qui laisse des sulfates particulaires. Ces réactions donnent de l'acide sulfurique (H_2SO_4), qui se combine facilement à l'ammoniac (NH_3) pour former du sulfate d'ammonium [$(NH_4)_2SO_4$]. Il s'agit de la forme entièrement neutralisée de la particule; toutefois, s'il n'y a pas suffisamment de NH_3 , il se forme alors du bisulfate d'ammonium (NH_4HSO_4), ce qui donne une particule encore acide.

Les oxydes d'azote (NO , NO_2) se forment biologiquement dans le sol et lors de réactions avec l'oxygène dans la combustion à haute température. Le radical nitrate (NO_3), l'ozone et le radical hydroxyle (OH) participent aux réactions le jour. La nuit, les NO_x ($NO+NO_2$) réagissent avec l'ozone pour produire le radical nitrate (NO_3). Cette réaction joue un rôle important dans la réduction des concentrations d'ozone pendant la nuit. Ces réactions modifient les concentrations des trois espèces (NO_3 , O_3 , OH), qui sont les principaux agents oxydants de la formation d'aérosols. Une autre réaction chimique importante convertit les NO_x ($NO+NO_2$) en acide nitrique (HNO_3). Cela survient dans les réactions entre le NO_2 et l'OH, le jour, et entre le NO_2 et le radical nitrate (NO_3) pour former du N_2O_5 et de l'acide nitrique, la nuit. L'acide nitrique (HNO_3) atteint dans l'atmosphère l'équilibre entre les phases gazeuse et liquide. Il réagit avec NH_3 , le sel de mer et les poussières, mais le résultat le plus probable est la formation de NH_4NO_3 . Cette réaction dépend de la présence de NH_3 , de basses températures et d'une humidité relative élevée. Les particules qui résultent de la voie NH_3 appartiennent à la fraction fine, alors que celles qui sont formées au contact du sel de mer ou des poussières se trouvent également dans la fraction grossière. On trouvera des précisions sur les réactions chimiques qui entraînent la formation de particules et d'aérosols dans Makar (2001).

L'azote sous forme d'ammoniac (NH_3) réagit à la fois avec HNO_3 et avec H_2SO_4 pour produire des particules fines. Ces réactions ont déjà été décrites. Il est important de souligner que la réaction entre le NH_3 et le HNO_3 qui entraîne la formation de NH_4NO_3 dépend des concentrations relatives de NH_3 et de SO_4^- . Les voies de l'acide nitrique et de l'acide

sulfurique privilégient toutes deux des températures plus basses et une humidité relative plus élevée qui accélèrent la formation des particules. Les émissions d'ammoniac jouent un rôle important dans la distribution temporelle et spatiale des particules fines (Barthelmie et Pryor, 1998).

La portion organique des particules fines est une association complexe de centaines de composés organiques différents. Les aérosols organiques élémentaires sont émis directement dans l'atmosphère par des sources à la fois naturelles et anthropiques. Les composés qui jouent un rôle important dans la formation des aérosols sont des composés organiques gazeux, semi-volatils et non volatils. Les réactions et les processus qui mènent à la formation d'aérosols sont complexes. Pour passer de la phase gazeuse à la phase liquide, les composés organiques doivent être soit semi-volatils soit non volatils. Les composés organiques en phase gazeuse donnent des produits de réactions d'oxydation qui sont semi-volatils ou non volatils. Toutes les formes de composés organiques peuvent donc participer à la formation de particules. Les particules formées dans l'atmosphère sont dites aérosols organiques secondaires (AOS). L'aptitude des COV à former des AOS dépend d'un grand nombre des conditions nécessaires à la formation d'autres particules secondaires : température, humidité relative, concentration des COV, réactivité, présence d'oxydants et volatilité des produits. Les COV provenant de sources de combustion interne sont responsables de 50 à 70 p. 100 des AOS. Il a été montré que c'est la portion aromatique des COV qui est responsable de la plupart des particules formées.

Sources naturelles

Les poussières soulevées par le vent constituent la source naturelle de particules élémentaires la plus courante. Toutefois, les embruns, les volcans et les feux de friche y contribuent aussi. Les composés organiques émis par la végétation (biosynthétiques) peuvent prendre la forme de particules élémentaires ou réagir avec d'autres composés pour produire des AOS, comme nous l'avons vu plus haut. Ce processus, par lequel des composés organiques biosynthétiques produisent des particules fines, est très important dans les régions dominées par la végétation et peut expliquer une importante portion des particules inframicrométriques.

Les environnements marins, les volcans et les milieux humides sont des sources naturelles de soufre et d'autres composés qui entrent dans des réactions pour former des particules secondaires. Les secteurs d'eau salée du bassin de Georgia/Puget Sound sont des exemples de source naturelle de soufre. Une étude de Norman (2002) a révélé que 30 p. 100 des sulfates non liés au sel de mer piégés dans les précipitations au sud des îles Gulf et jusqu'à 13 p. 100 des aérosols sulfatés dans la vallée du bas Fraser proviennent de l'oxydation du sulfure de diméthyle. Ces sources naturelles sont une source de sulfates qui réagissent avec d'autres polluants atmosphériques, en particulier le NH_3 , pour former des PM.

Une source importante de PM_{10} et de $\text{PM}_{2,5}$ arrive dans le Bassin en provenance de l'océan Pacifique par transport à grande distance depuis l'Eurasie. La partie naturelle de ce transport est la poussière, même si une composante de pollution anthropique est incontestablement transportée par ces systèmes météorologiques et vient s'ajouter à la pollution atmosphérique dans le bassin atmosphérique du bassin de Georgia/Puget Sound. En 1988, une tempête de poussière a donné des concentrations de PM_{10} supérieures à $65 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sur tout le bassin de la fin avril au début mai, alors que les concentrations normales sont de l'ordre de $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (EPA, 2002). Chilliwack, à l'est du bassin atmosphérique du bassin de Georgia, a enregistré alors des concentrations de PM_{10} de $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et des concentrations de $\text{PM}_{2,5}$ de $44 \mu\text{g}/\text{m}^3$

(Suzuski, 2003). Les tempêtes de poussière peuvent faire croître les concentrations de $PM_{2.5}$ de $8,7 \pm 2,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (EPA, 2002).

Sources anthropiques

Les principaux polluants atmosphériques qui contribuent à la formation de particules fines sont le SO_2 , les NO_x , le NH_3 et les COV. Il s'agit d'un sous-ensemble des principaux contaminants atmosphériques décrits plus haut. Pour une analyse des sources d'émissions, se reporter aux sections précédentes.

L'importance relative des diverses sources dans la formation des particules peut être établie par analyse chimique des mesures des PM ambiantes. L'analyse chimique est alors suivie d'autres techniques statistiques pour définir les secteurs d'origine. À titre d'exemple de ce processus, on associe les mesures des échantillonneurs IMPROVE à des modèles comme le Positive Matrix Factorization (PMF) pour déterminer la composition des particules fines et leurs sources possibles. Ce type d'analyse fait ressortir les différences de spéciation des PM entre les zones urbaines, les banlieues et les régions plus rurales.

Analyse de la composition des PM

La composition des particules caractéristiques des zones urbaines de Vancouver et Seattle est illustrée aux figures 5.11 et 5.12 (Brook, 2002; Maykut, 2001). La composition chimique des particules est dominée par les matières carbonées, le carbone organique représentant respectivement 46 et 43 p. 100 du total à Vancouver et à Seattle. Outre le carbone élémentaire, ces figures montrent l'influence profonde des sources de combustion sur la composition des PM. Les sulfates sont le deuxième élément le plus important de leur composition, et reflète non seulement la présence des produits de la combustion des carburants mais également une influence marine. Il n'est pas étonnant que le NO_3 soit présent en quantités importantes dans les deux milieux urbains de Seattle et Vancouver, où dominent les émissions dues à la combustion.

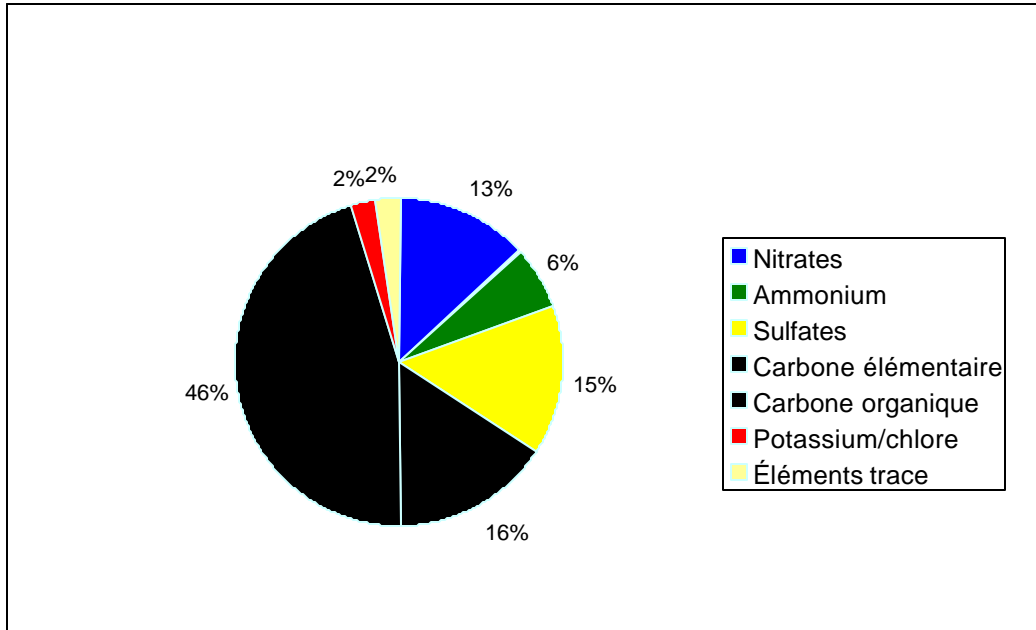


Figure 5.11. Répartition en pourcentage des principaux constituants chimiques des PM_{2.5} (zone urbaine de Vancouver) (adapté de Brook, 2002)

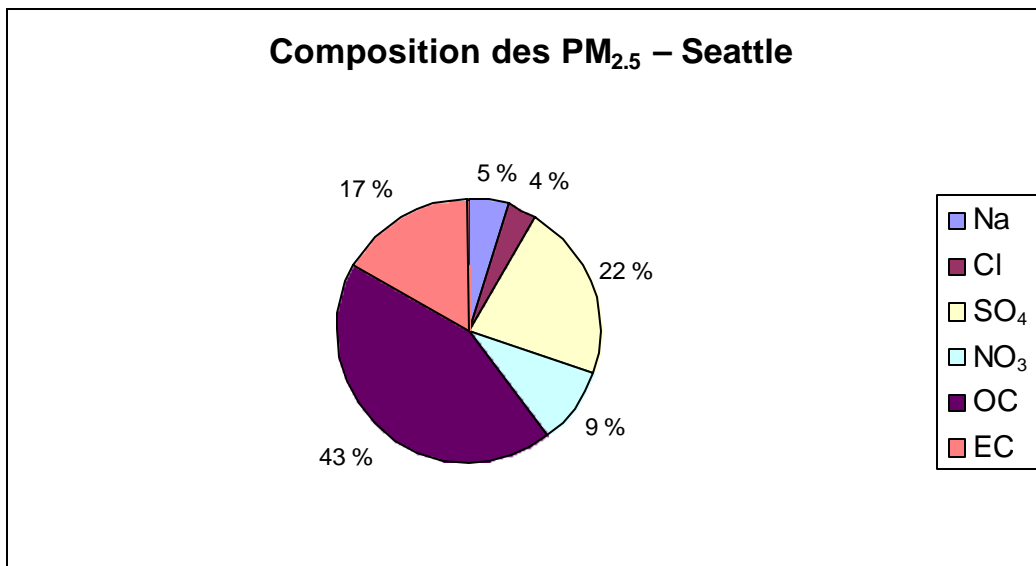


Figure 5.12. Répartition en pourcentage des principaux constituants chimiques des PM_{2.5} (zone urbaine de Seattle) (adapté de Maykut, 2001)

La concentration des particules change avec la distance aux principales sources d'émissions, mais la composition reste semblable. L'analyse chimique durant REVEAL II (Pryor et Barthelmie, 1999) montre que la fraction fine se compose de produits inorganiques, essentiellement des sulfates et des nitrates, avec une forte proportion de composés organiques. Parmi les autres constituants figurent le carbone élémentaire, le sol et les aérosols marins (figures 5.13 et 5.14).

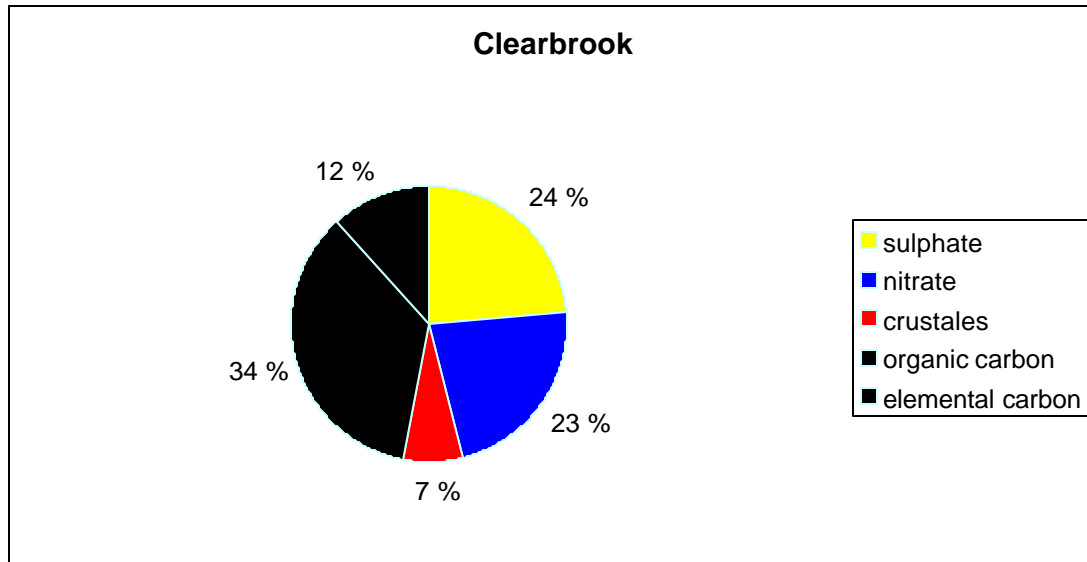


Figure 5.13. Contribution en pourcentage à la masse fine reconstruite à partir des cinq modes dominants de composition des particules fines à Clearbrook (étude REVEAL II)

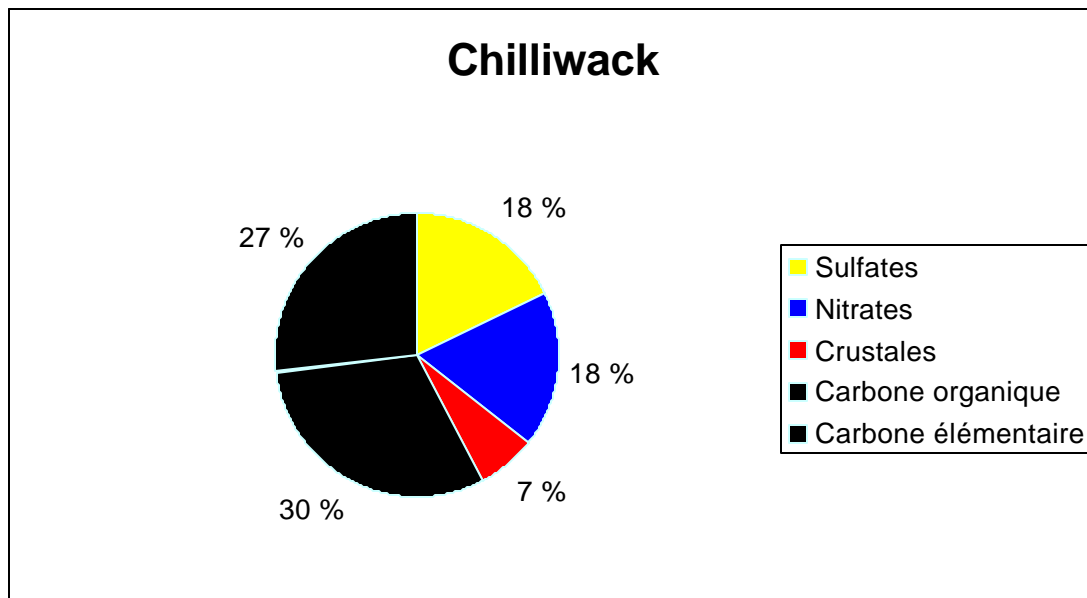


Figure 5.14. Contribution en pourcentage à la masse fine reconstruite à partir des cinq modes dominants de composition des particules fines à Chilliwack (étude REVEAL II)

Clearbrook se trouve au centre du bassin atmosphérique du bassin de Georgia, et Chilliwack à l'extrême-est de la vallée du bas Fraser. La contribution en pourcentage du carbone organique et du carbone élémentaire diminue au centre du bassin atmosphérique. Toutefois, la prédominance des sulfates et des nitrates inorganiques persiste dans tout le bassin atmosphérique. On observe en général les niveaux records de particules fines de nitrate

(nitrate d'ammonium) au centre et à l'est, à cause des plus fortes émissions d'ammoniac. La figure 5.15 illustre les concentrations relatives d'ammonium, de sodium, de sulfates et de nitrates de même que la taille des particules mesurées. (Remarque : la taille des particules augmente de droite à gauche.) Le nitrate de sodium domine la fraction grossière, alors que le sulfate d'ammonium et, dans une moindre mesure, le nitrate d'ammonium figurent dans les fractions plus fines. Cet état de chose est dû surtout à la formation de nitrate de sodium par réaction de l'acide nitrique avec le sel de mer (NaCl).

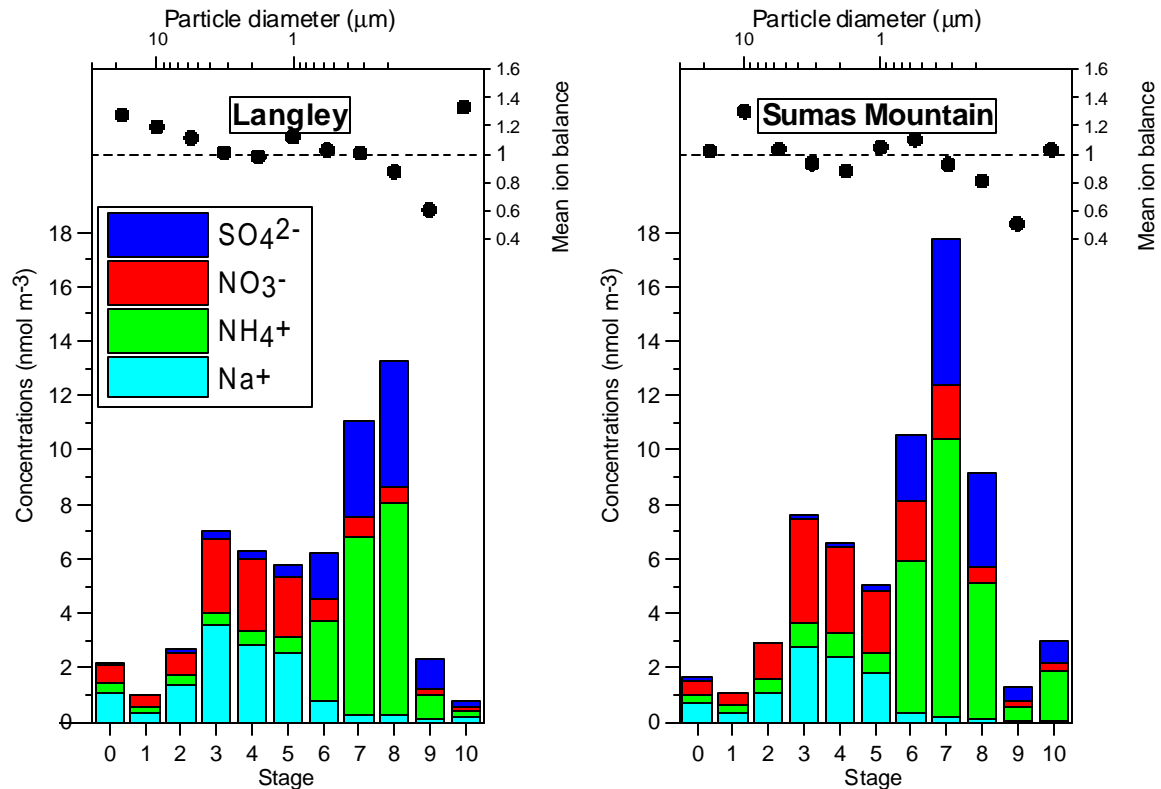


Figure 5.15. Composition chimique et fraction granulométrique des PM à deux endroits du bassin atmosphérique du bassin de Georgia (Pyror, 2003)

Particle diameter (μm) = Diamètre des particules (μm)

SO₄²⁻ = SO₄²⁻

1.6 = 1,6 etc.

Mean ion balance = Bilan moyen des ions

Stade - Stade

On constate une composition similaire des PM_{2,5} dans les régions plus éloignées du bassin. L'analyse des particules au mont Rainier et à Snoqualmie Pass continue de montrer la prédominance du carbone organique. Les concentrations de sulfates aux deux endroits sont nettement supérieures aux concentrations de nitrates, qui sont analogues à celles enregistrées à Seattle. Les concentrations plus élevées de nitrates par rapport aux sulfates dans le bassin de Georgia s'expliquent sans doute par le moins grand nombre de sources de combustion qui émettent du SO₂ et par la prédominance des NO_x attribuables aux émissions des véhicules.

Variations saisonnières de la composition des PM

Les analyses préalables ont montré que les particules sont souvent un ensemble complexe de produits chimiques, à la fois organiques et inorganiques. Le carbone organique domine la fraction granulométrique des $PM_{2.5}$ dans tout le Bassin. La contribution fractionnelle des aérosols organiques atteint son maximum à l'automne et en hiver (voir figure 5.16), ce qui reflète le pic des concentrations de COV et la fréquence accrue des moindres profondeurs de mélange, des températures plus basses et une humidité relative plus élevée. Les sulfates et les nitrates prédominent dans la fraction inorganique. Ces deux groupes sont présents sous forme de sulfate d'ammonium et de nitrate d'ammonium, et affichent des concentrations plus élevées l'hiver et moins élevées l'été. C'est en hiver qu'on a relevé les concentrations maximums de carbone élémentaire ou noir (inorganique), à cause de la combustion du bois et d'autres combustibles de chauffage. Dans les régions agricoles de l'est du bassin de Georgia, les plus fortes concentrations pédologiques ont été observées l'hiver, sans doute à cause de l'influence de forts vents sortants et des importantes superficies de champs non cultivés exposés à cette période de l'année.

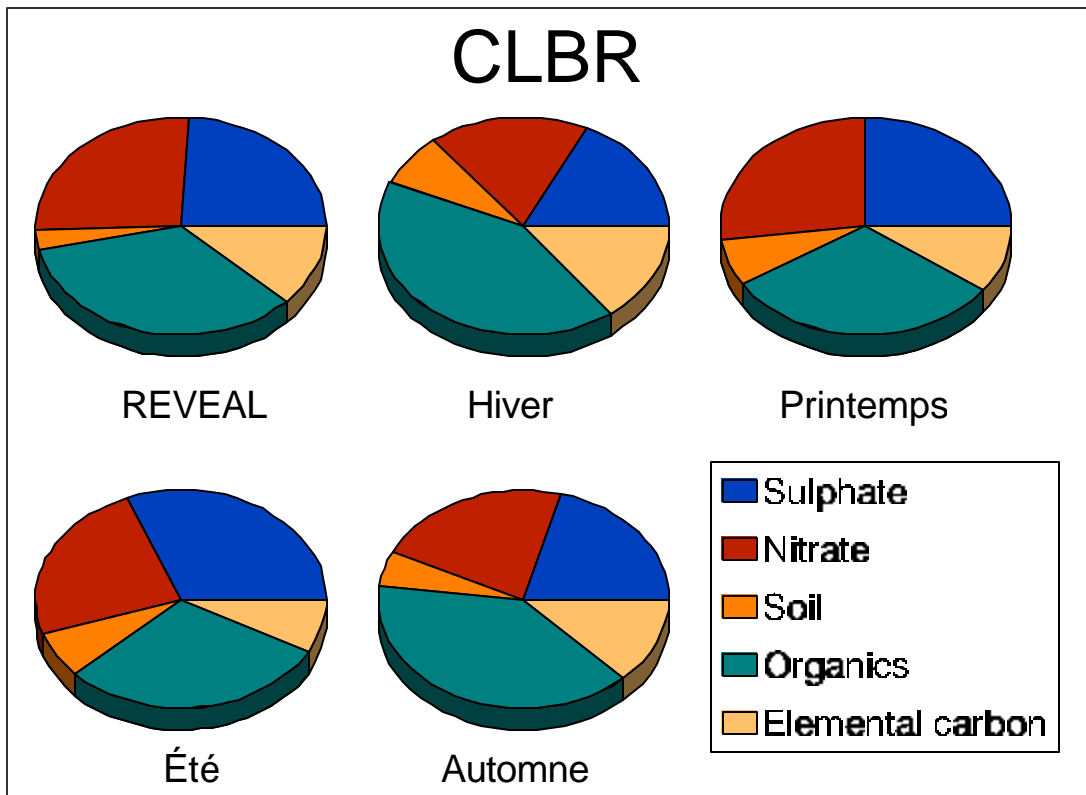


Figure 5.16. Concentrations relatives de $PM_{2.5}$ à Abbotsford (CLBR) (Pyror, 1999)

TRADUCTION DE LA FIGURE 5.16

CLBR	CLBR
REVEAL	REVEAL
Sulphate	Sulfates
Nitrate	Nitrates
Soil	Sol
Organics	Composés organiques
Elemental carbon	Carbone élémentaire

À mesure que l'on s'éloigne des influences urbaines, la composition des particules présente de plus fortes concentrations de carbone organique, de carbone élémentaire et de sulfates l'été, les concentrations de sulfates atteignant un minimum en hiver (IMPROVE, 2003). Les concentrations de nitrates sont relativement basses et montrent très peu de fluctuation d'une saison à l'autre.

Sources et régions émettrices des principaux composés chimiques préoccupants

Les mesures sont soumises à une analyse plus poussée à l'aide de la Positive Matrix Factorization afin de déterminer les contributions relatives des diverses sources à la fraction granulométrique des $PM_{2.5}$. À Seattle, les trois principales sources qui contribuent à la masse des particules ($PM_{2.5}$) sont le brûlage de la végétation, pour 28 p. 100, les sources mobiles, pour 22 p. 100 (18 p. 100 pour le carburant diesel et 4 p. 100 pour l'essence), et les sulfates secondaires, pour 18 p. 100 (Maykut, 2001). Une analyse semblable réalisée à Abbotsford au cœur de la vallée du bas Fraser révèle que les sources mobiles représentent 39 p. 100 (3 p. 100 pour le diesel, 36 p. 100 pour l'essence), les nitrates secondaires 29 p. 100 et les sulfates secondaires 13 p. 100. Plus à l'est dans la vallée, les sources mobiles représentent 30 p. 100 (7 p. 100 pour le diesel, 23 p. 100 pour l'essence), les nitrates secondaires 26 p. 100 et les sulfates secondaires 14 p. 100 (Ostermann, 2002).

Concentrations annuelles et saisonnières de $PM_{2.5}$ et de PM_{10}

Les propriétés physiques et chimiques des particules ont été décrites, avec leurs divers modes de formation. Pour mesurer la masse des particules, des échantillonneurs font partie du programme de surveillance régulière de la pollution atmosphérique. Le débat sur la meilleure façon de mesurer les particules en suspension dans l'atmosphère se poursuit. Les valeurs utilisées dans cette analyse proviennent des inventaires nationaux de données sur la qualité de l'air du Canada et des États-Unis. Ces archives font état également des appareillages et des méthodes de contrôle et d'assurance de la qualité qui ont servi à recueillir les données. Pour l'essentiel, les données recueillies et mentionnées ici sont compatibles entre les deux instances.

Les mesures des particules discutées plus bas concernent les fractions PM_{10} et $PM_{2.5}$. Les échantillonneurs sont pourvus d'« orifices » d'admission spécialement conçus pour permettre de mesurer un certain pourcentage de particules de diamètres différents. La taille ou la fraction des échantillons se définit par la coupure de 50 p. 100, qui est la taille des particules à laquelle l'échantillonneur prélève 50 p. 100 de l'échantillon et rejette l'autre moitié. Un échantillonneur de $PM_{2.5}$ retient donc 50 p. 100 des particules d'un diamètre de 2.5 μm . Les particules de taille plus petite seront prélevées avec une efficacité qui augmente rapidement

pour atteindre 100 p. 100. Les échantillonneurs utilisés ces dernières années aux sites canadiens pour mesurer en continu les PM_{10} et les $PM_{2.5}$ sont la microbalance oscillante à élément conique (TEOM) de Rupprecht et Patashnick (R&P). La TEOM répond au critère de performance pour être désignée comme échantillonneur équivalent fédéral de l'EPA des États-Unis, de sorte que les données sont comparables entre les réseaux de surveillance de la pollution atmosphérique.

La concentration massique annuelle moyenne des $PM_{2.5}$ dans le bassin atmosphérique du bassin de Georgia/Puget Sound varie entre 6 et $8 \mu\text{g}/\text{m}^3$, sauf à proximité des grands centres urbains de Seattle, Victoria et Vancouver, où la moyenne se situe entre 9 et $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Des concentrations de $4,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et de $3,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ont été relevées respectivement au mont Rainier et à Snoqualmie Pass. C'est généralement à l'automne qu'on observe les concentrations annuelles moyennes records (95^e centile), principalement en octobre et novembre, où elles atteignent entre 23 et $27 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Dans le centre et l'est de la vallée du bas Fraser, les pics peuvent survenir dès le mois d'août et sont associés à de moindres concentrations ($\sim 18 \mu\text{g}/\text{m}^3$). La région de la rivière Powell enregistre des pics de $17 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dans les concentrations annuelles moyennes, qui se produisent souvent dès le mois de juillet ou d'août. Les PM_{10} affichent beaucoup des caractéristiques des $PM_{2.5}$ dans la distribution des concentrations annuelles moyennes, qui varient de 12 à $16 \mu\text{g}/\text{m}^3$, les valeurs records étant généralement enregistrées en septembre, où elles atteignent 28 à $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$. La ville de Chilliwack connaît elle aussi des pics en août et en septembre, mais les concentrations peuvent y atteindre $37 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Le sud de l'île de Vancouver est le seul secteur qui enregistre des concentrations records de PM_{10} au printemps (avril), alors que Victoria connaît des pics de 55 à $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en octobre et novembre (Suzuski, 2003). Les banlieues du Puget Sound ont enregistré des concentrations de PM_{10} dépassant $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en hiver.

Les fluctuations intra-hebdomadaires des concentrations de PM_{10} montrent une différence de 20 p. 100 entre les maximums de milieu de semaine et les minimums, observés généralement le dimanche. Les écarts semblent moindres dans les banlieues qu'aux sites urbains ou très industrialisés. Les concentrations de $PM_{2.5}$ présentent des écarts intra-hebdomadaires infimes. Les fluctuations diurnes dans les concentrations de PM_{10} sont difficiles à déceler, mais il y a des pics le matin et le soir, celui du soir étant le plus important. La variation des concentrations de PM_{10} est souvent inférieure à $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ par rapport à la valeur quotidienne moyenne. Le cycle diurne des $PM_{2.5}$ présente de petits pics le matin et le soir, les concentrations massiques ne variant que de quelques $\mu\text{g}/\text{m}^3$ par rapport à la valeur quotidienne moyenne. Une exception a été relevée à Victoria, où les pics du soir ont atteint des valeurs supérieures de $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ à la moyenne.

Particules de fond

La concentration de fond des particules décrit la portion des charges de particules provenant de sources échappant au contrôle des instances locales. Quantité d'études ont cherché à déterminer la concentration de fond des PM (Vingarzan, 2003). Les concentrations de PM_{10} et de $PM_{2.5}$ illustrées au tableau 5.1 (adapté de Vingarzan, 2003) montrent que les concentrations annuelles moyennes de PM_{10} sont supérieures aux concentrations de fond, même si la fourchette se situe dans les limites des concentrations de fond pour l'ouest des États-Unis (EPA, 1996). La moyenne annuelle des $PM_{2.5}$ est supérieure aux concentrations de fond. La fourchette et le 10^e centile des $PM_{2.5}$ se situent largement dans les limites des concentrations de fond. Cela semblerait indiquer qu'au moins certains sites ne subissent qu'une l'influence minimale des sources anthropiques.

Tableau 5.1. Statistiques sommaires relatives aux concentrations de PM₁₀ et de PM_{2.5} sur une heure (µg/m³) (les valeurs sont des moyennes, la fourchette étant indiquée entre parenthèses)

	Concentrations de fond (mg/m ³)	Moyenne annuelle (mg/m ³)	10 ^e centile (mg/m ³)	30 ^e centile (mg/m ³)
PM ₁₀	5 ⁽¹⁾ 4,5 ⁽²⁾ 4-8 ⁽³⁾	15(6-29)	4,3(2-8)	7(3-14)
PM _{2.5}	2.5 ⁽¹⁾ 1,5 ⁽²⁾ 1-4 ⁽³⁾	5(1-9)	0,2(0-1)	2,0(0-4)

1 LCPE, 1999 – Canada.

2 Trijonis *et al.*, 1990 – Ouest des États-Unis.

3 EPA, 1996 – Ouest des États-Unis.

Influences météorologiques

L'été, les anticyclones produisent des inversions de subsidence qui forment un couvercle étanche sur les vallées, empêchant la dispersion des polluants. Les vents de surface dans le bassin atmosphérique subissent l'influence du relief local, comme nous l'avons vu dans les sections précédentes.

À l'extrémité sud du détroit de Georgia à proximité des îles Gulf et des îles San Juan, on relève une fréquence plus grande de vents légers. L'été, cette situation est propice à l'accumulation de polluants provenant de sources diverses et d'émissions marines (comme les navires), en particulier près du littoral de la Colombie-Britannique et de l'État de Washington. Lorsqu'une brise de mer/terre et un écoulement remontant les pentes des montagnes se développent, cette masse d'air relativement polluée est aspirée vers l'intérieur après avoir « muri » deux à trois jours au-dessus du détroit. Cela peut entraîner une augmentation des concentrations de particules jusqu'à Chilliwack vers l'est, surtout lorsque le phénomène est accompagné d'une pénétration plus forte d'air de l'ouest par le détroit de Juan de Fuca (Snyder, 2002). Les vents sortants qui suivent et qui sont généralement plus faibles que les vents entrants peuvent ramener cette masse d'air polluée au-dessus du détroit de Georgia, après avoir ramassé d'autres polluants émis au-dessus du continent. Le cycle peut se répéter plusieurs jours. En général, s'il persiste plus de trois jours, on peut s'attendre à une baisse significative de la visibilité à l'intérieur des terres. La durée de persistance de ce régime et la force des inversions de subsidence déterminent l'ampleur générale de l'accumulation de particules.

Ces mêmes conditions anticycloniques stagnantes estivales, accompagnées d'une brise de terre/mer, provoquent également des épisodes d'ozone troposphérique. Les concentrations diurnes de PM₁₀ peuvent alors atteindre 50 à 75 µg/m³, et des concentrations records de PM_{2.5} de 20 à 30 µg/m³ ne sont pas rares. Toutefois, il n'existe qu'une faible corrélation entre l'ozone troposphérique et les concentrations de PM₁₀ (McKendry, 2000). La formation de particules secondaires, qui a été liée à une dégradation de la visibilité (Pryor et Barthelmie, 1999), devient très active durant les inversions de subsidence l'été et s'amplifie durant les épisodes de stagnation prolongés et les phénomènes de flux entrants/sortants. L'hiver, les flux sortants d'air arctique soulèvent des poussières des sols cultivables et du lit exposé des cours d'eau. Les concentrations élevées de PM (~100 µg/m³) peuvent persister plusieurs jours, et sont généralement limitées à l'extrémité est de la vallée du bas Fraser.

On a étudié un registre des régimes météorologiques sur tout le Bassin et constaté que, 46 p. 100 du temps, les conditions sont propices à des concentrations élevées de PM. Contrairement à l’ozone, la fréquence maximum des régimes de temps entraînant une élévation des concentrations de PM se produit au printemps et en hiver. On a constaté que de fortes concentrations de PM l’été sont souvent associées aux conditions météorologiques stagnantes qui entraînent une élévation des concentrations d’ozone.

Visibilité

Bien que le concept de « visibilité » soit parfaitement compris, sa définition varie selon l’application qu’on en fait. Pour la qualité de l’air, la visibilité se définit comme la distance à laquelle le contraste de la cible équivaut au seuil de contraste de l’observateur. Quantité de gaz atmosphériques et de particules peuvent abaisser la capacité d’une personne à percevoir clairement un objet. La lumière qui illumine un objet ou une scène est soumise à différentes propriétés de l’atmosphère à mesure qu’elle se déplace vers l’observateur. Celles-ci peuvent être décrites par l’équation suivante :

$$b_{\text{ext}} = b_{\text{sp}} + b_{\text{ap}} + b_{\text{sg}} + b_{\text{ag}}$$

où : b_{ext} = coefficient d’extinction de la lumière

$b_{\text{sp}}, b_{\text{sg}}$ = coefficients de diffusion de la lumière pour les particules et les molécules gazeuses

$b_{\text{ap}}, b_{\text{ag}}$ = coefficients d’absorption de la lumière pour les particules et les molécules gazeuses

La capacité de distinguer ou d’identifier un objet dépend de la quantité de lumière qui est atténuée par les particules et les gaz atmosphériques, qui diffusent et absorbent des parties de cette lumière. Dans les atmosphères polluées, les processus de diffusion dominent l’extinction globale. Pryor (1999) a constaté que le coefficient de diffusion représente les deux tiers du coefficient d’extinction. Les valeurs théoriques du coefficient d’absorption étant connues, c’est le coefficient de diffusion qui est la véritable « variable mesurée » dans quantité d’études sur la visibilité. Les réseaux de mesure décrits plus haut et la plupart des études spéciales consacrées à la visibilité réalisées dans le Bassin donnent des valeurs pour le coefficient de diffusion, ce qui aboutit alors à un calcul du coefficient d’extinction et à une détermination de la visibilité.

L’analyse des particules atmosphériques dans les sections précédentes de ce rapport a révélé l’étendue de la gamme des tailles des particules que l’on peut rencontrer. Les particules d’un diamètre de 0,3 à 1,0 μm sont celles qui diffusent le plus la lumière. Cette plage granulométrique tend à cibler la discussion de visibilité sur la fraction des $\text{PM}_{2.5}$. Il faut connaître la composition chimique des particules de cette fraction granulométrique pour comprendre les sources éventuelles. Le programme d’échantillonnage IMPROVE a été conçu pour fournir des données sur la composition chimique dans cette fraction granulométrique (voir les discussions plus haut dans cette section). Les données recueillies grâce au programme IMPROVE et d’autres programmes d’échantillonnage (REVEAL) ont établi que le principal composant des particules fines ($\text{PM}_{2.5}$) est le carbone organique, le deuxième et le troisième étant généralement le soufre et l’azote associé à l’ammoniac (voir figure 5.17).

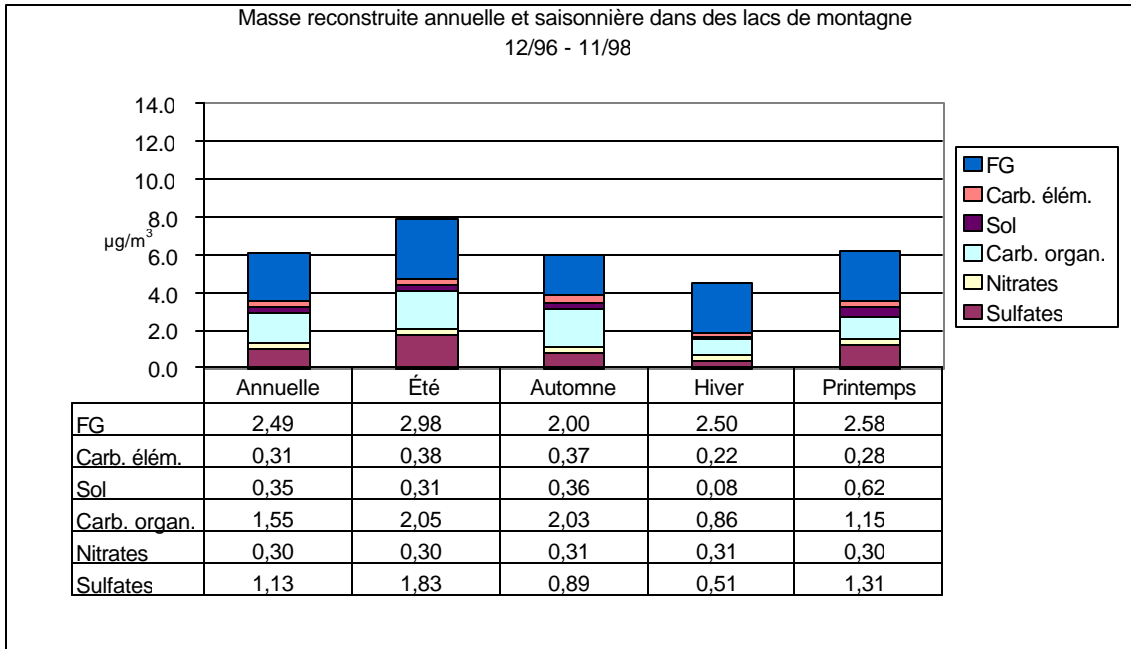


Figure 5.17. Moyennes annuelle et saisonnières de la masse totale reconstruite (MTR) dans des lacs de montagne pour tous les jours (12/1/96 – 11/30/98) (IMPROVE)

14.0 = 14,0 – 12.0 = 12,0 etc.

Les mesures des néphélomètres coimplantés à ces sites fournissent des données sur le coefficient d'extinction de la lumière qui peuvent servir à déterminer les composés influant le plus sur la diffusion de la lumière (voir figure 5.18). Les composés inorganiques NO_3^- et SO_4^{2-} tendent à dominer le coefficient d'extinction de la lumière lorsque ces données sont davantage stratifiées pour prendre en compte la plage granulométrique importante dans la dégradation de la visibilité. L'humidité de l'atmosphère, ou humidité relative, contribue grandement à déterminer la taille des aérosols. Certains de ces composés sont hygroscopiques, ce qui signifie que leur taille augmente à mesure qu'ils s'imprègnent d'humidité; les plus petites particules augmentent alors de diamètre jusqu'au stade où les aérosols ont une taille suffisante pour diffuser la lumière avec efficacité. À mesure que l'atmosphère s'assèche, l'humidité relative diminue, ce qui entraîne un nouveau changement dans le diamètre des aérosols; le résultat en est une particule en suspension dans l'atmosphère. Les particules associées à l'ammoniac se situent dans la fraction 2,5 μm et diffusent donc bien la lumière.

Extinction de la lumière (Mm^{-1})

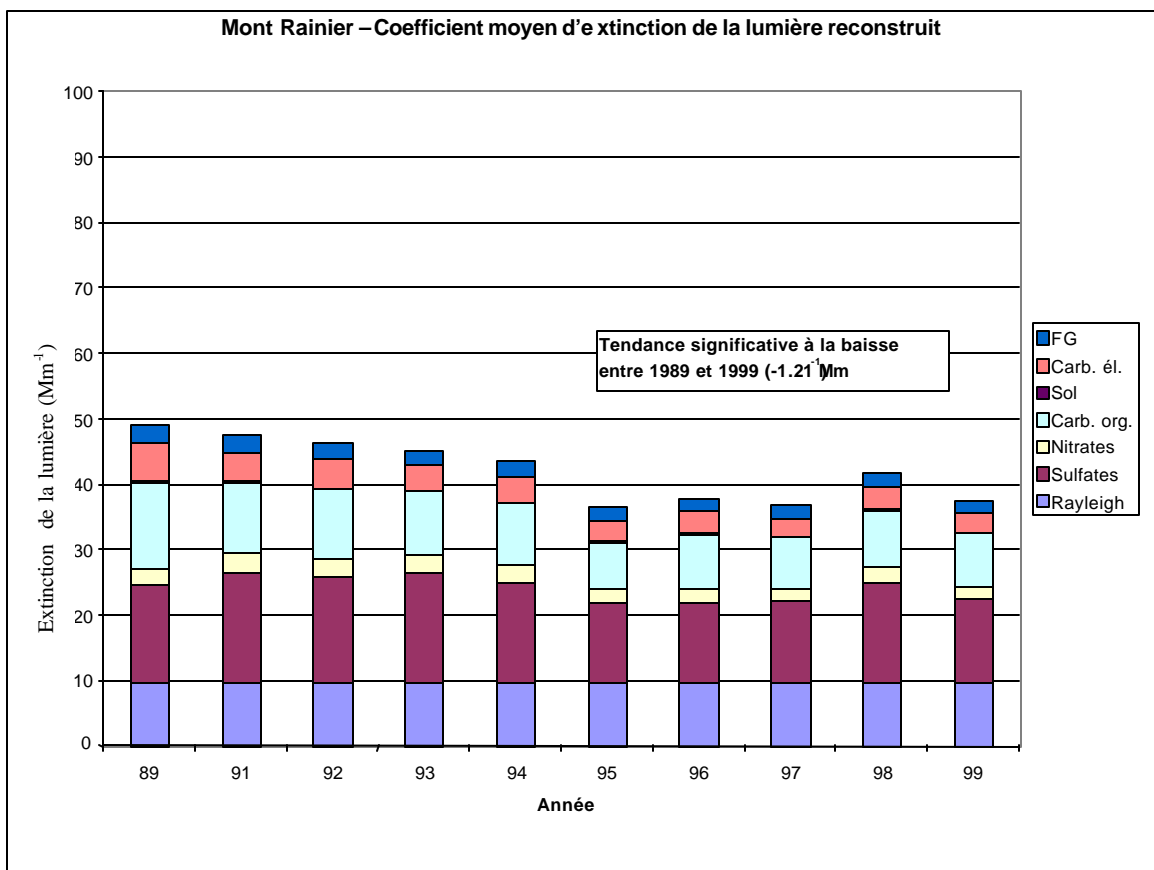


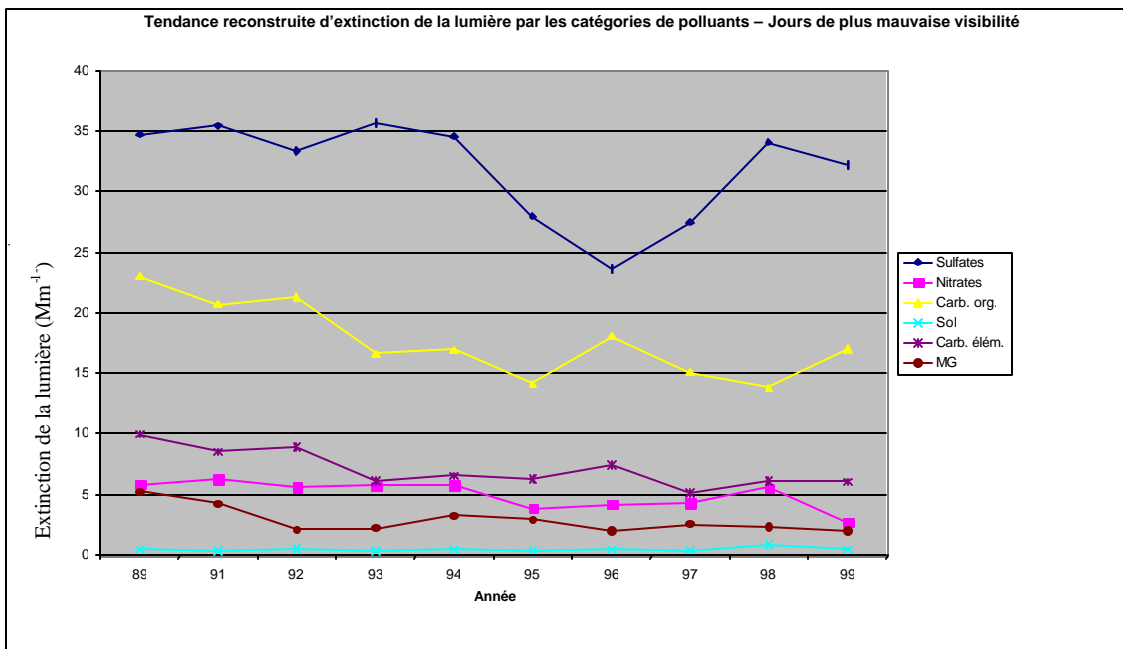
Figure 5.18. Tendance du b_{ext} au mont Rainier pour toutes les journées (IMPROVE)

Une analyse plus poussée de la structure chimique des particules et des données sur la diffusion de la lumière montre que l'importance des sulfates et des nitrates peut changer selon l'emplacement. Dans la vallée du bas Fraser, la nature chimique des particules est différente selon que la visibilité est bonne ou mauvaise. La quantité de nitrates dans les particules augmente jusqu'à ce que ceux-ci deviennent les polluants dominants, comme en témoigne le tableau 5.2. La masse mentionnée au tableau 5.2 n'a pas été rajustée pour tenir compte de l'extinction de la lumière, d'où la présence de concentrations relativement plus élevées de carbone organique.

Tableau 5.2. Composition moyenne des PM par bonne et par mauvaise visibilité à Abbotsford (masse en mg/m^3) (adapté de Pryor, 1999)

Programme d'échantillonnage	REVEAL		REVEAL II	
	Bonne visibilité	Mauvaise visibilité	Bonne visibilité	Mauvaise visibilité
Masse fine mesurée	7,6	17,1	3,8	14,8
Masse fine reconstruite	7,2	16,1	4,2	15,0
Nitrates	1,0	4,8	0,8	4,0
Sulfates	1,2	3,6	1,3	2,6
Sol	0,3	0,5	0,3	0,8
Carbone organique	3,4	5,2	1,3	5,8
Carbone élémentaire	1,2	1,9	0,6	1,8

En revanche, l'analyse des données du mont Rainier (voir figure 5.19) montre clairement la domination des sulfates les jours où la visibilité est mauvaise ou la plus défavorable. À noter que ces données ont été rajustées pour refléter les propriétés d'extinction de la lumière (b_{ext}) des particules.


Figure 5.19. Tendance du b_{ext} par catégories de polluants au mont Rainier les jours les plus défavorables (IMPROVE)

Les journées de mauvaise visibilité dans la vallée du bas Fraser surviennent souvent durant l'été après une période de forte concentration d'ozone (McKendry, 2000). La visibilité au centre du bassin atmosphérique du Puget Sound (comtés de King, de Kitsap, de Pierce et de Snohomish) est mesurée par un réseau de 14 néphélomètres. La portée visuelle moyenne sur ce secteur s'est légèrement améliorée depuis 11 ans (voir figure 5.20). La moyenne mobile sur 12 mois de la portée visuelle est passée de 48 milles à 64 milles, soit une hausse de 3 p. 100 par an (PSCAA, 2003).

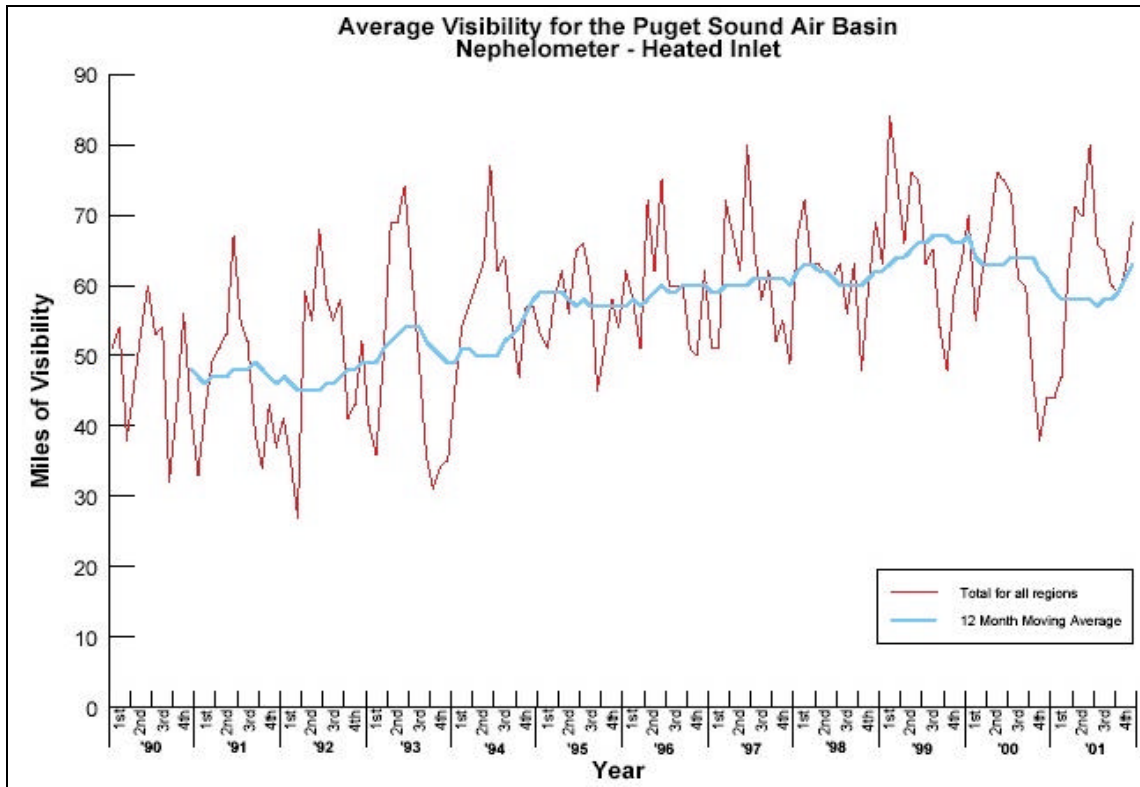


Figure 5.20. Tendence de la visibilité dans le bassin atmosphérique du Puget Sound (Puget Sound Clean Air Agency)

TRADUCTION DE LA FIGURE 5.20

Average Visibility for the...

Visibilité moyenne dans le bassin atmosphérique du Puget Sound

Nephelometer – Heated Inlet

Néphélocimètre – Orifice chauffé

Miles of Visibility

Visibilité (milles)

Total for all regions

Total pour l'ensemble des régions

12 Month Moving Average

Moyenne mobile sur 12 mois

1st 2nd 3rd 4th

1^{er} 2^e 3^e 4^e

Year

Année

L'analyse saisonnière montre que les journées où la visibilité est la meilleure surviennent l'été, et la visibilité la moins bonne, durant l'hiver. La visibilité moyenne annuelle peut varier de 11 p. 100 d'une année à l'autre. La majeure partie de la variabilité interannuelle est liée aux conditions météorologiques. La situation est inverse dans l'est du bassin atmosphérique du Puget Sound, où les épisodes de mauvaise visibilité sont un phénomène estival et où l'hiver semble être la saison qui compte le plus grand nombre de journées de bonne visibilité. Les épisodes de « poussières asiatiques » qui surviennent au printemps font exception à toutes ces analyses saisonnières et entraînent une dégradation de la visibilité sur tous les secteurs du Bassin durant plusieurs jours (McKendry, 2001).

Bibliographie

- Barthelmie, R.J., et S.C. Pryor. 1998. Implications of ammonia emissions for fine aerosol formation and visibility impairment – a case study from the Lower Fraser Valley, British Columbia. *Atmos. Environ.*, 32, 3, p. 345-353.
- Brace, S. 1995. Summary of ozone monitoring at Mount Ranier National Park using passive ozone samplers during the summer of 1994. Non publié.
- Brace, S., et D.L. Peterson. 1998. Spatial Patterns of Tropospheric Ozone in the Mount Rainier Region of the Cascade Mountains, U.S.A. *Atmos. Environ.*, 32, 21, p. 3629-3637.
- Brook, J.R. 2002. Étude des effets sur la santé et caractérisation avancée des polluants atmosphériques urbains. Rapport final de l'Initiative de recherche sur les substances toxiques, Santé Canada, novembre 2002, 29 p.
- Derwent, R., W. Collins, C. Johnson et D. Stevenson. 2002. Global ozone concentrations and regional air quality. *Environmental Science and Technology, Viewpoint*. 1^{er} octobre 2002, p. 379A – 382A.
- Fiore, A.M., D.J. Jacob, I. Bey, R.M. Yantosca, B.D. Field et A.C. Fusco. 2002. Background ozone over the United States in summer: Origin, trend, and contribution to pollution episodes. *J Geophys. Res.*, 107:D15, 10.1029/2001JD000982.
- Gregg, J.W., C.G. Jones et T.E. Dawson. 2003. Urbanization Effects on Tree Growth in the Vicinity of New York City, *Nature*, 424, p. 183-187.
- EPA. 1996. Air Quality Criteria for Particulate Matter, Research Triangle Park, NC: National Center for Environmental Assessment – RTP Office. Report numbers EPA/600/P-95/001aF-cF. 3v.
- EPA. 2002. Air Quality Criteria for Particulate Matter. Volume 1. Third External Review (avril 2002). National Center for Environmental Assessment – RTP Office, Office of Research and Development, US Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC. EPA/600/P-99/002aC.
- IMPROVE. 2003. The Interagency Monitoring of Protected Visual Environments (IMPROVE) program. Colorado State University.
<http://vista.cira.colostate.edu/improve/Data/>
- Jaffe, D.A., D. Parrish, A. Goldstein, H. Price et J. Harris. 2002. Increasing background ozone during spring on the west coast of North America, University of Washington, Bothwell, Washington State, 11 p.
- Makar, P.A. 2001. Processes linking NO_x, SO₂, NH₃, and VOCs to secondary particle formation, Chapter 2: Precursor Contributions to Ambient Fine Particulate Matter in Canada. Service météorologique du Canada. ISBN : 0-662-30650-3. Mai 2001, 237 p.
- Maykut, N.N., J. Lewtas, E. Kim et T.V. Larson. 2001. Source apportionment of PM_{2.5} at an urban IMPROVE site in Seattle, WA. Air and Waste Management Assoc., Bend, Oregon. 37 p.

- McKendry, I.G. 1994. Synoptic circulation and summertime ground-level ozone concentrations at Vancouver, British Columbia. *Journal of Applied Meteorology*, 33, p. 627-641.
- McKendry, I.G. 2000. PM₁₀ Levels in the Lower Fraser Valley, British Columbia, Canada: An Overview of Spatiotemporal Variations and Meteorological Controls. *J. Air & Waste Manage. Assoc.*, 50, p. 443-445.
- McKendry, I.G., J.P. Hacker, R. Stull, S. Sakiyama, D. Mignacca et K. Reid. 2001. Long-range Transport of Asian Dust to the Lower Fraser Valley, British Columbia, Canada. *Journal of Geo. Res.*, vol. 106, 18, 361-18, 370.
- NARSTO. 2000. An Assessment of Tropospheric Ozone Pollution – *A North American perspective*. NARSTO Management Office (Environnement), Pasco, Washington. <http://www.cgenv.com/Narsto/>, juillet 2000.
- NARSTO. 2003. Particulate Matter Science for Policy Makers – *A NARSTO Assessment*. NARSTO Management Office (Environnement), Pasco, Washington. <http://www.cgenv.com/Narsto/>, février 2003.
- Norman, A., W. Belzer et L. Barrie. 2003. Atmospheric Sulphur in the Fraser Valley: A Source Apportionment Study. *Journal Geophysical Research* (soumis pour être publié).
- O'Neill, S. 2002. Modeling ozone and aerosol formation and transport in the Pacific Northwest and calculating fractional source contributions to downwind receptors. Thèse de doctorat, Department of Civil and Environmental Engineering, Washington State University, mai 2002.
- Ostermann, K. 2002. Source apportionment of particulate matter by Positive Matrix Factorisation in the Lower Fraser Valley of British Columbia. Préparé pour le ministère de la Protection des eaux, des terres et de l'air de Colombie-Britannique, nov. 2002, 89 p.
- Pottier, J.L., J. Haney et H.P. Deuel. 1997. Modelling the future – an application of the Variable Grid Urban Airshed Model (UAM-V) to the Fraser Valley of British Columbia, Canada, *Air Pollution V*, Modelling, Monitoring and Management, Computational Mechanical Publications, Southampton, p. 465-474.
- Pryor, S.C., et R.J. Barthelmie. 1999. REVEAL II Characterizing fine aerosols in the Fraser Valley, Report to Fraser Valley Regional District.
- Pryor, S.C., K. Anlauf, H. Boudries, K. Hayden, C.L. Schillar et A. Wiebe. 2003. Spatial and temporal variability of high resolution reduced nitrogen concentrations in the Fraser Valley. *Atmos. Environ.* (présenté pour publication).
- PSCAA. 2003. The 1999-2001 Air Quality Data Summary. www.pscleanair.org, mai 2003.
- Snyder, B.J., et K.B. Strawbridge. 2003. Meteorological summary of the Pacific 2001 air quality field study, *Atmos. Environ.* (présenté pour publication).
- Steenburgh, W.J., et C.F. Mass. 1996. Manuscrit non publié, Université de Washington.

Steyn, D.G., A.C. Roberge et C. Jackson. 1990. Anatomy of an extended air pollution episode in British Columbia's Lower Fraser Valley. Préparé pour le ministère de l'Environnement de C.-B., 49 p.

Suzuki, N.M., et B. Taylor. 2003. Particulate matter in BC: a report on PM_{10} and $PM_{2.5}$ mass concentrations up to 2000. Co-produit par le ministère de la Protection des eaux, des terres et de l'air de Colombie-Britannique et la Région du Pacifique et du Yukon d'Environnement Canada. ISBN 0-7726-4904-9. 20 octobre 2003, 118 p.

Vingarzan, R., et B. Taylor. 2003. Trend analysis of ground level ozone in the Greater Vancouver/Fraser Valley area of British Columbia. *Atmos Environ*, 37, p. 2159-2171.

Vingarzan, R. 2003. Ambient particulate matter concentrations and background levels. Division des sciences aquatiques et atmosphériques, Environnement Canada, Région du Pacifique et du Yukon, Vancouver (C.-B.), septembre 2003.

6. Incidences et tendances sociales et économiques

La concentration de polluants atmosphériques dans le bassin atmosphérique du bassin de Georgia/Puget Sound a de nombreuses conséquences sur les plans social et économique. On trouvera ici un aperçu de certaines de ces conséquences, de même que des tendances socio-économiques passées et futures qui influent sur la qualité de l'air dans la région. La compréhension de ces tendances peut aider à modéliser des scénarios futurs d'émissions atmosphériques et à déterminer les orientations stratégiques.

Les recherches menées pour cette section s'appuient sur un certain nombre de sources. Dans bien des cas, on n'a pas pu trouver de données propres à la région définie comme le bassin atmosphérique du bassin de Georgia/Puget Sound. La plupart des données relatives au côté canadien de la frontière concernent le district régional de Vancouver (DRV) et le district régional de la vallée du Fraser (DRVF). Même si ces deux districts ne représentent que 9 p. 100 de la superficie du bassin de Georgia, ils abritent un pourcentage élevé de la population du Bassin. Du côté américain de la frontière, la majorité des données disponibles concernent l'État de Washington.

Impacts sur la qualité de l'air et la durabilité

La qualité de l'air est intrinsèquement liée à tous les éléments de la durabilité dans la région du bassin de Georgia/Puget Sound : un environnement sain, une économie dynamique et le bien-être social de tous. Par exemple :

- l'être humain respire chaque jour plus de 11 000 litres d'air, ce qui fait de la qualité de l'air un élément crucial de sa santé (Conseil du bassin du Fraser, 2003). Les incidences des polluants atmosphériques peuvent aller de l'irritation des yeux, du nez et de la gorge à l'atteinte des fonctions pulmonaires et au cancer;
- les contaminants présents dans l'atmosphère peuvent endommager les cultures agricoles et la végétation, et réduire les rendements de cultures d'une grande importance économique. Aux États-Unis, les pertes agricoles attribuables à l'ozone sont estimées à entre 1 et 3 milliards de dollars par an (Nugent, 2002);
- la baisse de visibilité provoquée par l'accumulation de particules polluantes dans l'atmosphère peut avoir des effets préjudiciables sur le tourisme. Pour un seul épisode extrême de visibilité, les modèles informatiques évaluent les pertes en revenus futurs du tourisme à 7,45 millions de dollars dans le District régional de Vancouver et à 1,32 million de dollars dans la vallée du Fraser (McNeill et Roberge, 2000).

Outre ces incidences, l'augmentation de la concentration de gaz qui piègent la chaleur contribue au changement climatique. Les changements qui se produisent dans le régime des vents et les précipitations et la fréquence accrue des phénomènes météorologiques extrêmes risquent d'avoir des conséquences profondes et imprévisibles sur l'environnement, la société et l'économie.

Incidences d'une mauvaise qualité de l'air sur la santé

Même si les concentrations moyennes de polluants atmosphériques dans le bassin atmosphérique du bassin de Georgia/Puget Sound semblent être plutôt faibles par rapport à d'autres grandes régions urbaines d'Amérique du Nord, les niveaux actuels de pollution atmosphérique ont déjà des effets mesurables sur la santé. Les polluants atmosphériques affectent la santé humaine de plusieurs façons, qui vont d'irritations des yeux à la mort (voir figure 6.1). Les personnes âgées, les enfants et les asthmatiques sont parmi ceux qui courent le plus de risques. Quand on parle de polluants comme l'ozone et les particules fines, on ne connaît pas de seuil minimum pour les impacts sur la santé humaine. C'est pourquoi, pour gérer la pollution atmosphérique, il faut prendre des décisions qui minimisent, sans nécessairement les éliminer, les risques pour la santé.

Comme le mentionne une récente étude de la BC Lung Association, « l'établissement des rapports entre l'exposition aux polluants atmosphériques et les effets sur les appareils respiratoire et cardiovasculaire humains (aussi bien les maladies que les décès prématurés) évolue sans cesse » (Bates *et al.*, 2003).

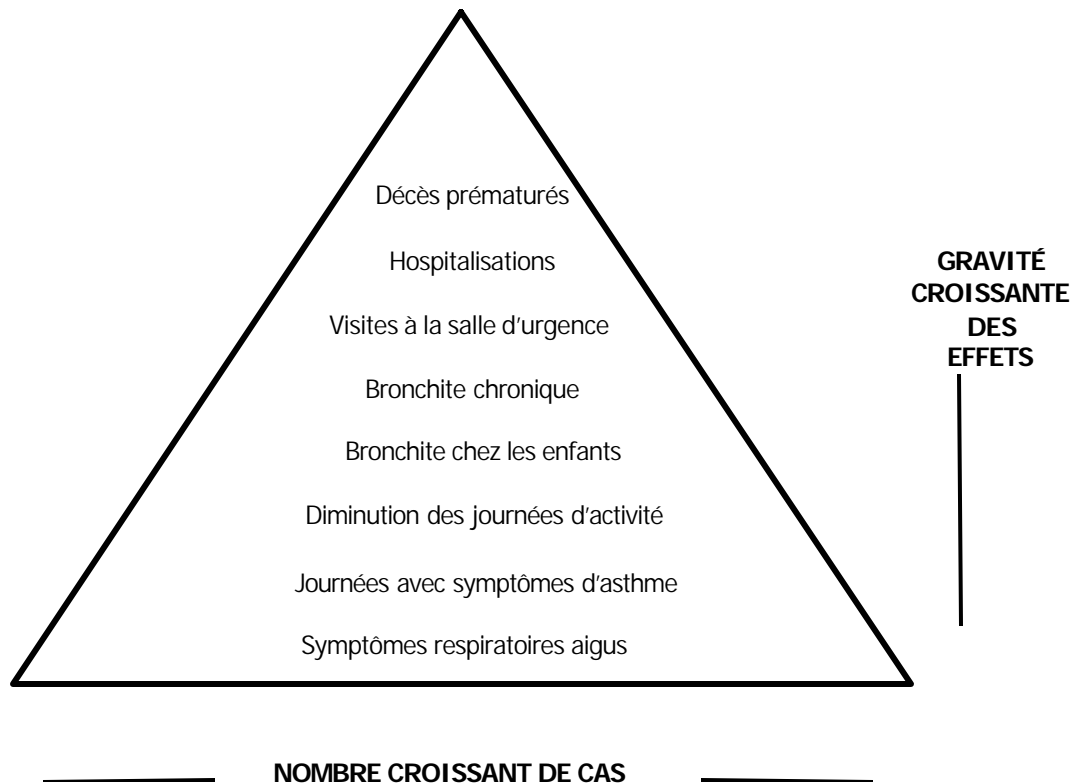


Figure 6.1. Hiérarchie des effets de la pollution atmosphérique (Bates *et al.*, 2002)

Les effets des polluants atmosphériques individuels et des mélanges aux niveaux d'exposition ambiants actuels sont précisés à la section 7, tableau 7.3.

Groupes et collectivités « à risque »

Les segments de la population dont on juge qu'ils courent le plus de risques de contracter des affections attribuables à la pollution atmosphérique sont indiqués ci-après.

Personnes âgées

Les affections respiratoires et cardiaques chroniques et autres stress pulmonaires et circulatoires dont souffrent les personnes âgées sont aggravés par l'inhalation de PM et d'autres polluants. Par ailleurs, la baisse des fonctions pulmonaires qui affecte les personnes âgées peut être accélérée par les effets préjudiciables de la pollution atmosphérique, qui peut provoquer des décès prématurés (Nugent, 2002).

Enfants

Les enfants de moins de 15 ans inhalent plus d'air par kilogramme de masse corporelle que l'adulte moyen. Leur absorption de polluants atmosphériques est donc proportionnellement plus élevée. Les enfants ont également tendance à respirer plus rapidement et par la bouche, contournant de ce fait le filtre nasal. La pollution atmosphérique peut entraver le développement des alvéoles, limitant ainsi le transport d'oxygène des poumons à la circulation sanguine. Plusieurs études ont également montré qu'une exposition durable à la pollution atmosphérique durant la petite enfance contribue à réduire le rythme de croissance pulmonaire (*ibid.*). On a des indications que les infections respiratoires sont plus courantes chez les enfants vivant à moins de 100 mètres d'une artère à forte densité de circulation que chez ceux qui vivent à plus grande distance (Bates et Caton, 2002).

Asthmatiques

Les asthmatiques ont les bronches qui s'enflamment facilement. Un certain nombre d'études ont montré une forte corrélation entre des concentrations élevées de PM₁₀ et une hausse des hospitalisations liées à l'asthme. On sait également que les asthmatiques, aussi bien les adultes que les enfants, courent plus de risques de subir les effets du SO₂, de l'O₃ et probablement du NO₂. L'asthme touche 150 millions de personnes dans le monde, et sa prévalence augmente (Bates *et al.*, 2003).

Femmes enceintes

Des recherches réalisées à la School of Public Health de l'Université de Californie à Los Angeles (UCLA) et dans le cadre du California Birth Defects Monitoring Program (CBCMP) ont révélé que les femmes enceintes exposées à des concentrations plus élevées d'ozone et de monoxyde de carbone courent plus de risques de mettre au monde un enfant atteint de malformations cardiaques. Les femmes vivant dans des régions où les concentrations de polluants sont à leur maximum courent trois fois plus de risques que celles vivant dans des régions où l'air est plus pur (Ritz *et al.*, 2002). D'autres études donnent à penser que la pollution atmosphérique a sans doute un rapport avec un faible poids à la naissance (Bates *et al.*, 2003).

Premières nations/tribus indiennes

Les Premières nations du Canada et les Autochtones des États-Unis connaissent un taux plus élevé de problèmes respiratoires que la population en général, et ces problèmes sont aggravés par une forte pollution atmosphérique. À la Clinique de santé de Swinomish dans l'État de Washington, on indique que les problèmes respiratoires sont l'une des trois principales raisons pour lesquelles les membres des populations autochtones viennent consulter un médecin. Selon le Washington State Indian and Health Service (IHS), il semble que les infections des voies respiratoires supérieures soient la deuxième cause principale des visites à l'IHS (Kaufman, 1996).

Incidences liées au cancer

Une récente étude consacrée au lien entre la pollution atmosphérique et le cancer, réalisée par Levelton Engineering Ltd, Alchemy Consulting Inc. et le D^r D.V. Bates (2000), a examiné les préoccupations environnementales connexes, les risques pour la santé et les méfaits des particules de carburant diesel dans la vallée du bas Fraser, en Colombie-Britannique. Cette étude s'est appuyée sur des estimations établies par le California Air Resources Board (CARB), qui a déterminé que le risque de cancer d'une exposition constante aux particules de diesel est de 300 cas de cancer par million d'habitants lorsqu'une personne a été exposée à 1 µg/m³ de particules de diesel pendant 70 ans. D'après ces estimations, on a déterminé que le risque de cancer attribuable aux particules de carburant diesel dans la vallée du bas Fraser représente une petite partie du risque actuel de développer un cancer durant sa vie à cause d'autres sources (environ 200 000 à 250 000 par million) sur une période de 70 ans. La baisse prévue de 45 p. 100 des émissions de particules de diesel par rapport aux niveaux actuels, qui devrait intervenir d'ici 2010-2015 grâce aux mesures de gestion de la pollution atmosphérique, devrait également se traduire par une réduction des risques de cancer (Levelton Engineering *et al.*, 2000).

Une deuxième étude sur les substances toxiques dans l'atmosphère, réalisée par la Puget Sound Clean Air Agency (2000-2001), a porté sur les risques d'un certain nombre de contaminants atmosphériques différents pour la santé des habitants du Puget Sound. Cette étude a montré que l'effet premier des substances chimiques sur la santé est le cancer du poumon, qui est avant tout associé aux particules de suie du diesel. L'étude a déterminé qu'en moyenne, celles-ci représentent entre 70 et 85 p. 100 des risques de cancer attribuables aux substances toxiques dans l'atmosphère dans la région du Puget Sound. Elle a également déterminé que la fumée de bois, le benzène, le formaldéhyde, le tétrachlorure de carbone et un certain nombre d'autres substances toxiques sont cancérigènes (voir d'autres précisions à la section 7). Outre le cancer du poumon, les produits toxiques dans l'atmosphère contribuent à la leucémie et aux cancers des voies nasales et du foie. Le risque moyen de cancer attribuable aux produits toxiques mesurés dans l'atmosphère de l'agglomération de Seattle/King Country est d'environ 550 par million. Les risques de cancer étaient analogues dans les différents secteurs qui ont fait l'objet de mesures dans le Puget Sound (Keill et Maykut, 2002).

Incidences autres que le cancer

Un rapport préparé pour la Région sanitaire du Sud du Fraser en Colombie-Britannique en 2001 déclarait qu'« à peu près autant de décès dans le *Lower Mainland* sont sans doute attribuables à la pollution atmosphérique qu'au VIH, à des chutes accidentelles ou à des accidents de la route » (Région sanitaire du Sud du Fraser, 2001). Des études réalisées par

Brauer et d'autres à l'Université de Colombie-Britannique (Brauer, 2000) estiment entre 0 et 600 le nombre de décès annuels dus à la pollution atmosphérique dans le *Lower Mainland*. Une étude de Santé Canada portant sur dix années de données révèle que les décès non accidentels dans l'agglomération de Vancouver augmentent de 8,3 p. 100 les jours de forte pollution (Bennet *et al.*, 1998). Les études réalisées dans l'agglomération de Vancouver ont révélé qu'avec une réduction de 25 p. 100 des PM, on permet d'éviter plus de 2 700 décès prématurés et 33 000 visites dans les salles d'urgence sur une période de 30 ans (Nugent, 2002).

Une étude menée par le Natural Resources Defense Council (1996) révèle des tendances analogues dans les décès attribuables à la pollution atmosphérique. L'étude a examiné les concentrations de PM₁₀ entre 1990 et 1994 et a comparé le nombre total de décès cardiopulmonaires aux décès dus à des accidents de la route en 1989 dans les Metropolitan Statistical Areas (MSA) de l'État de Washington par rapport à l'ensemble de l'État. Les résultats relatifs aux secteurs situés dans le Puget Sound sont illustrés au tableau 6.1.

Tableau 6.1. Décès cardiopulmonaires estimatifs annuels attribuables à la pollution atmosphérique par les particules dans les régions statistiques métropolitaines du Puget Sound (Natural Resources Defense Council)

Régions statistiques métropolitaines	Concentration annuelle moyenne de PM ₁₀ (1990-1994)	Estimation ponctuelle	Plage	Décès cardiopulmonaires chez les adultes (1989)	Décès dus aux accidents de la route (1989)
Olympia	22,9	26	15-36	507	18
Seattle	27,7	501	296-690	6 237	281
Tacoma	30,0	195	116-268	2 062	89

Incidences d'une mauvaise qualité de l'air sur l'économie

La qualité de l'air affecte l'économie de plusieurs façons : un certain nombre de coûts se rattachent aux soins de santé; la baisse de visibilité peut avoir un impact sur les revenus touristiques; les incidences écologiques des polluants atmosphériques peuvent entraîner une baisse des rendements agricoles et forestiers. Par exemple, une dégradation de la qualité de l'air dans la vallée du bas Fraser coûte à la société 100 millions de dollars par an en augmentation des dépenses de santé et en pertes de recettes agricoles (Steyn, 1999). Aux États-Unis, les régions qui risquent de ne pas respecter les normes de pollution atmosphérique fixées par la *Clean Air Act* des États-Unis et d'être classées comme régions de « nonatteinment » sont passibles d'un certain nombre des coûts liés à la lutte antipollution.

Les impacts des changements climatiques sont eux aussi assortis de nombreux coûts économiques. Le coût net du réchauffement de la planète est estimé à entre 1 et 2 p. 100 du PIB des pays développés. Au Canada, cela équivaut à entre 8 et 10 milliards de dollars par an (www.citiesplus.ca/keyfacts.html).

Coûts pour le régime des soins de santé

La mauvaise qualité de l'air a des coûts à la fois directs et indirects sur les soins de santé. Parmi les dépenses de santé directes figurent les hospitalisations, les visites aux salles d'urgence et dans les cabinets des médecins, les services de soins à domicile et des médicaments comme les inhalateurs pour asthmatiques. Les autres coûts sont la baisse de productivité au travail, le salaire perdu pour cause de maladie et d'autres dépenses pendant la durée de la maladie (comme les frais de garderie). En 1990, les coûts annuels de la pollution atmosphérique pour la santé dans la vallée du bas Fraser ont été estimés à 830 millions de dollars; et ce chiffre devrait monter à 1,5 milliard de dollars d'ici 2005 (BC Environment, 1995).

Une amélioration de la qualité de l'air entraîne donc des économies pour le régime de soins de santé et pour les entreprises. Une étude réalisée sur la valeur d'une diminution des effets sur la santé de la pollution atmosphérique grâce à l'adoption de véhicules et de carburants plus propres au Canada montre que le montant des dépenses de santé évitées sera de 24 milliards de dollars sur 24 ans, alors qu'il n'en coûtera que 6 milliards de dollars pour mettre le programme sur pied (Santé Canada, 2003). Selon le département de l'Écologie de l'État de Washington (2000), les habitants de cet État ont économisé plus de 2 milliards de dollars par an en soins de santé grâce à l'amélioration de la qualité de l'air depuis dix ans, tandis que les entreprises de cet État ont épargné au moins 17 millions de dollars par an du fait qu'un air plus propre entraîne une baisse de la perte de journées de travail ou de productivité pour cause de maladie imputable à la pollution atmosphérique.

Impacts sur le tourisme

La région du bassin de Georgia/Puget Sound, avec son littoral grandiose, ses montagnes et ses paysages variés, attire des touristes du monde entier. C'est ainsi que le tourisme est au cœur du développement économique d'un certain nombre de secteurs de la région. Les études réalisées sur la côte nord-ouest des États-Unis, dans le district régional de Vancouver et dans la vallée du Fraser montrent que la baisse de visibilité attribuable à la pollution atmosphérique peut avoir des effets préjudiciables sur le tourisme.

Une étude menée dans le district régional de Vancouver et la vallée du Fraser pour évaluer l'incidence possible d'une baisse de la visibilité sur le tourisme a présenté aux touristes divers scénarios de visibilité et leur a demandé d'indiquer si chaque scénario risquait d'affecter leur décision de recommander la région à d'autres personnes ou d'y revenir pour un autre séjour (McNeill et Roberge, 1999). L'analyse découlant de cette étude a permis de prédire les pertes futures de recettes touristiques attribuables à une mauvaise visibilité. Le tableau 6.2 présente les pertes estimatives futures de recettes touristiques attribuables à un seul épisode de mauvaise visibilité. La baisse de visibilité est représentée par la quantité de lumière diffusée par les particules (BSP), qui est un indice de visibilité (voir section 5).

Tableau 6.2. Pertes possibles de recettes touristiques attribuables à des épisodes de mauvaise visibilité (par phénomène) (McNeill et Roberge, 2000)

BSP	Pertes de revenus dans l'agglomération de Vancouver (millions de dollars)	Pertes de revenus dans la vallée du Fraser (millions de dollars)	Total (millions de dollars)
0,05	4,03	0,50	4,53
0,06	4,87	0,64	5,51
0,07	5,63	0,78	6,41
0,08	6,25	0,91	7,16
0,09	6,71	1,03	7,74
0,10	7,02	1,12	8,14
0,11	7,24	1,20	8,44
0,12	7,36	1,27	8,63
0,13	7,45	1,32	8,77

L'étude porte à croire que les recettes touristiques reculeront du fait qu'un certain pourcentage de touristes qui connaissent un épisode de mauvaise visibilité ne reviennent pas ou ne recommandent pas la région à leurs amis. Pour les épisodes extrêmes, les pertes de revenu sont évaluées à près de 7,45 millions de dollars pour la région de Vancouver et à 1,32 million de dollars pour la vallée du Fraser. Ces estimations reposent sur un seul épisode de mauvaise visibilité et ne représentent pas la moyenne annuelle des pertes touristiques dues à une pollution atmosphérique visible. Comme le dit cette étude, les épisodes de pollution atmosphérique moins extrêmes sont plus fréquents et ils ont par conséquent un effet cumulatif plus important que les épisodes plus extrêmes.

Des études menées dans les années 1980 par le National Park Service des États-Unis ont montré que « les visiteurs sont conscients des conditions de visibilité et qu'un air ultra-pur fait partie intégrante du plaisir qu'il y a à se rendre dans les parcs » (2000). Un certain nombre des caractéristiques du paysage sont des facteurs décisifs du niveau de satisfaction des visiteurs du mont Rainier, qui est le seul site de la région du bassin de Georgia/Puget Sound mentionné dans cette étude. Plusieurs répondants ont déclaré qu'ils seraient prêts à dépenser plus d'argent et à passer plus de temps dans les parcs nationaux si les conditions de visibilité y sont meilleures, et moins de temps si elles s'aggravaient. Bien qu'aucune étude n'a récemment été menée sur les incidences de la qualité de l'air sur le tourisme dans le Puget Sound, l'EPA a manifesté le désir de réaliser une étude analogue à celle menée par McNeill et Roberge (2000).

Impacts sur l'agriculture

La pollution atmosphérique a également des incidences sur la production agricole dans la région du bassin de Georgia/Puget Sound. Différents polluants peuvent affecter les processus qui régissent ou altèrent la croissance et la reproduction des végétaux et, par conséquent, entraîner une hausse ou une baisse des rendements agricoles. Selon l'EPA, les effets physiologiques qui risquent de toucher la production agricole sont une diminution de la photosynthèse, des variations dans l'allocation des glucides, une augmentation du lessivage foliaire, une diminution de l'assimilation des éléments nutritifs, une sensibilité accrue aux stress climatiques, aux ravageurs et aux agents pathogènes, une baisse de la capacité compétitive et une diminution de l'efficacité reproductive.

Le plus grave problème de pollution atmosphérique influant sur la production agricole est une concentration élevée d'ozone troposphérique. Selon une étude d'Environnement Canada (2003) : « L'ozone peut causer dans le tissu de la feuille des lésions directes qui se manifestent souvent par des mouchetures, un bronzage, des taches aqueuses ou un vieillissement prématuré de la feuille. De plus, des concentrations élevées d'O₃ peuvent provoquer la fermeture des stomates, avec pour conséquence l'arrêt du flux de CO₂ et donc de la photosynthèse. Le rendement de certaines plantes peut donc subir une baisse considérable provoquée par les lésions directes et la photosynthèse réduite découlant d'une exposition à long terme à des concentrations élevées d'O₃. »

L'ozone troposphérique occasionne chaque année des dizaines de millions de dollars de dégâts au Canada. La même étude d'Environnement Canada révèle que la vallée du Fraser, qui englobe le district régional de Vancouver et plusieurs parties du district régional de la vallée du Fraser de l'ouest jusqu'à Chilliwack et Agassiz compris, est l'une des régions les plus touchées. Dans la vallée du Fraser, les impacts les plus significatifs de l'ozone troposphérique ont été ressentis dans les zones urbaines, où la densité de population est élevée et les véhicules automobiles nombreux. Les pertes agricoles dans la vallée du Fraser attribuables à une augmentation de la concentration d'ozone ont été estimées à environ 9 millions de dollars en 1986 (Bates et Caton, 2002).

Un air plus pur contribue à atténuer les impacts sur les récoltes des deux côtés de la frontière. Une étude réalisée dans le cadre d'une analyse coûts-avantages du plan de gestion de la pollution atmosphérique dans le district régional de Vancouver et visant à estimer les impacts de la pollution atmosphérique sur sept cultures montre qu'une baisse des émissions peut entraîner d'importantes économies (district régional de la vallée du Fraser, 1998). C'est ainsi que les dommages culturels évités ont été estimés à 35 millions de dollars entre 1985 et 2020 dans la vallée du bas Fraser.

Un autre problème de pollution atmosphérique qui affecte les agriculteurs de l'État de Washington, en particulier dans l'est, est l'érosion éolienne. L'érosion éolienne est liée à la sécheresse, et des sécheresses prolongées peuvent être une conséquence du changement climatique planétaire. Les graves tempêtes de poussière de la fin des années 1980 et du début des années 1990 ont incité le département de l'Écologie de l'État de Washington, l'Université de Washington, le Service de conservation des ressources naturelles du département de l'Agriculture des États-Unis, l'Agence de protection de l'environnement des États-Unis et les cultivateurs à concevoir et à promouvoir des méthodes de contrôle des poussières provenant des champs agricoles. Il a été déterminé que les nouvelles méthodes d'aménagement ne peuvent totalement éliminer les poussières des champs. Ainsi, si la sécheresse persiste assez longtemps, il se peut que les agriculteurs ne soient pas en mesure de protéger leurs champs.

Les coûts du *nonattainment*

La *Clean Air Act* des États-Unis dispose que l'EPA doit fixer des normes de pollution atmosphérique pour protéger la santé humaine et l'environnement. Les régions de « nonattainment » sont celles qui ne respectent pas ces normes. Toutes les autres régions sont désignées soit comme des régions d'« attainment », soit comme des régions non classifiables. Les États où se trouvent des régions de « nonattainment » doivent élaborer et mettre en œuvre des plans d'assainissement, dit « attainment plans ». En outre, les entreprises nouvelles et celles qui prennent de l'expansion et qui polluent l'atmosphère dans les régions de « nonattainment » doivent se conformer aux mesures de contrôle plus strictes et plus coûteuses en vigueur. Ces prescriptions peuvent entraîner une majoration des coûts, une diminution des chances d'investissements dans de nouvelles installations et une conjoncture

peu propice à la croissance des entreprises. Un retour au respect des concentrations d'ozone dans le centre du Puget Sound et dans le comté de King nécessiterait une essence plus propre et de nouvelles mesures antipollution, ce qui coûterait aux entreprises environ 253 millions de dollars et aux consommateurs 1 ¢ de plus le gallon d'essence, soit plus de 10 millions de dollars par an (Washington State Department of Ecology, 2002).

Incidences écologiques

La pollution atmosphérique affecte les systèmes écologiques de diverses façons, dont l'eutrophisation des estuaires, l'acidification des plans d'eau douce, le ralentissement de l'accroissement des forêts et les effets sur les animaux. Même si la vulnérabilité varie considérablement d'une espèce à l'autre à cause des différences génétiques et d'autres facteurs environnementaux, aucun végétal ne résiste parfaitement aux effets des polluants atmosphériques. Comme le montre le tableau 6.3, les polluants atmosphériques peuvent exercer une influence directe sur la plante elle-même ou un effet indirect en affectant le milieu ambiant ou en affaiblissant la plante, la rendant ainsi plus vulnérable à d'autres facteurs de stress.

Ozone

Comme nous l'avons vu plus haut, l'ozone peut directement endommager les tissus foliaires et entraver la photosynthèse. Des études réalisées sur des végétaux dans le nord-ouest des États-Unis révèlent que l'ozone troposphérique peut avoir un impact sur les espèces végétales vulnérables à des concentrations relativement faibles. L'ozone peut causer des lésions visibles à des concentrations de seulement 60 ppb (Brace, Peterson et Bowers, 1999). Des concentrations élevées d'ozone peuvent également affecter les habitats fauniques et certains processus des écosystèmes comme la circulation de l'eau et le cycle des éléments nutritifs (FVRD, 1998).

Azote

Que ce soit dans les systèmes estuariens côtiers ou terrestres, l'azote peut accélérer la croissance. Les effets sur les espèces terrestres comme les radis, les haricots, le blé et d'autres membres de la famille des graminées peuvent être bénéfiques et favoriser la croissance. Dans le milieu marin, une croissance excessive peut aboutir à l'eutrophisation, état dans lequel la croissance accélérée des plantes à la surface entraîne un manque de lumière pour les plantes poussant sur le fond. Celles-ci risquent de mourir, ce qui, dans certains cas extrêmes, aboutit à une baisse de l'oxygène dissous ou à des conditions anoxiques qui nuisent à une grande diversité d'espèces et de fonctions écologiques (US EPA, 2003).

Tableau 6.3. Catégories de polluants et d'effets écologiques (adapté de l'EPA des États-Unis, 1999)

Catégorie de polluant	Émissions des principaux polluants et de leurs précurseurs	Effets aigus	Effets à long terme
Ozone	Émissions des précurseurs de l'ozone troposphérique : oxydes d'azote et composés organiques volatils (COV)	Effets toxiques directs sur les feuilles des végétaux	Altérations des flux énergétiques et du cycle des éléments nutritifs dans tout l'écosystème
Dépôts azotés	Composés azotés (comme les oxydes d'azote)		Saturation des écosystèmes terrestres par l'azote Enrichissement progressif en azote des estuaires côtiers
Dépôts acides	Émissions des précurseurs de l'acide sulfurique et de l'acide nitrique : dioxyde de soufre, oxyde d'azote	Effets toxiques directs sur les feuilles des végétaux et les organismes aquatiques	Dégradation progressive de la qualité des sols Acidification chronique des eaux de surface
Polluants atmosphériques dangereux (PAD)	Mercure, dioxines	Effets toxiques directs sur les animaux	Conservation du mercure et des dioxines dans les cycles biogéochimiques et accumulation dans la chaîne alimentaire

Dépôt acide

Le dépôt acide résultant d'une accumulation de composés acides dans l'eau et les sols peut avoir des effets préjudiciables sur les milieux aquatiques et terrestres. Dans le milieu aquatique, des particules comme les nitrates et les sulfates, qui contribuent à l'acidification des lacs et des cours d'eau, peuvent être toxiques pour de nombreuses espèces de poissons et affecter indirectement les plantes submergées en diminuant la disponibilité du CO₂ dissous. L'écologie aquatique des eaux de surface peut être affectée par les épisodes de dépôt très acide qui surviennent à la fonte des neiges au printemps ou dans les orages à la fin de l'été (Natural and Cultural Resources Division, 2002). Sur terre, le dépôt acide peut entraîner un déficit d'éléments nutritifs dans les végétaux et causer des lésions foliaires aux arbres. Les mesures des valeurs du pH et du dépôt à un certain nombre de sites du bassin atmosphérique du bassin de Georgia/Puget Sound sont présentées au tableau 7.4.

Impacts du changement climatique

Comme nous le verrons plus en détail à la section 7, l'augmentation de la concentration de gaz qui piègent la chaleur contribue au changement climatique dans la région du bassin de

Georgia/Puget Sound. Les changements qui se produisent dans les régimes des vents et les précipitations et l'augmentation de la fréquence des phénomènes météorologiques extrêmes risquent d'avoir des conséquences sérieuses, souvent imprévisibles, sur l'environnement, la société et l'économie.

Le Climate Impacts Group (Groupe des impacts du climat) de l'Université de Washington affirme que les changements climatiques dans cet État se traduiront par des étés plus chauds et par des hivers plus longs et plus humides (Mote, 1999). Il estime que cela réduira de 20 à 50 p. 100 la superficie des forêts dans la chaîne des Cascades. En outre, un léger réchauffement accentuera le stress qui s'exerce sur les populations de saumons en déclin (Puget Sound Clean Air Agency, 2004). Au nombre des autres impacts figurent une baisse du niveau de l'eau, des sécheresses qui augmentent les risques d'affaiblissement ou de mort des arbres par les insectes ou les feux de forêt, et des glissements de terrain plus fréquents qui causeront des dégâts aux quartiers commerciaux et résidentiels de même qu'aux milieux humides.

Le gouvernement du Canada prévoit que le changement climatique pourrait avoir de nombreux impacts. Parmi les impacts sur l'environnement physique figurent l'élévation du niveau de la mer, les inondations printanières, les sécheresses estivales, les glissements de terrain, et le recul et la disparition des glaciers. Ces impacts affecteront la qualité et la disponibilité de l'eau, le tourisme, la production d'hydroélectricité, les habitats des poissons et le mode de vie le long des côtes. Les impacts possibles sur les écosystèmes naturels sont entre autres les menaces pour la vie aquatique et la faune, les changements dans les forêts, la disparition d'espèces rares et l'altération des modes migratoires des oiseaux. L'élévation des températures de l'atmosphère entraînera des variations dans les températures des cours d'eau et les débits, ce qui perturbera les migrations et la fraye des saumons, entraînera la propagation des ravageurs des forêts comme le dendroctone du pin ponderosa, et fera baisser l'humidité du sol dans certaines régions. L'augmentation des inondations et l'élévation du niveau de la mer pourront obliger à engager des dépenses pour se protéger contre les inondations et adapter les infrastructures. De nouvelles cultures résistant à la sécheresse devront peut-être remplacer celles qui dépendent d'une irrigation constante. Le réchauffement risque également de favoriser la prolifération d'insectes ravageurs comme les puces et les tiques, de même que des parasites porteurs de maladies infectieuses comme la lambliaose (gouvernement du Canada, 2004).

Tendances socio-économiques influant sur la qualité de l'air dans la région du Puget Sound/bassin de Georgia

La pollution atmosphérique affecte les tendances de la société et de l'économie et est affectée par elles de diverses façons, notamment par une hausse de la population, des transports et de la consommation d'énergie et par des changements de l'industrie. La section qui suit analyse diverses tendances sociales et économiques et identifie certaines des répercussions de ces tendances sur la qualité de l'air. Elle souligne également certaines des mesures prises pour atténuer les impacts de ces tendances.

Économie

Les tendances de l'économie sont liées à un certain nombre de facteurs qui influent sur la qualité de l'air, comme la croissance et la concentration démographiques, les transports et la consommation d'énergie. Une grande tendance économique dans la région du bassin de

Georgia/Puget Sound est la transition d'une économie productrice de biens à forte intensité d'énergie vers une économie tertiaire. En même temps, la région continue d'être lourdement tributaire du commerce, la majeure partie de ses exportations provenant des secteurs des ressources naturelles à forte intensité d'énergie. Les emplois sont généralement concentrés dans les centres urbains, ce qui favorise les migrations des régions rurales vers les villes.

Changements de l'économie

Le passage d'industries productrices de biens vers une économie tertiaire est une tendance qui se manifeste à la fois en Colombie-Britannique et dans l'État de Washington. En Colombie-Britannique, le secteur tertiaire représentait 69 p. 100 de l'économie de la province en 1984. En 2000, ce pourcentage avait atteint 74,8 p. 100. Entre 1990 et 2000, on a constaté des déclinés de la fabrication d'aliments, de la fabrication de bois, de l'imprimerie et de l'édition, ainsi que de la pêche et du trappage; durant la même période, la fabrication d'appareils électroniques a progressé de 288 p. 100. Parmi les autres entreprises qui enregistrent des hausses figurent les services aux entreprises, les services financiers, les services de communications, la construction de matériels de transport, les matières plastiques, les services professionnels, scientifiques et techniques et le pétrole et le gaz (Finlayson, 2002). Dans l'État de Washington, le plus fort taux de croissance de l'emploi au cours des 25 prochaines années devrait survenir dans le commerce de détail et le secteur tertiaire. On prévoit que la croissance de l'emploi dans le secteur du commerce et des services concentrera près des deux tiers de l'augmentation globale des emplois entre 2000 et 2025. La part des emplois dans les industries productrices de biens (c.-à-d. secteur manufacturier, exploitation minière et bâtiment) devrait reculer, de 19 p. 100 en 2000 à 15,7 p. 100 en 2025 (Washington State Office of Financial Management and Employment Security Department, 2003).

Le tourisme est devenu un puissant moteur de croissance dans la région du bassin de Georgia/Puget Sound de même qu'une importante source d'emplois. Tourism Vancouver (1999) a estimé le total des dépenses touristiques à 3,6 milliards de dollars en 1999. En Colombie-Britannique en 2002, les emplois dans les secteurs du tourisme se chiffraient à 266 000. On prévoit que, d'ici 2010, ce nombre aura augmenté de 50 000 (Council of Tourism Associations of British Columbia, 2003). Dans l'État de Washington, le tourisme concentre 152 500 emplois. Depuis 1991, le nombre d'emplois dans le secteur touristique augmente de 0,8 p. 100 par an (Washington State Department of Community, 2003).

Même si l'économie de la région a connu de profonds changements, l'État de Washington et la Colombie-Britannique continuent d'être lourdement tributaires du commerce international, les ressources naturelles étant leur principal produit d'exportation. Les secteurs à forte intensité d'énergie en Colombie-Britannique, comme les produits forestiers, l'exploitation minière et le raffinage, représentent un important pourcentage des exportations de la province. Avec la récente publication de son nouveau plan énergétique, il se pourrait que l'énergie devienne l'une de ses principales exportations. L'Office of Financial Management de l'État de Washington prévoit une hausse de la demande des ressources naturelles de la région avec l'expansion des économies nationale et internationale. La même tendance est prévue en Colombie-Britannique.

Dans le *Lower Mainland*, la production industrielle de biens représente la deuxième source en importance d'émissions directes de particules fines ($PM_{2,5}$) et d'oxydes de soufre (SO_x), et la troisième source d'émissions de gaz à effet de serre. Il y a quatre grandes sources d'émissions : la minéralurgie non métallique (comme la production de ciment), le raffinage du pétrole, la transformation du bois, du papier et des produits connexes, et la fabrication de produits chimiques (GVRD, 2000). Toutefois, compte tenu des tendances du secteur

industriel, la contribution de ce secteur à la pollution atmosphérique globale devrait diminuer avec le temps.

Répartition de l'emploi

On prévoit que la croissance de l'emploi en Colombie-Britannique et dans l'État de Washington intéressera principalement la région du bassin de Georgia/Puget Sound. Le district régional de Vancouver concentre un pourcentage de plus en plus important du produit intérieur brut de la province (53 p. 100) (GVRD/Business Council of British Columbia, 2002). Depuis dix ans, l'agglomération de Vancouver a été la principale source de création de nouveaux emplois dans la province. Entre 1996 et 2001, la croissance de l'emploi dans la région métropolitaine de recensement de Vancouver (RMR) a été en moyenne de 2,1 p. 100 par an. Dans le reste de la province, la croissance de l'emploi pendant la même période n'a été que de 0,4 p. 100 (Finlayson, 2002).

Accroissement et distribution de la population

« [...] au cours des 10 à 30 prochaines années, le défi sera d'empêcher la détérioration de la qualité de l'air malgré l'accroissement rapide de la population » (Région sanitaire du Sud du Fraser, 2001).

L'accroissement et la distribution de la population sont liés à un certain nombre de tendances qui influent sur la qualité de l'air. Les tendances liées à l'accroissement de la population et susceptibles de contribuer à une détérioration de la qualité de l'air sont entre autres l'étalement urbain, la circulation d'un nombre croissant d'automobiles et l'augmentation de la consommation d'énergie. Le vieillissement de la population est une autre tendance importante qui influe sur la qualité de l'air; les gens de plus de 65 ans sont plus vulnérables aux problèmes de santé attribuables à la mauvaise qualité de l'air. Par ailleurs, le départ à la retraite de nombreux membres de la génération du « *baby boom* » libérera de nombreux emplois, ce qui pourrait encourager la migration vers la région et contribuer à l'accroissement rapide de la population.

On s'attend à ce que la région du bassin de Georgia/Puget Sound connaisse un accroissement régulier de la population au cours des 20 prochaines années. La population totale de la région se chiffrait à 6,97 millions en 2002, ce qui en fait l'un des plus grands centres métropolitains d'Amérique du Nord. Près de 4 millions (57 p. 100) de ces personnes vivent aux États-Unis et environ 3 millions (43 p. 100), au Canada. D'ici 2020, on prévoit que la population dans la région du Puget Sound dépassera 5 millions d'habitants (soit une croissance de 29 p. 100). Dans le bassin de Georgia, la population devrait passer la barre des 4 millions d'habitants (augmentation de 35 p. 100) (Transboundary Georgia Basin – Puget Sound Environmental Indicators Working Group, 2002). Comme le montre la figure 6.2, cela portera la population totale de la région du bassin de Georgia/Puget Sound à 9 millions d'habitants d'ici 2020.

Plus de la moitié de la population de la région du bassin de Georgia/Puget Sound vit dans l'agglomération de Vancouver (district régional de Vancouver) et dans celle de Seattle (comté de King). Comme le montre la figure 6.3, en 2000, ces deux grands centres de population concentraient respectivement 29 et 25 p. 100 de la population globale du Bassin. Des concentrations encore plus élevées sont évidentes (en particulier dans la région de Seattle) lorsqu'on tient compte des environs (Transboundary Georgia Basin – Puget Sound Environmental Indicators Working Group, 2002). La tendance traditionnelle du développement face à l'accroissement de la population a été l'étalement des villes. Ce type de

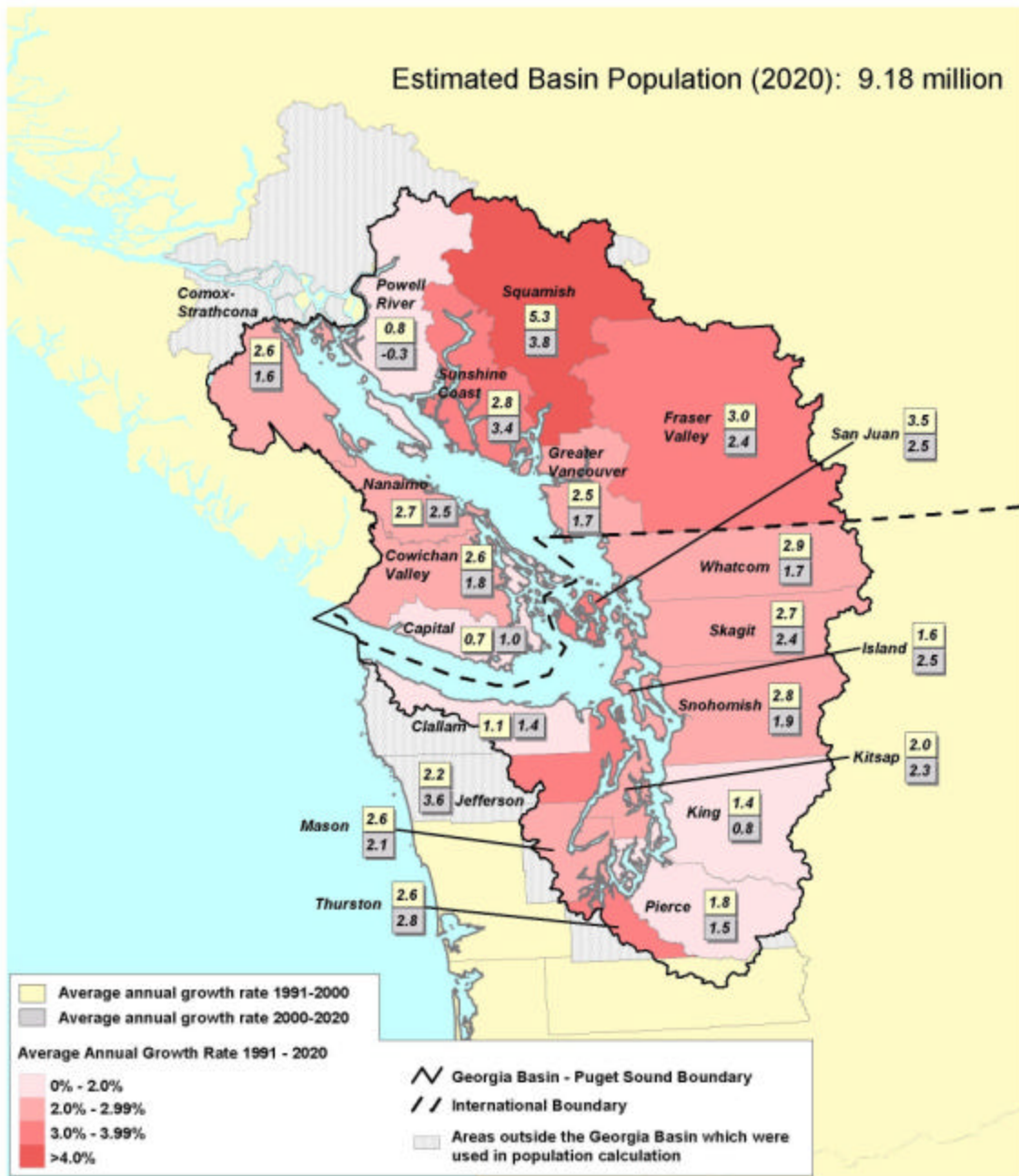
développement se traduit par une augmentation de l'utilisation des véhicules et de la consommation d'énergie, ce qui entraîne une augmentation des émissions.

TRADUCTION DE LA FIGURE 6.2

Estimated Basin Population...	Population estimative du Bassin (2020) : 9,18 millions
Average annual growth rate 1991-2000	Taux annuel moyen d'accroissement (1991-2000)
Average annual growth rate 2000-2020	Taux annuel moyen d'accroissement (2000-2020)
Average annual growth rate 1991-2020	Taux annuel moyen d'accroissement (1991-2020)
Georgia Basin–Puget Sound Boundary	Limite entre le bassin de Georgia et le Puget Sound
International Boundary	Frontière internationale
Areas outside the Georgia Basin...	Secteurs hors du bassin de Georgia qui entrent dans le calcul de la population

TRADUCTION DE LA FIGURE 6.3

Estimated Basin Population...	Population totale du Bassin (2000) : 6,97 millions
Percent of Total Population, 2000	Pourcentage de la population totale, 2000
Georgia Basin–Puget Sound Boundary	Limite entre le bassin de Georgia et le Puget Sound
International Boundary	Frontière internationale
Areas outside the Georgia Basin...	Secteurs hors du bassin de Georgia qui entrent dans le calcul de la population



Source : Transboundary Georgia Basin –Puget Sound Environmental Indicators Working Group, « Georgia Basin –Puget Sound Ecosystem Indicator Report », printemps 2002, p. 4.

Figure 6.2. Accroissement annuel moyen de la population par district régional et comté, 1991-2000 (avec données numériques pour 1991-2000 et 2000-2020)



Source : Transboundary Georgia Basin – Puget Sound Environmental Indicators Working Group, « Georgia Basin – Puget Sound Ecosystem Indicator Report », printemps 2002, p. 3.

Figure 6.3. Pourcentage de la population du bassin de Georgia/Puget Sound par district régional et comté, 2000

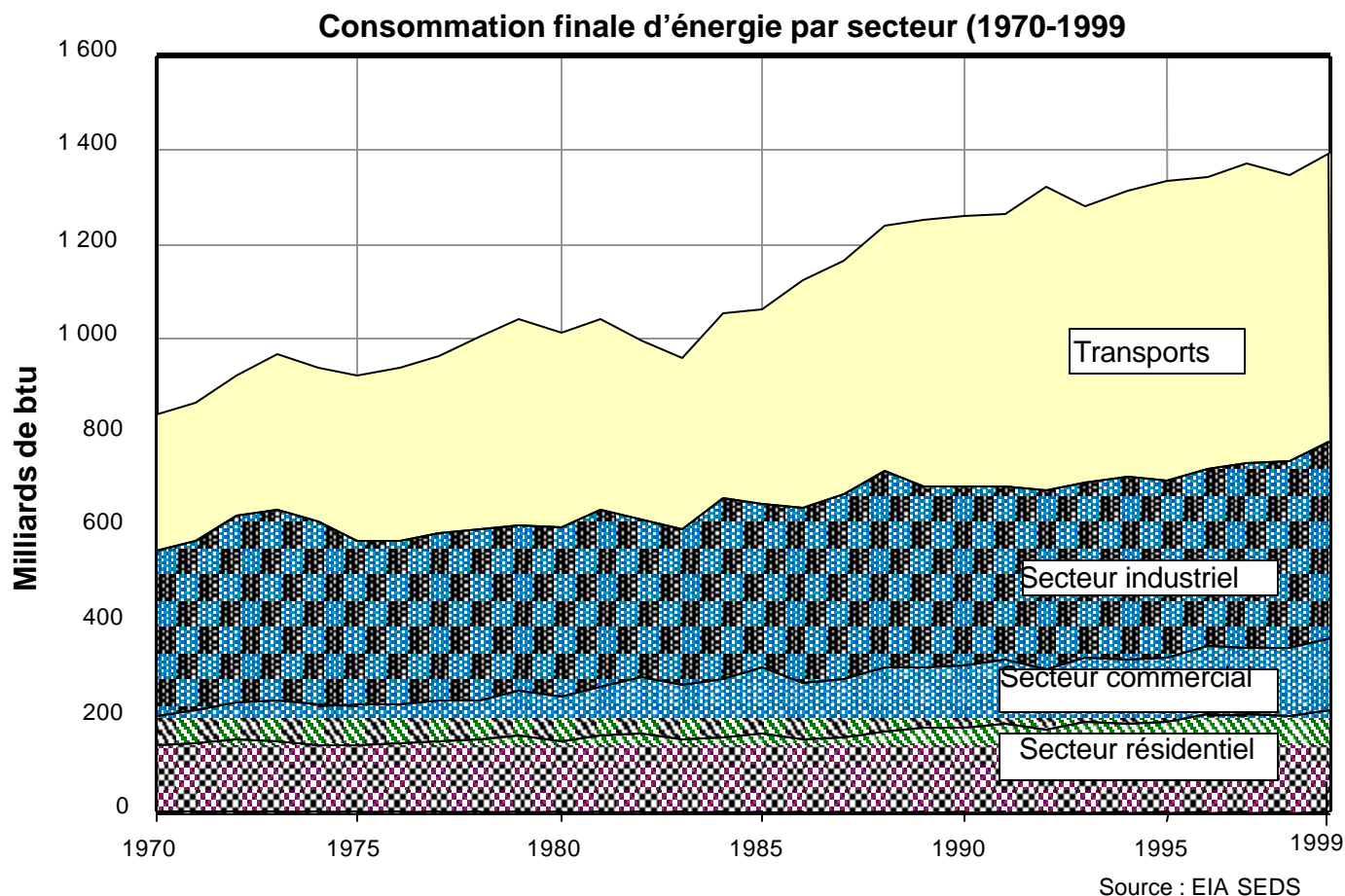
Aussi bien l'État de Washington que la Colombie-Britannique enregistrent une hausse du nombre de personnes âgées. Dans l'État de Washington, la proportion de citoyens âgés de plus de 65 ans passera de 11,3 p. 100 en 2000 à 16,1 p. 100 de la population en 2025 (Washington State Office of Financial Management and Employment Security Department, 2001). En Colombie-Britannique, les plus de 65 ans passeront de 13 p. 100 en 2000 à 17,3 p. 100 en 2021 (Ministry of Finances and Corporate Relations, 1997). Du fait de cette tendance, l'Office of Financial Management de l'État de Washington prévoit que la population active dans l'État reculera de son niveau de 69,3 p. 100 en 2000 à 64,4 p. 100 en 2025 (Washington State Office of Financial Management and Employment Security Department, 2001). Cela risque d'inciter les gens à venir s'installer dans la région pour combler les emplois vacants, ce qui augmentera encore le rythme d'accroissement de la population.

Consommation d'énergie

La production et la consommation d'énergie sont liées à de nombreux aspects de la durabilité. Les habitants du bassin de Georgia et du Puget Sound consomment de l'énergie pour alimenter leurs voitures, faire fonctionner leurs appareils électroménagers et leurs usines industrielles, éclairer et chauffer leurs maisons, leurs bureaux et leurs entreprises. L'énergie est également un volet important de la production de produits à base de ressources. La production et la consommation d'énergie extraite des combustibles fossiles rejettent des polluants dans l'atmosphère, dont des volumes élevés de gaz à effet de serre. Entre 1990 et 1999, les émissions de gaz à effet de serre en Colombie-Britannique ont progressé de 24 p. 100, passant de 51,2 millions de tonnes à près de 63,4 millions de tonnes, à cause d'une hausse de la consommation d'énergie (Fondation David Suzuki, 2001). Plus de 80 p. 100 des émissions de gaz à effet de serre en C.-B. en 2000 provenaient de la production et de la consommation d'énergie, le secteur des transports contribuant pour près de la moitié à la hausse des émissions.

Taux de consommation d'énergie

L'État de Washington et la Colombie-Britannique connaissent tous deux une hausse de leur consommation d'énergie depuis les années 1980. L'État de Washington a consommé environ 1 477 pétajoules d'énergie en 1999. La consommation finale d'énergie a progressé d'environ 1,9 p. 100 par an entre 1985 et 1999 (Washington State Department of Community, Trade and Economic Development, 2003). Entre 1985 et 1995, la consommation d'énergie a augmenté à raison de 3,1 p. 100 par an. Comme l'illustre la figure 6.4, l'augmentation la plus rapide a intéressé le secteur des transports (Washington State Department of Community, Trade and Economic Development, 2003). En 1999, les habitants de la Colombie-Britannique ont consommé environ 1 145 pétajoules d'énergie, soit une hausse de 28 p. 100 par rapport à 1981 (Basin Fraser Council, 2003). Près des deux tiers de la consommation totale d'énergie a intéressé le pétrole et le gaz naturel. Comme dans l'État de Washington, c'est le secteur des transports qui a connu le rythme d'accroissement le plus rapide.



Source : Washington State Department of Community, Trade and Economic Development, « Energy Indicators », 2003, p. 3.

Figure 6.4. Consommation finale d'énergie dans l'État de Washington par secteur, 1970-1999

TRADUCTION DE LA FIGURE 6.4

End-Use Energy Consumption by sector (1970-1999) = Consommation finale d'énergie par secteur (1970-1999)

Augmentation de la demande d'énergie des foyers

La consommation totale d'énergie des foyers augmente à cause de l'accroissement de la population. Le Northwest Power Planning Council, qui a son siège à Portland et qui représente les habitants de l'Idaho, du Montana, de l'Oregon et de l'État de Washington, prévoit que la demande future d'énergie dans le Nord-Ouest passera de 20 422 MW en 2000 à 28 464 MW en 2025 (Ernst, 2002). Le Conseil prévoit que la consommation résidentielle d'électricité augmentera de 1,14 p. 100 par an jusqu'en 2025 (ce qui est légèrement inférieur au taux d'augmentation de 1,61 p. 100 enregistré entre 1990 et 2000).

En Colombie-Britannique, la consommation des ménages a représenté 13 p. 100 du total (144 pétajoules). Sur ce chiffre, 52 p. 100 est attribuable au chauffage individuel et 26 p. 100 au chauffage de l'eau; les appareils électroménagers ont représenté environ 16 p. 100 et l'éclairage, près de 5 p. 100. BC Hydro (2003) prévoit que la consommation globale d'électricité de la province augmentera de 30 p. 100 entre 1998 et 2015, soit une hausse d'environ 2 p. 100 par an. Le British Columbia Task Force on Energy Policy estime que les hausses prévues de la demande ménagère nécessiteront de nouvelles sources de production d'ici 2010.

Augmentation de l'efficacité énergétique dans l'économie

Les économies de l'État de Washington et de la Colombie-Britannique sont plus écoénergétiques qu'il y a 20 ans. Depuis le milieu des années 1980, l'État de Washington continue de produire plus de biens et de services par unité d'énergie consommée (Washington State Department of Community, Trade and Economic Development, 1999). Alors que la consommation totale d'énergie de l'État de Washington a augmenté entre 1980 et 1999, la consommation d'énergie par dollar du produit brut de l'État (PBE) a reculé de 39 p. 100. Cela s'explique par un certain nombre de facteurs, notamment par la métamorphose de l'économie de l'État qui reposait sur les ressources naturelles et le secteur manufacturier et qui compte aujourd'hui des entreprises de logiciels, de biotechnologie et d'autres industries à moindre intensité énergétique, de même que par des gains d'efficacité énergétique. En Colombie-Britannique, la quantité d'énergie consommée pour produire la même valeur pécuniaire de biens et de services a diminué de 18 p. 100 entre 1981 et 1998. Parmi les facteurs qui ont contribué à l'efficacité énergétique de l'économie de la province figurent sa transition vers des secteurs moins énergivores comme les services et le tourisme, l'amélioration de l'efficacité énergétique des activités existantes et l'augmentation de la consommation d'énergie provenant de sources d'énergie de substitution (Ministry of Water, Land and Air Protection, 1999).

Production d'électricité

Selon la technologie employée, la production d'électricité peut être une importante source de pollution atmosphérique. Or, dans l'État de Washington et en Colombie-Britannique, leur électricité est par bonheur d'origine hydroélectrique, ce qui est une source d'énergie beaucoup plus propre que d'autres comme le pétrole et le gaz.

En Colombie-Britannique, près de 90 p. 100 de la production d'électricité de BC Hydro est d'origine hydroélectrique, et la majeure partie est produite hors du bassin de Georgia. La principale usine de production d'électricité à base de combustibles fossiles est celle de Burrard Thermal, station de 950 MW située à Port Moody, près de Vancouver, dont la capacité est de 7 050 GW/h par an. Burrard Thermal est une centrale classique au gaz naturel.

Entre 2002 et 2012, la demande d'électricité en Colombie-Britannique devrait passer de 48 000 GW/h à 58 000 GW/h par an, et cette demande sera partiellement satisfaite par l'achat d'électricité auprès de producteurs indépendants. Sur les cinq plus récents projets de production d'électricité indépendante approuvés, deux sont situés dans le bassin de Georgia (BC Hydro, 2003). L'un concerne la modernisation d'une petite usine hydroélectrique de 10,4 GW/h par an à Powell River et l'autre, l'ajout de 125 GW/h par an de production d'électricité à l'incinérateur municipal de déchets du district régional de Vancouver à Burnaby. La majorité des 16 projets retenus dans le cadre d'un récent appel d'énergie verte sont de petits projets hydroélectriques situés dans le bassin de Georgia, dont un doit produire de l'électricité à partir des gaz d'enfouissement de la décharge de Vancouver. Même si

plusieurs projets à base de biomasse ont été approuvés, ou ont été présélectionnés, tous sont en dehors du bassin de Georgia.

Dans l'État de Washington, la production d'électricité est assurée par plusieurs compagnies de service public, dont Puget Sound Energy et Seattle City Light. L'approvisionnement de la région Nord-Ouest des États-Unis était assuré en 2000 par l'hydroélectricité pour 63,9 p. 100, par le charbon pour 13,3 p. 100, les économies pour 9,4 p. 100, le gaz naturel pour 7,8 p. 100, l'énergie nucléaire pour 3,9 p. 100, le pétrole pour 0,4 p. 100 et les autres sources pour 1,3 p. 100. La part d'électricité qui ne provient pas de sources renouvelables non hydroélectriques et qui a été consommée dans l'État de Washington en 2001 a été inférieure à 1,5 p. 100 de la consommation globale.

Suite à la déréglementation accrue des marchés de l'électricité et à la crise de l'énergie de 2000-2001 en Californie, un certain nombre de projets de production d'électricité ont été prévus pour la région Nord-Ouest des États-Unis, dont beaucoup dans le secteur du Puget Sound. D'après les chiffres du Northwest Power Planning Council (2003), entre janvier 2000 et avril 2003, 161 projets énergétiques ont été publiquement annoncés. Sur ce nombre, 77 ont été parachevés, interrompus, annulés ou repoussés, et 3 autres devaient être annulés. Sur les projets restants, 24 sont en service, 7 sont en cours de construction, 15 ont été autorisés, 18 en sont à l'étape de l'autorisation ou de la planification, et 13 demeurent toujours à l'état de projet.

Transports

La plupart des habitants de la région du bassin de Georgia/Puget Sound dépendent de l'automobile comme moyen de locomotion. Par ailleurs, compte tenu de l'importance du rôle joué par Seattle et Vancouver comme portes d'entrée du commerce et du tourisme internationaux, les transports sont un puissant moteur de l'économie. Il s'ensuit que la consommation d'énergie dans le secteur des transports est une importante source de pollution atmosphérique et d'émissions de gaz à effet de serre dans la région. Dans l'État de Washington, en pourcentage à la pollution atmosphérique, la contribution des véhicules automobiles a progressé de 43 p. 100 en 1991 à 57 p. 100 en 1999. Les pourcentages des émissions du secteur de l'automobile dans la vallée du bas Fraser sont supérieurs à 30 p. 100 pour les SO_x, à 25 p. 100 (équivalent CO₂) pour les gaz à effet de serre, à plus de 45 p. 100 pour les NO_x et à plus de 20 p. 100 pour les COV (GVRD, 2002).

Ce rapport examine les émissions du secteur des transports dans deux grandes catégories : les émissions des petits véhicules et les émissions des véhicules commerciaux.

Émissions des petits véhicules

Les émissions des petits véhicules sont celles qui proviennent essentiellement des voitures de tourisme et des camions légers. Le taux de possession d'automobiles, l'augmentation des distances parcourues et des temps de déplacement sont autant d'indicateurs de la contribution croissante des petits véhicules à la pollution atmosphérique, en particulier dans les plus grandes villes de la région du bassin de Georgia/Puget Sound. Les types de véhicules en circulation influent également sur la qualité de l'air.

Le taux de possession d'automobiles, les temps de déplacement et les distances parcourues augmentent des deux côtés de la frontière. On compte actuellement près de 1,15 million de véhicules dans la vallée du bas Fraser. En 2001, l'augmentation du nombre de véhicules dans le district régional de Vancouver a dépassé le taux annuel d'accroissement de la population

de 1,6 p. 100. Entre 1985 et 1998, la distance moyenne d'un trajet effectué dans la région a augmenté de 16 p. 100, pour s'établir à 14,5 km. Durant cette période, les temps de déplacement ont augmenté de 20 p. 100. En 1985, les véhicules du district régional ont parcouru environ 10 milliards de kilomètres; en 1998, ce chiffre était passé à 16,8 milliards de kilomètres. En même temps, le nombre de passagers par voiture continue de baisser. Près de 70 p. 100 des migrations journalières dans le *Lower Mainland* se font dans des véhicules à un seul occupant (GVRD, 2000).

Dans le Puget Sound, entre 1981 et 1992, la densité de la circulation automobile (que l'on mesure au nombre total de milles-véhicules parcourus [MVP]) a augmenté de 85,5 p. 100. Entre 1992 et 2002, les MVP ont augmenté de 19,6 p. 100, soit un taux proche de celui de l'accroissement de la population et de l'emploi. Le Puget Sound Regional Council prévoit que, si les MVP continuent d'augmenter au même rythme que la population et l'emploi, leur total aura augmenté de plus de 30 p. 100 d'ici 2030 (Puget Sound Regional Council, 2002). Les temps de déplacement pour se rendre au travail dans la région centrale du Puget Sound ont augmenté depuis dix ans. Même si la majorité des migrants journaliers ont toujours un temps de déplacement maximum inférieur à 30 minutes, la part des migrants dont le temps de déplacement maximum est d'au moins 30 minutes est passée de 34,9 p. 100 en 1990 à 39,4 p. 100 en 2000 (*ibid.*).

Même s'il existe un certain nombre de véhicules plus petits et plus sobres sur le marché, les ventes et la conduite de véhicules énergivores comme les camions, les mini-fourgonnettes et les véhicules utilitaires sport (VUS), qui consomment plus, ont augmenté. Les VUS produisent en moyenne un tiers de CO₂ par mille de plus qu'un véhicule moyen. Au Canada, la désaffection à l'égard des voitures de tourisme au profit de véhicules plus gros comme les VUS est responsable de près de 45 p. 100 de l'augmentation des émissions observée depuis 1990.

Émissions des véhicules commerciaux

L'augmentation des échanges commerciaux et des voyages nationaux et internationaux, la participation accrue aux marchés mondiaux et l'importance que l'on attache à la circulation plus efficace des marchandises et des personnes ont entraîné une augmentation de la demande de services de transport dans la région du bassin de Georgia/Puget Sound. Parmi ces services figurent le camionnage et les transports ferroviaire, aérien et maritime. Près de 100 millions de tonnes de marchandises, 16 millions de passagers aériens et 1 million de passagers de croisière transitent par l'agglomération de Vancouver chaque année (Greater Vancouver Gateway Council, 2003). De même, l'agglomération de Seattle accueille plus de 245 000 passagers de croisière, 27 millions de passagers aériens et 28 millions de tonnes de marchandises maritimes (Economic Development Council of Seattle & King County, 2003). L'ensemble des mouvements à destination et en provenance de la Colombie-Britannique devrait augmenter de 171,1 millions de tonnes en 2000 à 188,4 millions de tonnes en 2010 (Greater Vancouver Gateway Council, 2003).

Camionnage et poids lourds

L'un des problèmes que posent les poids lourds au chapitre de la pollution atmosphérique est l'utilisation de carburant diesel et l'émission de particules qui en résulte. Les recherches actuelles sur la santé incitent à croire que les particules de carburant diesel présentent des risques sérieux, en particulier pour les gens qui vivent et travaillent à proximité des artères empruntées par les poids lourds. Les émissions de NO_x des poids lourds sont importantes

elles aussi, ce qui est préoccupant à cause de leurs effets sur la santé et de leur rôle dans la formation d'ozone.

Dans le Puget Sound, les camions et les autobus/autocars émettent annuellement les quantités suivantes :

Tonnes métriques, 1999	CO	NH₃	NO_x	PM₁₀	PM_{2.5}	SO_x	COV
Essence consommée par les camions et les autobus/autocars	38 149	38	4 961	113	79	174	3 003
Carburant diesel consommé par les camions et autobus/autocars	11 377	35	37 124	1 219	1 076	903	2 216

Dans la vallée du bas Fraser (DRV + DRVF + comté de Whatcom), les camions et les autobus/autocars émettent annuellement les quantités suivantes :

Tonnes métriques, 2000	CO	NH₃	NO_x	PM₁₀	PM_{2.5}	SO_x	COV
Essence consommée par les camions et les autobus/autocars	2 864	7	753	16	12	21	208
Carburant diesel consommé par les camions et autobus/autocars	2 556	20	12 253	307	266	259	423

Une importante fraction du commerce canado-américain franchit la frontière entre l'État de Washington et la Colombie-Britannique. Le commerce bilatéral au poste frontalier de Blaine (Washington) était évalué à plus de 35 millions de dollars par jour en 2000. Le nombre de camions commerciaux qui franchissent la frontière entre l'État de Washington et la Colombie-Britannique augmente depuis l'entrée en vigueur de l'Accord de libre-échange nord-américain (ALÉNA). Le tableau ci-après illustre le nombre de camions qui ont franchi certains postes frontaliers de Colombie-Britannique entre 1999 et 2002.

Tableau 6.4. Camions qui ont franchi la frontière canado-américaine (volumes de circulation dans les deux sens) en millions

Poste frontalier	1999	2000	2001	2002
Pacific Highway - Douglas	860 000	870 000	790 000	780 000
Huntington	130 000	130 000	140 000	180 000
Aldergrove	120 000	140 000	160 000	160 000

Source : Site Web de Transports Canada, <http://www.tc.gc.ca>.

Moteurs et matériels hors route

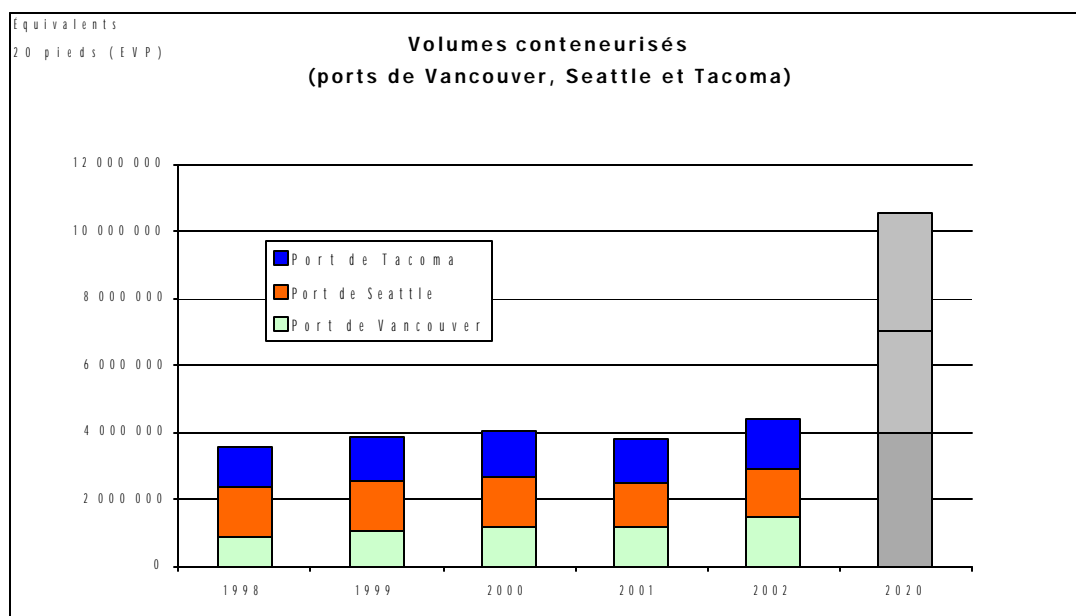
Parmi les sources motorisées hors route, on retrouve une grande diversité de véhicules et de machines comme les aéronefs, les matériels ferroviaires, les navires, de même que les véhicules récréatifs, les machines agricoles, les engins de construction et les équipements d'entretien des pelouses et de jardinage. Ensemble, ces sources ont émis près de 27 p. 100 des polluants générateurs de smog et 11 p. 100 des gaz à effet de serre dans le bassin atmosphérique de la vallée du bas Fraser en 2000 (GVRD, 2000).

Transport maritime

On reconnaît depuis peu que les émissions des navires contribuent pour beaucoup aux émissions atmosphériques totales dans le Bassin et qu'elles dépasseront celles des automobiles dans la vallée du bas Fraser d'ici 2010. Les navires hauturiers émettent chaque année des tonnes de substances chimiques génératrices de smog et d'autres polluants atmosphériques. En raison de l'augmentation rapide et constante du trafic maritime et du fait que de nombreuses sources polluantes terrestres sont aujourd'hui réglementées alors que les sources maritimes ne le sont pas, le rythme d'augmentation de la pollution atmosphérique causée par les navires dépasse celui des autres sources. Les navires hauturiers émettent de grandes quantités de NO_x , de SO_x et de PM à la fois en Colombie-Britannique et dans l'État de Washington. Parmi les autres sources d'émissions atmosphériques du secteur maritime figurent les navires à quai, les traversiers, les bateaux de pêche et les embarcations de plaisance.

Vancouver et Seattle sont d'importants centres internationaux de commerce, d'affaires et de tourisme dans la région du bassin de Georgia/Puget Sound et dans leurs pays respectifs. Vancouver, le premier port du Canada, manutentionne chaque année plus de 70 millions de tonnes métriques de marchandises en provenance de plus de 90 pays. Chaque année, plus d'un million de passagers payants transitent par le port à bord de plus de 300 navires qui représentent les principales compagnies internationales de croisière. Et l'on prévoit que cette expansion se poursuivra.

Le port de Seattle manutentionne environ 14 millions de tonnes de marchandises chaque année et accueille 245 000 passagers de croisière. Le port de Tacoma manutentionne pour sa part environ 14 millions de tonnes de marchandises. D'ici 2020, les volumes conteneurisés au port de Tacoma devraient augmenter de 1,25 million d'équivalents 20 pieds (EVP) à 3,53 EVP, mais l'on s'attend à ce que les marchandises non conteneurisées restent stables. La figure 6.5 ci-dessous illustre les tendances des volumes conteneurisés depuis cinq ans et les prévisions de 2020 pour les ports de Tacoma, Seattle et Vancouver.



Source : Sites Web des ports de Vancouver, Seattle et Tacoma.

Figure 6.5. Volumes conteneurisés (ports de Vancouver, Seattle et Tacoma)

Étant donné que de nombreuses localités de la région du bassin de Georgia/Puget Sound sont séparées par des plans d'eau, les traversiers sont un moyen de locomotion essentiel dans la région. En 2001, les 40 bâtiments exploités par BC Ferries ont assuré 25 liaisons, ont fait escale dans 46 ports et ont transporté 21,3 millions de passagers et 8,1 millions de véhicules (BC Chamber of commerce, 2002). Le nombre de passagers qui empruntent des traversiers dans l'État de Washington a augmenté de 57 p. 100 depuis 1980. L'État compte 29 navires et 20 ports d'escale et, en 2001, les traversiers de l'État ont transporté 26,6 millions de passagers et 11,5 millions de véhicules (Washington State Department of Transportation, 2002).

En 2000, les transports maritimes ont produit le tiers des 19 tonnes métriques d'oxydes de soufre qui ont pénétré dans le bassin atmosphérique de la vallée du bas Fraser (Levelton Ltd., 2003), et l'on prévoit qu'ils prendront la place peu enviable des véhicules automobiles légers comme principal responsable de polluants générateurs de smog d'ici 2010. Les navires-hôtels dans les ports peuvent avoir une incidence directe sur la qualité de l'air et la santé dans les collectivités voisines.

Transport ferroviaire

Tout porte à croire que les services ferroviaires voyageurs et marchandises augmenteront dans l'État de Washington. Actuellement, 75 millions de tonnes de marchandises sont transportées chaque année sur le réseau ferroviaire de l'État. Alors que les services ferroviaires marchandises dans l'État de Washington représentent la part la plus limitée de l'ensemble des marchandises transportées, ce sont eux qui ont le plus de chances de connaître une expansion étant donné que le maintien des embranchements permet à l'État d'économiser près de 21 millions de dollars par an en coûts d'entretien de la voirie (Washington's Transportation Plan, 2002).

L'État de Washington est actuellement propriétaire de huit liaisons quotidiennes du réseau ferroviaire voyageurs Cascade d'Amtrack. Le nombre de voyageurs a plus que doublé tous les cinq ans depuis 1993. Ces liaisons ont détourné près de 143 000 déplacements en voiture du couloir routier I-5 en 2000. On estime que le nombre de voyageurs qui ont emprunté la liaison reliant Vancouver à Portland (Oregon) en 2002 a été de 1 094 000, et qu'il pourrait passer à 1 920 000 en 2018 (*ibid.*).

La Colombie-Britannique a vu augmenter ses exportations et ses importations par le rail depuis six ans. Le réseau ferroviaire de la province comprend près de 7 700 km de voies principales (Transports Canada, 2002). On compte 817 237 mètres de voies ferrées dans le district régional de Vancouver et 374 056 mètres dans le sud du district régional de la vallée du Fraser. Entre 1996 et 2002, les exportations ferroviaires de Colombie-Britannique ont progressé de près de 8 980 000 à 12 100 000 tonnes. Durant cette période, les importations ferroviaires sont passées de 1 050 000 tonnes à 2 620 000 tonnes (Transports Canada, 2002).

En dépit de sa contribution à la pollution atmosphérique, le transport ferroviaire, de par son efficacité, est une option beaucoup moins polluante que le camionnage. En outre, le recours au train pour transporter des voyageurs et des marchandises permet de réduire les coûts de l'entretien des routes et des accidents de transport. Les études montrent que le rail est trois fois plus écoénergétique que la route pour le transport des marchandises (Washington State Department of Transportation, 2003). On peut atténuer la pollution atmosphérique en réduisant les trajets des véhicules automobiles au profit des voyages en train, qui transportent un plus grand nombre de voyageurs et produisent moins d'émissions par personne. Sans services ferroviaires, il faudrait transporter un plus grand nombre de marchandises par camion, ce qui aggraverait les embouteillages et majorerait les frais d'entretien des routes. L'abandon de près de 40 p. 100 des voies ferroviaires en service dans l'État de Washington depuis 1970 s'est soldé par une augmentation de la circulation sur les routes de l'État et locales et par une hausse des coûts d'entretien et de réparation. Le département des Transports de l'État de Washington estime que, sans services ferroviaires, les coûts des accidents de transport augmenteraient de 67 millions \$ par an (Washington State Department of Transportation, 2003).

Agriculture

Le secteur agricole subit les impacts de la pollution atmosphérique (comme nous l'avons vu plus haut) tout en contribuant pour beaucoup aux émissions, notamment de CO et CO₂, de NH₃ et de CH₄. L'agriculture produit deux grandes catégories d'émissions : celles des pratiques agricoles générales comme l'élevage du bétail, la culture des terres arables, l'épandage de pesticides et l'utilisation de machines agricoles; et celles du brûlage agricole.

Pratiques agricoles

Les émissions atmosphériques attribuables aux pratiques agricoles proviennent de diverses sources. Au Canada, près des deux tiers des émissions de gaz à effet de serre d'origine agricole sont sous la forme de N₂O et un tiers sous la forme de CH₄. Le bétail et le fumier concentrent près de 58 p. 100 de ces émissions, tandis que les pratiques culturales en représentent 37 p. 100. Agriculture et Agroalimentaire Canada estime que le rejet de gaz est généralement le fait de la mauvaise assimilation de l'azote dans les engrais, les débris végétaux ou les fumiers. Par ailleurs, la plupart des régimes culturaux sont tributaires de sources d'énergie de l'extérieur, essentiellement des combustibles fossiles.

La vallée du Fraser occupe une place importante dans la production agricole en Colombie-Britannique, représentant plus de la moitié des revenus agricoles bruts de la province. La production laitière, l'aviculture et un nombre limité de cultures de grande production représentent la majeure partie de la production agricole. Entre 1986 et 1996, la vallée du Fraser a été le théâtre de changements dans la quantité des pâturages aménagés en raison des transformations survenues dans l'aménagement et l'utilisation des terres. En même temps, la production avicole a significativement augmenté (de 55 p. 100), alors que le nombre de vaches laitières est demeuré relativement stable (à près de 52 000 en 1996). Un rapport du Conseil du bassin du Fraser sur les stratégies de planification de la gestion des éléments nutritifs indique que ces changements ont des répercussions sur la gestion des éléments nutritifs (2001). Même si ce rapport cible expressément les impacts sur la qualité de l'eau, la vie aquatique et la qualité des sols, le rejet d'azote et d'autres polluants peut avoir des répercussions directes sur la pollution atmosphérique.

Dans le Puget Sound, le secteur du bétail émet près de 27 000 tonnes de méthane chaque année. L'un des grands responsables de ce phénomène est l'industrie de l'élevage intensif des bovins laitiers dans le comté de Whatcom.

Brûlage agricole

Le brûlage agricole, pratique courante en Colombie-Britannique qui procure un certain nombre d'avantages aux méthodes agricoles, puisqu'il permet de lutter contre les insectes et les maladies et d'assurer la succession naturelle des communautés végétales. Près de 2 000 feux agricoles sont allumés chaque année dans l'État de Washington, ce qui émet 40 000 tonnes de polluants dans l'atmosphère. Les émissions incluent des particules, du monoxyde de carbone et des composés organiques volatils (Washington State Department of Ecology, 2002). Les données recueillies pour l'Inventaire des émissions du district régional de Vancouver en 2000 montrent qu'il y a eu plus de 900 feux agricoles dans les districts régionaux de Vancouver et de la vallée du Fraser en 2000. On estime que ces feux ont émis près de 700 tonnes de polluants générateurs de smog dans les deux districts régionaux. Parmi les principaux polluants du brûlage agricole figurent les particules, le monoxyde de carbone et les composés organiques volatils. Les substances émises par le brûlage agricole risquent d'aggraver les affections cardiaques et respiratoires, d'irriter les yeux, la gorge et les sinus, de déclencher des maux de tête et des allergies et d'accentuer la gravité de problèmes de santé préexistants comme l'asthme, l'emphysème, la pneumonie et la bronchite.

Combustion du bois

La combustion du bois englobe les feux que l'on fait dans son jardin et le chauffage à l'aide de poêles à bois. Les feux dans le jardin englobent la combustion des déchets. Cette pratique est de plus en plus réglementée et elle diminue avec le temps. Un certain nombre de ménages, en particulier dans les régions rurales de la région du bassin de Georgia/Puget Sound, continuent de se chauffer au bois. La fumée qui se dégage des feux de jardin contient du monoxyde de carbone, des particules, du dioxyde de soufre, des oxydes d'azote et d'autres substances toxiques. La combustion de bois dans de vieux poêles et cheminées peut produire d'importantes émissions de particules. La fumée que dégagent les feux à l'extérieur et les poêles à bois est reconnue depuis longtemps comme un problème de santé. Une étude menée à Seattle montre que les enfants âgés de 1 à 5 ans connaissent un taux sensiblement plus élevé de congestion et de respiration sifflante dans les régions où la qualité de l'air est mauvaise. Une autre étude a montré que d'importantes fonctions pulmonaires sont réduites chez les sujets asthmatiques qui sont plus exposés à la fumée de bois (Bates, Koenig et Brauer, 2003).

Jusqu'à 60 p. 100 de la moyenne annuelle des particules fines dans certains quartiers résidentiels de Seattle proviennent du chauffage au bois.

Bibliographie

Bates, D.V., et R.B. Caton (dir. de publ.). 2002. *Guide du citoyen sur la pollution atmosphérique, deuxième édition*, Fondation David Suzuki, Vancouver (C.-B.).

Bates, D.V., Q. Koenig et M. Brauer. 2003. « Health and Air Quality 2002 – Phase 1 Methods for Estimating and Applying Relationships Between Air Pollution and Health Effects », p. 105.

BC Chamber of Commerce. 2002. *The BC Chamber of Commerce 2002 – 2003 Policy and Positions Manual: Transportation*.

BC Hydro. 2003. « Expanded Power Smart Program Participation Key to Addressing Growing Electricity Needs ». <http://www.bchydro.com/news/2003/sep/release8400.html>.

BC Hydro. 2003. *Green Independent Power Producers 2003*. www.bchydro.com.

BC Ministry of Environment, Lands and Parks. 1995. « Clean Vehicles and Fuels for B.C ».

Brace, S., D.L. Peterson et D. Bowers. 1999. *A Guide to Ozone Injury in Vascular Plants of the Pacific Northwest*. USDA Forest Service General Technical Report GTR-PNW-446. Pacific Northwest Research Station, Portland, OR.

Brauer, M., J. Brumm et S. Ebelt. 2000. « Evaluation of Ambient Air Pollution in the Lower Mainland of British Columbia: Public Health Impacts, Spatial Variability, and Temporal Patterns ». Report prepared for Administrative Council of Lower Mainland Medical Health Officers, 53 p.

Burnett, R., S. Cakman et J. Brook. 1998. « The Effect of the Urban Ambient Air Pollution Mix on Daily Mortality Rates in 11 Canadian Cities ». *Canadian Journal of Public Health*, vol. 89.

Council of Tourism Associations of British Columbia - Rapport annuel. 2002. <http://www.cotabc.com/documents/annualreport2003.pdf>.

David Suzuki Foundation. 2001. « Backgrounder: Energy Policy in British Columbia ». www.davidsuzuki.org/Campaigns_and_Programs/Climate_Change/News_Releases/newsclimatechange11010102.asp.

Economic Development Council of Seattle & King County. 2003. www.edc-sea.org/research_data/economic_transportation.cfm.

Agriculture et Agroalimentaire Canada. 2003. « La santé de l'air que nous respirons : effet de l'ozone sur les plantes ». http://res2.agr.ca/publications/ha/3b_f.htm.

Agriculture et Agroalimentaire Canada. 2003. « La santé de l'air que nous respirons : ozone ». http://res2.agr.ca/publications/ha/3toc_f.htm.

Ernst, S. 2002. « Power Planners Forecast Growing Energy Demand ». *The Business Journal of Portland*, 14 octobre 2002. <http://www.bizjournals.com/portland>.

Finlayson, J. 2002. « Economic Change and the Outlook for Employment in British Columbia ». Presentation to CES Career Education Society Conference, novembre 2002.

Finlayson, J. 2002. « Economic Outlook for British Columbia and Greater Vancouver », part of « Skill Shortages and BC's Changing Labor Market: Implications for Immigrants and Immigration Policy », presented to S.U.C.C.E.S.S., 26 juillet 2002. www.bcbc.com/archives/SUCCESS_July262002.pdf.

Fraser Basin Council. 2003. « A Snapshot of Sustainability: State of the Fraser Basin Report ».

Fraser Valley Regional District. 1998. « Fraser Valley Regional District Air Quality Management Plan », p. 6-3.

Gouvernement du Canada. 2004. www.climatechange.gc.ca/francais.

Greater Vancouver Gateway Council. 2003. « The economic impact of the major commercial transportation system ». Septembre 2003. www.gvgc.org.

GVRD. 2000. « Air Quality Management in the Lower Fraser Valley: Background on Emission Sources and Air Quality Issues ». Août 2000, p. 20.

GVRD/Business Council of British Columbia. 2002. « The Greater Vancouver Economy: Structure, Trends, Challenges and Opportunities ». Background Paper prepared for the Greater Vancouver Regional District/Business Council of British Columbia Economic Sustainability Forum, 12 juin 2002.

Santé Canada. 2003. « Santé et qualité de l'air – Effets sur la santé – estimation des bénéfiques ». www.hc-sc.gc.ca/hecs-sesc/qualite_air/benefices.htm.

Levelton Engineering Ltd., Alchemy Consulting Inc. et D.V. Bates. 2000. *Diesel Particulate Matter and Associated Environmental Concerns, Health Risks and Tradeoffs*, Report prepared for the Onroad Diesel Emissions Evaluation Task Force. Projet 499-0998.

Kaufman, S. 1998. Summary of Leading Causes for Ambulatory Medical Care Visits at Indian Health Service and Tribal Direct and Contract Facilities, Fiscal Year 1996. US Department of Health and Human Services, Rockville, MD.

Keill, L. et N. Maykut. 2002. *Puget Sound Air Toxics Evaluation: Puget Sound Clean Air Agency*.

Levelton Ltd. 2003. « Marine Vessel Air Emissions in the Lower Fraser Valley for the Year 2000 ». A report written for the Planning and Policy Department of the Greater Vancouver Regional District and Environment Canada, 30 avril 2003.

McNeill, R. et A. Roberge. 2000. *L'impact de la qualité de l'air sur le tourisme dans le grand Vancouver et la région du bas Fraser*. Environnement Canada, Plan d'action du bassin de Georgia, Vancouver (C.-B.).

Ministry of Water, Land and Air Protection. 1999. « Linking Economy and Environment in British Columbia ». <http://wlapwww.gov.bc.ca/soerpt/99economy/energy.html>

Mote, P. 1999, *Impacts of Climate Variability and Change in the Pacific Northwest*. A report of the Pacific Northwest Regional Assessment Group, Université de Washington, 106 p.

National Park Service. 2000. « Effects of Visual Air Quality on Visitor Experience ». <http://www2.nature.nps.gov/ard/vis/visitexp.html>

Natural and Cultural Resources Division. 2002. « Air Resources Management ». www.nps.gov/mora/ncrd/airrm.htm.

Natural Resources Defense Council. 1996. « Washington: Particulate Air Pollution Attributable Mortality by MSA ». www.nrdc.org/air/pollution/bt/WA.asp.

Northwest Planning Council. 2002. Inventory of New Electricity Generation Projects. www.nwcouncil.org. 17 octobre 2002. Press release from Northwest Energy Coalition. http://www.nwenergy.org/outreach/Tellus_Report.html

Nugent, O. 2002. *The Smog Primer*. Pollution Probe. Juin 2002, p. 22.

Puget Sound Clean Air Agency. 2004. *Climate Change: Impacts of Climate Change in the Pacific Northwest*. <http://www.pscleanair.org/specprog/globclim/#impa>.

Puget Sound Regional Council. 2002. Puget Sound Trends: Commuting Trends, February 2002.

Puget Sound Regional Council. 2003. Puget Sound Trends: Growth in Traffic and Vehicle Miles Traveled, septembre 2003.

Ritz, B. 2002. « Ambient Air Pollution and Risk of Birth Defects in California ». *American Journal of Epidemiology* 155, p. 17-25.

Shprentz, D. 1996. Breath-Taking: Premature Mortality Due to Particulate Air Pollution in 239 American Cities.

South Fraser Health Region. 2001. *Air Quality in the Lower Mainland: Patterns, Trends and Human Health, South Fraser Health Region*. South Fraser Health Region.

State of Washington Department of Community. 2003. *Trade and Economic Development, Travel Impacts and Visitor Volume, 1991-2002*, janvier 2003. http://www.experiencewashington.com/images/pdf/R_ImpactStatewide91-2002p.pdf.

Steyn, D. 1999. « Tropospheric Ozone Pollution in the Lower Fraser Valley, BC ». www.gog.ubc.ca/research/steyn.html

Tourism Vancouver. 1999. « 1999 Economic Impact Highlights – Greater Vancouver ». http://www.tourism-vancouver.org/docs/visit/about_vancouver.

Transboundary Georgia Basin – Puget Sound Environmental Indicators Working Group. 2002. « Georgia Basin – Puget Sound Ecosystem Indicator Report ».

Transports Canada. 2002. Transport Trends, 2002.
www.tc.gc.ca/pacifique/publication/tt_ete02.htm.

US Environmental Protection Agency. 2003. « What Are the Major Effects of Common Atmospheric Pollutants on Water Quality, Ecosystems and Human Health? ». <http://www.epa.gov/owow/oceans/airdep/air3.html>

Washington State Department of Community, Trade and Economic Development. 1999. « Washington's Energy Indicators ». <http://www.energy.cted.wa.gov/Indicators99/Indicato5.htm>.

Washington State Department of Community, Trade and Economic Development. 2003. « Washington's Energy Use – End-use Consumption ». *In* Washington's Energy Indicators. <http://www.energy.cted.wa.gov/Indicators99/Indicator1.htm>.

Washington State Department of Community, Trade and Economic Development. 2003, « Energy Indicators ». <http://www.energy.cteu.wa.gov/Indicators.htm>.

Washington State Department of Ecology. 2002. « The Economic Benefits of Clean Air ». <http://www.ecy.wa.gov/pubs/0202011.pdf>.

Washington State Department of Ecology. 2000. « Washington State Department of Ecology: About Ecology, Air Quality Program ». http://www.ecy.wa.gov/pubs/0101005/0101005_Air.htm.

Washington State Department of Ecology. 2000. « Clean air saves lives and billions of dollars in Washington ». <http://www.ecy.wa.gov/pubs>.

Washington State Office of Financial Management. 2003. « Long-Term Economic and Labor Force Forecast for Washington ». Forecasting Division and the Employment Security Department, Labour Market and Economic Analysis Branch.

Washington State Office of Financial Management. 2001. Forecasting Division and the Employment Security Department – Labor Market and Economic Analysis Branch, 2001's Annual Mid-Term and Long-Term Forecast. www.ofm.wa.gov/economy/longterm/2001.

Washington State Department of Transportation. 2002. Washington's Transportation Plan. 2003-2022. <http://www.wsdot.wa.gov/planning/wtp/>.

Washington State Department of Transportation. 2002. « Key Facts: A Summary of Transportation Information for Washington State ».

Washington State Department of Transportation. 2003. www.wsdot.wa.gov.

7. État de nos connaissances

Introduction

Dans les sections qui précèdent, nous avons examiné de nombreux paramètres de la qualité de l'air, dont le régime des vents, les sources d'émissions, de même que les teneurs et les concentrations ambiantes d'O₃ et de PM_{2.5}. Il demeure néanmoins plusieurs questions atmosphériques qui sont importantes pour la santé de l'homme et l'environnement et qui n'ont pas été abordées; nous devons donc maintenant examiner l'état de nos connaissances sous l'angle de leur exhaustivité et de l'incertitude qui s'y rattache. La présente section traite en termes généraux de la question de l'incertitude et examine d'autres problèmes connexes de pollution atmosphérique comme le dépôt acide, la brume sèche régionale et le changement climatique.

Incertitudes des inventaires d'émissions

L'inventoriage des sources d'émissions a été analysé sous l'angle des méthodes utilisées pour calculer la teneur des rejets en polluants. Même si les méthodes d'inventoriage des émissions sont largement approuvées et documentées, une grande incertitude persiste. Au tableau 7.1, les principaux contaminants atmosphériques sont énumérés en regard de leurs catégories de sources. On y trouve une estimation du niveau de confiance (élevé, moyen ou faible), d'après les études indiquées dans l'évaluation des PM du NARSTO (NARSTO, 2003). Le tableau 7.1 révèle que deux catégories d'émissions seulement sont assorties d'un niveau de confiance élevé et deux d'un niveau de confiance moyen à élevé. Cela a conduit les auteurs du rapport à la conclusion suivante : « il faut concevoir d'autres stratégies qui puissent servir à concilier les inventaires des émissions et les mesures des concentrations observées dans l'atmosphère » (NARTSO, 2003).

Tableau 7.1. Niveau de confiance des estimations des émissions (adapté de NARSTO, 2003)

Polluant	Source	Niveau de confiance estimatif dans la catégorie de l'inventaire général	
		Canada	États-Unis
SO ₂	Service public d'électricité	É	É
	Comb. de carb. ind./comm.	M	M
	Combustion d'autres carburants	M	M
	Transports	M	M
	Procédés industriels	M	M
	Autres sources anthr. (hors combustion)	B	B
NO _x	Naturelle	B	B
	Service public d'électricité	M-É	É
	Comb. de carb. ind./comm.	M	M
	Combustion d'autres carburants	M	M
	Transports	É	É
	Procédés industriels	M	M
COV ^a	Autres sources anthr. (hors combustion)	B	B
	Naturelle	M	M
	Service public d'électricité	M-É	M-É
	Comb. de carb. ind./comm.	M	M
	Combustion d'autres carburants	B	B
	Transports	M	É
NH ₃	Procédés industriels	M	M
	Autres sources anthr. (hors combustion)	B	B
	Naturelle	M	M
	Service public d'électricité	M	M
	Comb. de carb. ind./comm.	B	B
	Combustion d'autres carburants	B	B
PM ₁₀ ^b	Transports	M	M
	Procédés industriels	B	B
	Autres sources anthr. (hors combustion)	B-M	B
	Naturelle	B	B
	Service public d'électricité	M	M
	Comb. de carb. ind./comm.	M	M
PM _{2.5} ^c	Combustion d'autres carburants	B	B
	Transports	B	M
	Procédés industriels	B	B
	Autres sources anthr. (hors combustion)	B	B
	Naturelle	B	B
	Service public d'électricité	M-B	M-B

^a Pour l'ensemble des COV, les estimations de la spéciation sont assorties d'un niveau de confiance bas.

^b Pour le total des PM, les profils de composition sont assortis d'un niveau de confiance bas à moyen.

^c Modèle « hors route » de l'EPA.

Variations des émissions et qualité de l'air ambiant

La qualité de l'air s'améliore avec les réductions des émissions. L'impact de ces réductions peut être mesuré par le changement des concentrations ambiantes de polluants atmosphériques. Les planificateurs et les décideurs, de même que les scientifiques, souhaitent observer les variations des concentrations de la qualité de l'air ambiant avant la prise de mesures de limitation. Ils se servent pour cela de modèles informatiques complexes qui peuvent estimer les concentrations de pollution atmosphérique en fonction de la teneur des rejets en polluants. Lorsque les émissions d'une ou plusieurs sources sont modifiées, le modèle informatique prévoit le changement dans la concentration de pollution atmosphérique qui en résultera.

Les interactions chimiques entre polluants atmosphériques ont été analysés dans les sections qui précèdent. L'ozone, les particules fines et d'autres polluants sont liés par une interaction complexe des émissions et de précurseurs communs, des processus physiques et chimiques et des conditions météorologiques. Cette interaction est illustrée au tableau 7.2 (NARSTO, 2003), où l'on peut constater que la baisse des émissions des principaux contaminants atmosphériques est liée aux impacts sur les concentrations d'ozone et de particules fines et à la composition des PM. Les flèches bleues indiquent des baisses et les flèches rouges, des hausses; la taille de la flèche est proportionnelle à l'ampleur du changement. Un blanc désigne une réponse négligeable.

Tableau 7.2. Réduction des émissions et changements connexes des concentrations d'ozone et de PM (adapté de NARSTO, 2003)

Baisse des émissions polluantes	Changement dans les polluants ou les problèmes atmosphériques connexes					
	Ozone	Composition des PM			PM _{2.5}	Dépôt acide
		Sulfates	Nitrates	Composés organiques		
SO ₂		↓	↑		↓	↓
NO _x	↓↑	↑↓	↓	↓↑	↓↑	↓↑
COV	↓	↑↓	↓↑	↓	↓↑	↓↑
NH ₃		↓	↓		↓	↑
Carbone noir	↑			↓	↓	
Composés organiques primaires	↑			↓	↓	
Autres PM primaires	↑			↓		↑

Le tableau 7.2 contient d'importantes données qui dépassent les rapports immédiats entre les hausses et les baisses des émissions et les problèmes de pollution ou les problèmes atmosphériques connexes. La détermination des hausses des concentrations de nitrates dans les PM et des baisses des émissions de SO₂ démontre l'interaction du SO₄⁻, du NH₃ et du

NO_3^- . Ici, la concurrence entre le H_2SO_4 et le HNO_3 pour le NH_3 assimilable afin de former du NH_4NO_3 entraîne des hausses des concentrations de nitrates dans les PM. Cela est particulièrement important dans les secteurs où la concentration de NH_3 est limitée.

L'abaissement des émissions de NO_x a des incidences diverses à la fois sur les concentrations d'ozone et les PM. À proximité et en aval de certains centres urbains où les concentrations de COV sont limitées, le rapport COV/ NO_x entraîne une hausse des concentrations d'ozone. Toutefois, la baisse des émissions de NO_x entraîne des baisses plus importantes des concentrations d'ozone plus loin en aval. La présence de concentrations de NO_x plus faibles influe sur la composition des PM, dans lesquelles l'azote oxydé est remplacé par des sulfates. Les composés organiques dans les PM peuvent varier à la hausse ou à la baisse, selon l'effet des taux d'oxydants NO_x . C'est ainsi qu'une baisse des émissions de NO_x n'est pas un gage de diminution des concentrations d'ozone ou de PM; de fait, les concentrations peuvent facilement augmenter dans certains secteurs si les conditions atmosphériques s'y prêtent. Cette question complexe est analysée plus en détail dans la section qui suit.

Les trois derniers éléments du tableau 7.2 indiquent une hausse des concentrations d'ozone accompagnant une baisse des polluants, qui influe sur l'ampleur du rayonnement solaire incident. Une hausse du flux solaire entraîne une augmentation de la production d'ozone durant la journée. Toutefois, les baisses de carbone noir, de composés organiques primaires et d'« autres » PM primaires ont des effets positifs sur les concentrations de $\text{PM}_{2.5}$.

Application des modèles informatiques

Les variations des émissions et leurs impacts sur les concentrations ambiantes de pollution atmosphérique dans le bassin atmosphérique du bassin de Georgia/Puget Sound peuvent être analysées par l'application de modèles informatiques de la pollution atmosphérique. En faisant varier les niveaux d'émissions utilisés dans les simulations informatiques, on peut comparer les concentrations de pollution atmosphérique qui en résultent aux concentrations du scénario de référence.

Avant d'aborder les applications du modèle informatique sur la pollution atmosphérique et l'analyse de sensibilité, il faut se pencher sur la méthode qui a servi à obtenir les résultats. Les modèles informatiques utilisés, soit le CALGRID, le modèle de bassin atmosphérique urbain à grille variable (UAM-V), et le modèle communautaire multi-échelle de la qualité de l'air (CMEQA) appliqués comme modèles « d'épisodes ». Les modèles d'épisodes décrivent une courte période du tableau de pollution atmosphérique, généralement quelques jours ou quelques semaines. Les épisodes simulés par les modèles représentent les conditions météorologiques et les conditions de pollution atmosphérique particulières qui prévalent pendant la période étudiée ou l'épisode. Ces périodes peuvent être ou non représentatives des conditions générales, et il faut en tenir compte lorsqu'on applique les résultats des applications de ces modèles à des questions stratégiques plus larges qui font intervenir des variations saisonnières et annuelles.

Un autre élément dont il faut tenir compte dans l'utilisation d'un modèle informatique est sa capacité de simuler l'atmosphère « réelle ». La façon dont le modèle y parvient dépend de multiples facteurs qui dépassent de loin la portée du débat qui nous occupe ici. L'évaluation des performances du modèle par rapport aux mesures ambiantes réelles revêt une importance critique pour comprendre la valeur des résultats de ses simulations. Une analyse de Seigneur (2001) a révélé des erreurs de l'ordre de 50 p. 100 dans la modélisation des $\text{PM}_{2.5}$. Des

erreurs du même ordre ont été constatées avec le modèle CMQA (O'Neill, 2002). Les modèles de l'ozone semblent être plus précis; selon les lignes directrices de l'EPA, des erreurs brutes normalisées de 35 p. 100 et une erreur systématique inférieure à ± 15 p. 100 indiquent des résultats acceptables. Les évaluations des modèles UAM-V, CMEQA et CALGRID ont des estimations des erreurs qui se situent dans cette fourchette acceptable (Lolk, 1995; Duel, 1997; O'Neill, 2002). Si l'on tient compte de ces estimations des erreurs, l'analyse des scénarios des émissions peut nous aider à comprendre le rapport entre les concentrations ambiantes de pollution atmosphérique et les niveaux d'émissions. Il faut prendre soin d'utiliser les résultats des modèles de façon relative et comparative, étant donné que les valeurs absolues des concentrations de pollution atmosphérique générées par les modèles manquent de précision.

Simulations informatiques des scénarios relatifs aux PM_{2.5}

On a appliqué le modèle communautaire multi-échelle de la qualité de l'air au bassin atmosphérique du Puget Sound en faisant systématiquement augmenter et baisser la teneur des rejets de précurseurs afin d'étudier les variations qui en résultent dans les concentrations de PM_{2.5} et d'O₃ (Chen, 2002). Pour évaluer les impacts sur les PM_{2.5}, les émissions de NO_x, de SO₂, de NH₃ et de COV ont été indépendamment modifiées de -100 p. 100 à +100 p. 100. On a étudié les concentrations d'ozone en maintenant d'abord les émissions de NO_x au niveau du scénario de référence et en modifiant les COV (de -100 p. 100 à +100 p. 100), puis en maintenant constantes les émissions de COV au niveau du scénario de référence et en modifiant les émissions de NO_x (de -100 p. 100 à +100 p. 100). Les variations dans les estimations des concentrations de PM_{2.5} et d'O₃ du modèle étaient analogues à celles prédites au tableau 7.1.

Les émissions de précurseurs à la fois inorganiques (voir figure 7.1) et organiques (voir figure 7.2) ont été modifiées sur l'ensemble du bassin atmosphérique et les variations des PM_{2.5} ont été documentées. Comme le montre la figure 7.1, les concentrations de PM_{2.5} à Enumclaw (Washington) réagissaient surtout aux variations simultanées des concentrations de NH₃ et de NO_x. Les variations des émissions de SO₂ avaient le moins d'impact sur les concentrations de PM_{2.5}. L'augmentation des NO_x avait pour effet d'augmenter les concentrations de PM_{2.5} jusqu'à ce que tous les oxydes d'azote aient réagi avec NH₃. D'autres hausses des concentrations de NO_x ont entraîné des augmentations minimales des concentrations de PM_{2.5}, ce qui nous amène à conclure que le NH₃ limite la réaction et la formation des PM. Cela semble étayer la conclusion que, une fois que le SO₄⁻ assimilable a réagi avec NH₃, la formation des PM_{2.5} résiduelles sera dominée par la réaction avec HNO₃. Les émissions de HNO₃ qui parviennent jusqu'à Enumclaw suffisent amplement à réagir avec NH₃ pour former des PM_{2.5} (Chen, 2002).

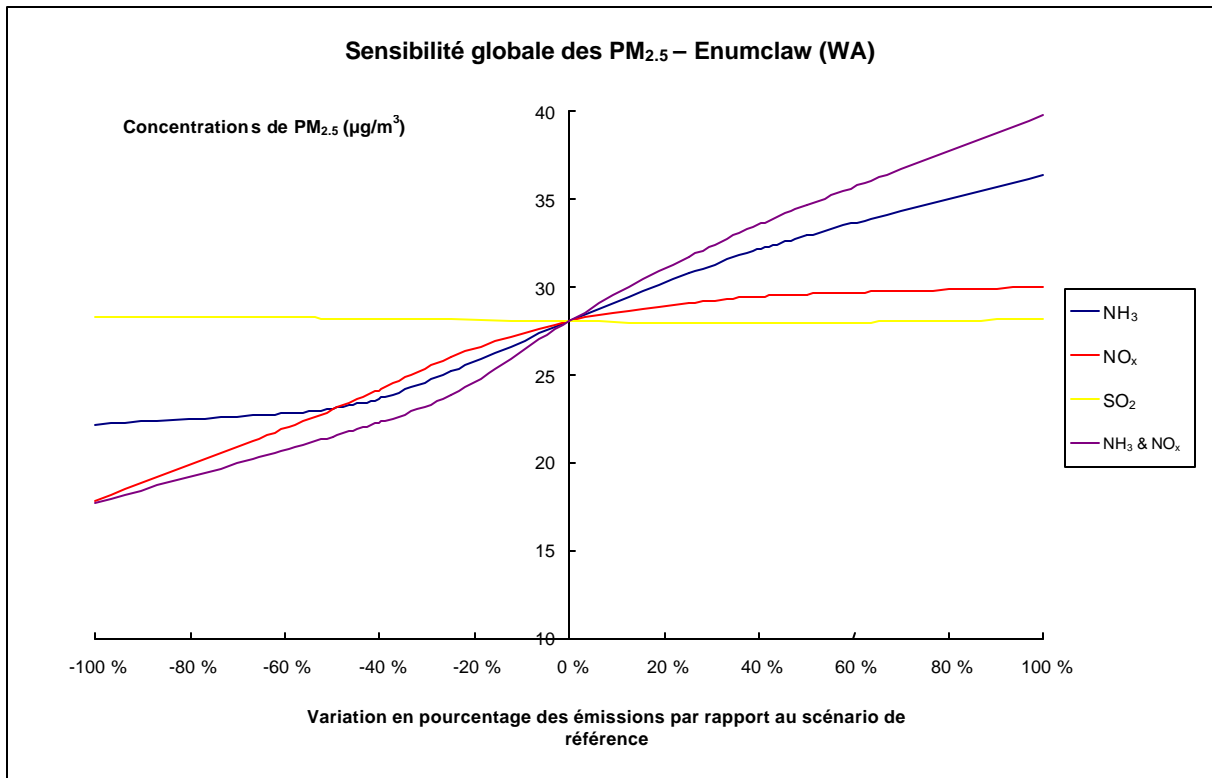


Figure 7.1. Concentrations de PM_{2.5} attribuables aux changements en pourcentage des émissions anthropiques de substances inorganiques de l'ensemble du domaine à Enumclaw (Washington)

Les endroits éloignés de l'influence des émissions urbaines réagissaient très différemment aux variations des émissions de SO₂. Dans ces régions, les hausses et les baisses de SO₂ dominaient les variations des concentrations de PM_{2.5}. Aussi bien les émissions de NO_x que celles de NH₃ jouaient un rôle non significatif dans le devenir des concentrations de PM_{2.5} (Chen, 2002).

On a procédé à une série semblable d'analyses de « sensibilité » pour les émissions organiques de COV anthropiques et biosynthétiques qui jouent un rôle important dans la formation des aérosols organiques secondaires (AOS). La figure 7.2 montre que les plus fortes variations des concentrations de PM_{2.5} à Enumclaw résultent de changements dans les émissions de COV biosynthétiques. L'examen du moment où les concentrations de PM_{2.5} atteignent leur maximum (tôt le matin) montre que de plus fortes concentrations de COV biosynthétiques y étaient présentes, par opposition aux COV anthropiques. C'est ainsi que les variations des émissions de COV anthropiques ont des impacts minimes, alors qu'une association d'émissions de COV anthropiques et de NO_x modifie plus efficacement les concentrations de PM_{2.5}. La réaction des PM_{2.5} à cette combinaison d'émissions est due à l'interaction de la chimie des aérosols et de l'ozone (Chen, 2002).

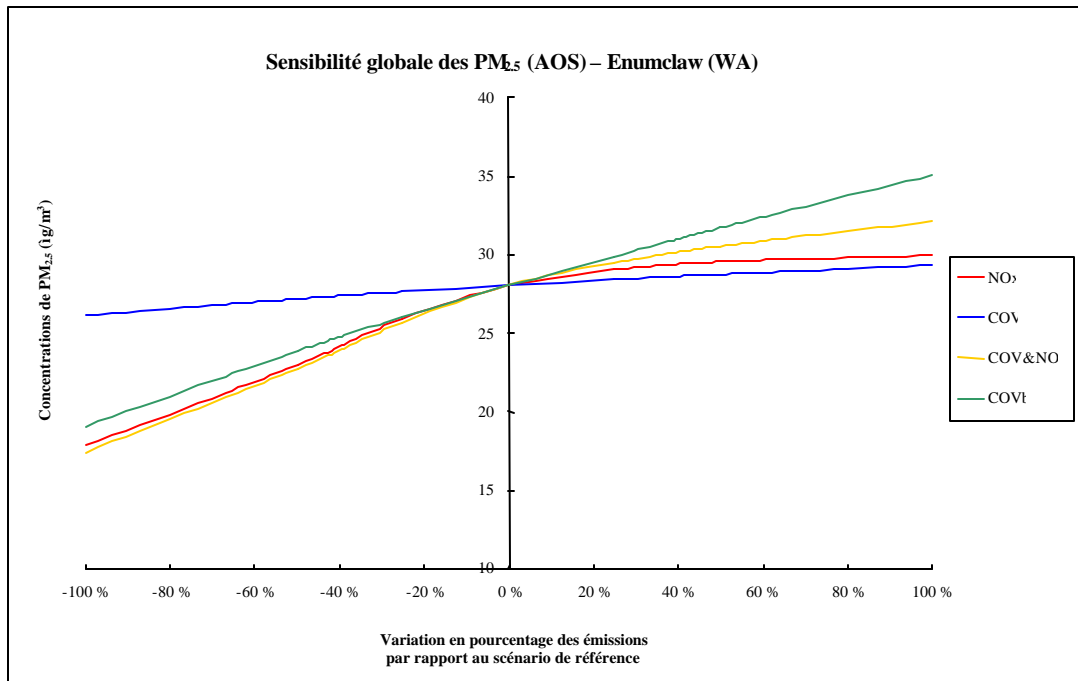


Figure 7.2. Concentrations de PM_{2.5} attribuables aux variations en pourcentage des COV anthropiques (COV), des COV biosynthétiques (COVb), des NO_x anthropiques (NO_x) et des COV et NO_x anthropiques confondus (NO_x et COV) à Enumclaw (Washington)

Simulations de scénarios pour l'ozone

La sensibilité de l'ozone aux variations des émissions des précurseurs de COV et de NO_x a été évaluée au moyen du modèle CMEQA. La figure 7.3 (Chen, 2002) illustre la réaction de l'ozone aux baisses d'émissions de COV anthropiques. Enumclaw, Tri-cities et Carus sont d'importants centres urbains dominés par les émissions de NO_x. Les COV y sont limités, de sorte que les concentrations de COV contrôlent les réactions ozonogènes; une hausse des émissions de COV entraîne une formation d'ozone plus importante. Plus loin des centres urbains, les concentrations de NO_x sont plus faibles et ne dominent plus, d'où la tendance à désigner ces secteurs comme étant limités sur le plan des NO_x. Les lignes horizontales sur les graphiques de la figure 7.3 pour les endroits éloignés des principales sources de NO_x indiquent que la variation des émissions de COV a peu d'effet sur la formation d'ozone.

Un changement des émissions de NO_x dans la même région se traduit par une réaction radicalement différente sur le plan de la formation d'ozone. Dans des régions comme Carus, où les émissions de NO_x sont importantes, la réaction à une augmentation des NO_x est une baisse de la formation d'ozone à mesure du titrage. Les régions où les émissions de COV sont limitées peuvent connaître des hausses des concentrations d'ozone à mesure que les émissions de NO_x diminuent. Même si un tel résultat est contre-intuitif, il concorde avec les données du tableau 7.1 et avec les analyses des sections qui précèdent. D'autres sites où les émissions de NO_x sont inférieures par rapport au scénario de référence présentent une augmentation lente mais régulière des concentrations d'ozone à mesure que les émissions de NO_x augmentent. Barna (2001), en appliquant le modèle CALGRID au bassin atmosphérique du Puget Sound, a déterminé qu'il fallait des réductions des émissions de NO_x et de COV de l'ordre de 25 à 75 p. 100 pour ramener les concentrations d'ozone dans les limites des normes

ambiantes en vigueur et proposées. L'abaissement des émissions de NO_x a provoqué des hausses des concentrations d'ozone à proximité de Seattle, mais des baisses plus loin en aval. Des réductions des émissions de COV ont entraîné une baisse des concentrations d'ozone uniquement au cœur des villes, tout en déplaçant les concentrations maximales d'ozone vers le mont Rainier dans l'une des simulations.

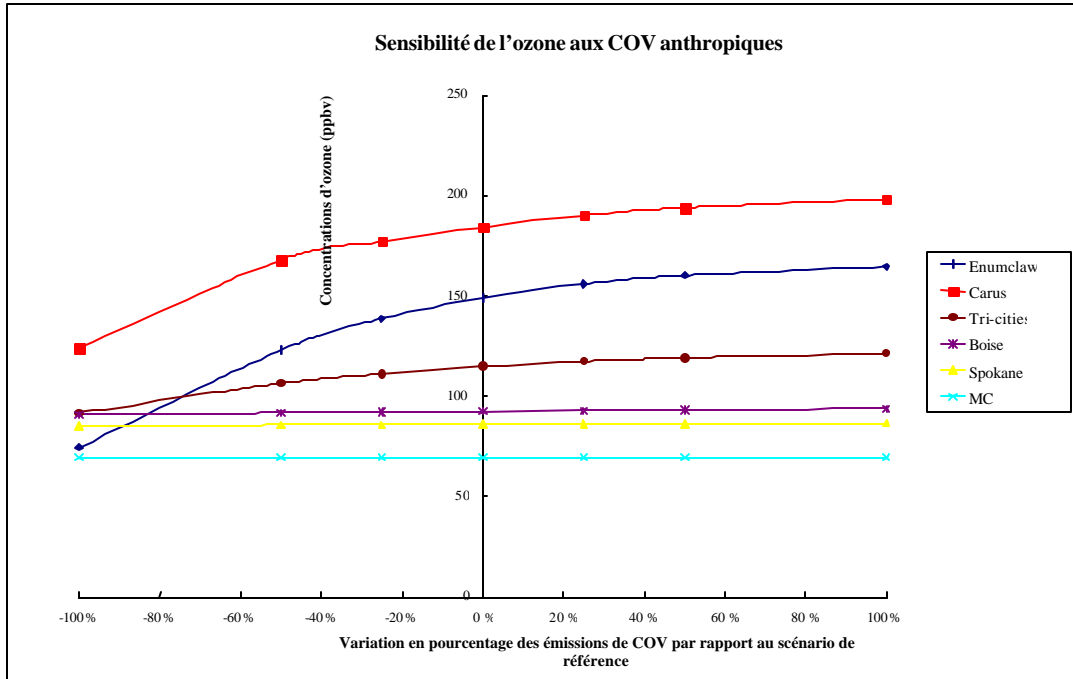


Figure 7.3. Concentrations d'ozone attribuables à la différence en pourcentage des émissions anthropiques de COV à six endroits

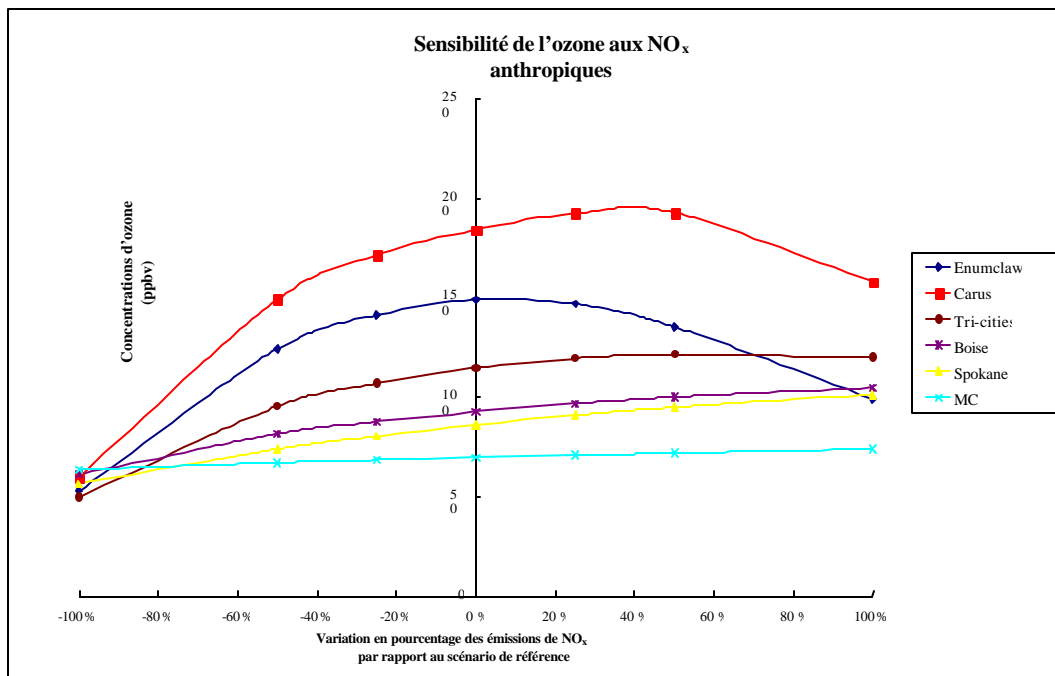


Figure 7.4. Concentrations d'ozone attribuables à la différence en pourcentage des émissions anthropiques de NO_x à six endroits

Les applications des modèles CALGRID et UAM-V dans le bassin atmosphérique du bassin de Georgia ont donné des résultats semblables sur le plan des concentrations d'ozone en réponse à une baisse des émissions de NO_x et de COV. Les baisses de NO_x, modélisées par le modèle UAM-V, révèlent que les concentrations maximales d'ozone persistent dans les parties centrales de la vallée du bas Fraser, avec peu d'effets sur l'ouest du bassin atmosphérique (CCME, 1997). Quand on abaissait les émissions de NO_x, les concentrations d'ozone commençaient par augmenter en aval des principales sources. On a relevé d'importantes baisses des concentrations d'ozone après une baisse des émissions de NO_x supérieure à 50 p. 100. La baisse des émissions de COV avait un effet plus linéaire sur les concentrations d'ozone. Quand on abaissait les émissions de COV, les concentrations maximales d'ozone diminuaient elles aussi, les concentrations maximales se déplaçant lentement vers le sud en direction de Lynden, dans l'État de Washington. La réaction des concentrations d'ozone face à des baisses des émissions de NO_x et de COV variait d'ouest en est sur le bassin atmosphérique. Les portions ouest du bassin atmosphérique sont demeurées en situation d'amont, affichant très peu d'écart avec la réduction des émissions. Légèrement plus à l'est, on a relevé une situation riche en NO_x dans l'agglomération de Vancouver, avec un secteur connexe d'appauvrissement de l'ozone en aval. Pottier (1997) a découvert que le secteur qui s'étend de l'agglomération de Vancouver jusqu'au centre de la vallée du bas Fraser est un secteur limité par les COV (si l'on tient compte uniquement des COV anthropiques), qui se transforme lentement dans la région d'Abbotsford pour devenir un secteur limité par les NO_x dans l'est de la vallée à proximité de Chilliwack et de Hope.

Une étude plus poussée fondée sur l'analyse des processus du modèle UAM-V a révélé la formation d'une importante concentration d'ozone en altitude, des mécanismes d'échange vertical transportant cet ozone jusqu'à la surface (Duel, 1997). Les analyses antérieures s'étaient concentrées sur les mécanismes de transport horizontal dans ces régions. L'analyse

du modèle UAM-V a permis de déterminer que de plus petits centres urbains dans la vallée du bas Fraser étaient à l'origine des émissions formant l'ozone local. Jaing (2003) s'est servi des trajectoires et de l'analyse des processus pour décrire le processus de formation d'ozone au-dessus d'Enumclaw, dans l'État de Washington. Cette modélisation a montré que la production de substances chimiques le long de la trajectoire dominait le processus de formation d'ozone entre les premières heures du matin et le milieu de l'après-midi, moment de la journée où les concentrations d'ozone atteignent leur pic. Le soir, une période d'advection horizontale importante a été remplacée par le dépôt et la perte de substances chimiques, qui sont responsables de l'appauvrissement de l'ozone. Cette étude (Jaing, 2003) a également montré l'importance du rapport COV/NO_x dans la formation d'ozone. Les baisses des émissions de NO_x la fin de semaine ont modifié ce rapport en faveur de la production d'ozone, ce qui explique que des pics d'ozone aient été observés le dimanche.

L'emploi de modèles pour simuler les concentrations d'ozone et de PM_{2.5} sous divers régimes de conditions atmosphériques et d'émissions confirme de nombreuses hypothèses sur le transport, la transformation et la dispersion des polluants aéroportés. L'appauvrissement de l'ozone à proximité et en aval des principales sources est décrit dans l'analyse des données ambiantes. Ces données révèlent également des secteurs où les concentrations d'ozone sont plus élevées plus loin en aval de ces sources. Les deux situations ressortent clairement dans l'analyse des concentrations d'ozone modélisées. On a observé un mélange vers le bas de l'ozone et de ses précurseurs provenant des concentrations d'ozone plus élevées en altitude dans les données extraites des études sur le terrain. L'analyse des processus mentionnée dans diverses études de modélisation étaye ce phénomène de transport. L'analyse des données sur les PM prélevées à divers sites d'échantillonnage illustre la chimie complexe qui crée les aérosols secondaires. Les résultats des mesures des PM révèlent des rapports entre les émissions de précurseurs et les particules secondaires, rapports qui sont décrits par les modèles informatiques.

Les modèles informatiques sont utilisés pour simuler les concentrations et les retombées de polluants atmosphériques dans les régions où il n'y a pas de mesures ambiantes, et pour estimer les concentrations dans divers scénarios de contrôle des émissions. On obtient ainsi des données précieuses pour orienter les initiatives de politique et de planification. Les modèles dont il est question ici sont accompagnés d'incertitudes bien connues qui ont été et continuent d'être documentées à mesure que les simulations sont analysées. L'ordre de grandeur des concentrations de polluants atmosphériques est de mieux en mieux compris et les modèles estiment très bien ces niveaux. Seules des recherches et applications futures permettront d'arriver au même niveau de confiance en ce qui concerne les valeurs absolues des concentrations atmosphériques estimées par les modèles.

Impacts de la pollution atmosphérique sur la santé humaine

Les substances chimiques et les particules en suspension dans l'air ont de nombreux effets sur la santé et le bien-être de l'homme. Les pollens et d'autres substances naturelles sont souvent responsables de diverses réactions allergiques. Les substances chimiques qui nous intéressent ici sont les principaux contaminants atmosphériques comme le SO₂, les NO_x, le CO et l'O₃, de même que le sulfure d'hydrogène (H₂S), les particules de carburant diesel et la fumée de bois, ainsi que les aérosols acides, les sulfates et les nitrates. Les effets sur la santé de ces polluants atmosphériques sont résumés au tableau 7.3. Nous renvoyons le lecteur au « Guide du citoyen sur la pollution atmosphérique » (Bates et Caton, 2002) pour une analyse plus fouillée. On trouvera une autre excellente présentation des études sanitaires liées à la

pollution atmosphérique dans le rapport intitulé « Health and Air Quality 2002 – Phase 1 : *Methods for Estimating and Applying Relationships Between Air Pollution and Health Effects* » (B.C. Lung Association, 2003).

Tableau 7.3. Résumé des effets de polluants atmosphériques individuels et de mélanges aux niveaux ambiants actuels d'exposition (adapté de B.C. Lung Association, 2003)

Polluant	Effets certains	Effets probables	Effets possibles
Particules fines (PM ₁₀ et PM _{2.5})	Association de séries chronologiques et de cohortes avec la mortalité quotidienne due à des affections respiratoires et cardiaques; aggravation de l'asthme, avec hausse des hospitalisations pour des affections respiratoires et cardiaques; réduction des fonctions pulmonaires chez les enfants (aiguë et chronique); prévalence accrue de bronchite; risque accru de cancer du poumon; augmentation des absences scolaires; augmentation des granulocytes neutrophyles.	Aggravation des infections respiratoires aiguës; risque accru de bronchite sifflante chez les enfants de 4 à 12 mois; diminution du rythme de croissance pulmonaire chez les enfants; augmentation du NO exhalé; tachycardie chez les personnes âgées; baisse de la variabilité de la fréquence cardiaque; augmentation des protéines C-réactives; constriction accrue des vaisseaux sanguins.	Baisse du poids à la naissance; hausse du fibrinogène dans le sang; prévalence accrue de l'asthme.
Émissions de diesel (en sus des effets des particules)	Réaction accrue aux allergènes; inflammation accrue des voies respiratoires.	Augmentation des risques de cancer du poumon.	
Fumée de bois (en sus des effets des particules)	Aggravation de l'asthme; hausse des hospitalisations pour affections respiratoires; augmentation des infections respiratoires.		Mortalité accrue.
Ozone	Augmentation des hospitalisations pour maladies respiratoires aiguës; aggravation de l'asthme; sensibilité accrue des bronches; réaction accrue au SO ₂ ; augmentation des journées d'activité réduite; augmentation des absences scolaires pour cause de maladie respiratoire; baisse des fonctions pulmonaires.	Effets sur la mortalité; sensibilité accrue aux allergènes.	Aggravation des infections respiratoires aiguës; bronchite chronique avec exposition répétée; prévalence accrue de l'asthme.
Aérosols, sulfates et nitrates	Réduction de la visibilité.	Sans doute partiellement responsables des effets des PM _{2.5} ; diminution des fonctions pulmonaires chez les adolescents souffrant d'asthme.	Peuvent amplifier tous les effets de l'ozone concomitant.
Aérosols acides (gaz et particules confondus)	Aggravation de l'asthme.	Prévalence accrue de la bronchite.	Peuvent amplifier tous les effets de l'ozone concomitant.
Dioxyde de soufre	Bronchoconstriction aiguë chez les asthmatiques; augmentation des bronchites chroniques.	Prévalence accrue des cancers du poumon; augmentation de la congestion nasale.	Interaction avec les particules en rapport avec les effets sur la mortalité et la morbidité; prévalence accrue des bronchites chroniques.

Polluant	Effets certains	Effets probables	Effets possibles
Dioxyde d'azote	Augmentation de la morbidité et des infections respiratoires; aggravation de l'asthme chez les enfants; baisse de la CV/VEMS; réaction accrue à l'ozone.	Hyper-réceptivité bronchiale accrue à la méthacholine inhalée; bronchiolite respiratoire chronique.	Interaction avec les particules en rapport avec les effets sur la mortalité et la morbidité.
Monoxyde de carbone	Ischémie cardiaque accrue.	Augmentation des hospitalisations pour maladies cardiaques; baisse du poids à la naissance.	Augmentation de la mortalité cardiaque; hausse des malformations congénitales; interaction avec les particules en rapport avec les effets sur la mortalité et la morbidité.
Sulfure d'hydrogène	Symptômes au niveau du système nerveux central et des voies respiratoires; irritation des yeux; mortalité à concentrations très élevées.	Sinusite chronique.	

Cela fait déjà un certain temps que l'on discute des seuils ou des niveaux de concentration auxquels l'être humain réagit à un polluant. L'analyse de Schwartz (2002) sur la réaction de l'homme aux $PM_{2.5}$ et la mortalité quotidienne prouve clairement l'absence de seuil. Une étude récente de Vedal *et al.* (2003) dans la vallée du bas Fraser monte un rapport entre l'ozone et le nombre total de décès dus à des maladies respiratoires et cardiovasculaires durant l'été, et entre les NO_x et la mortalité globale l'hiver. Ces résultats ont été assimilés aux 50^e et 90^e centiles pour une concentration maximale d'ozone sur une heure de 27 et de 39 ppb et une moyenne quotidienne de PM_{10} de 13 et 23 $\mu g/m^3$ sur une durée de trois ans. Bien que les concentrations ambiantes de PM et d'ozone à ces niveaux soient considérées comme faibles par rapport à d'autres grands centres urbains, elles ont néanmoins des effets sur la santé.

On a déterminé les concentrations minimales avec effets nocifs observés de l'ozone et des PM en ayant recours à l'analyse des risques et à l'analyse de la signification statistique. Ces analyses montrent qu'une plage étroite de concentrations peut contribuer à réduire les risques : pour les PM_{10} , de 35 à 40 $\mu g/m^3$, et pour les $PM_{2.5}$, de 20 à 25 $\mu g/m^3$ (LCPE, 1998). Une analyse du rapport du risque à son erreur type a déterminé que la concentration minimale d'ozone était de 25 ppb d'après les hospitalisations pour maladies respiratoires et de 20 ppb d'après la mortalité non accidentelle (LCPE, 1999).

On a étudié les effets toxiques des polluants atmosphériques sur la santé humaine dans les comtés de King, Kitsap, Pierce et Snohomish (Keill et Maykut, 2002) du bassin atmosphérique du Puget Sound. Cette étude reposait sur trois méthodes d'analyse différentes, dont chacune a déterminé que les particules de diesel, le benzène, le formaldéhyde, le tétrachlorure de carbone et les composés du chrome étaient les principaux polluants toxiques. L'analyse des données de surveillance dans le quartier de Beacon Hill à Seattle (voir figure 7.5) montre que les particules de diesel sont de loin l'élément qui contribue le plus aux risques de cancer dans ce secteur, la fumée de bois venant au deuxième rang. Même si la contribution en pourcentage varie quelque peu dans les comtés du Puget Sound, l'ordre d'importance des polluants toxiques par rapport aux risques de cancer reste le même.

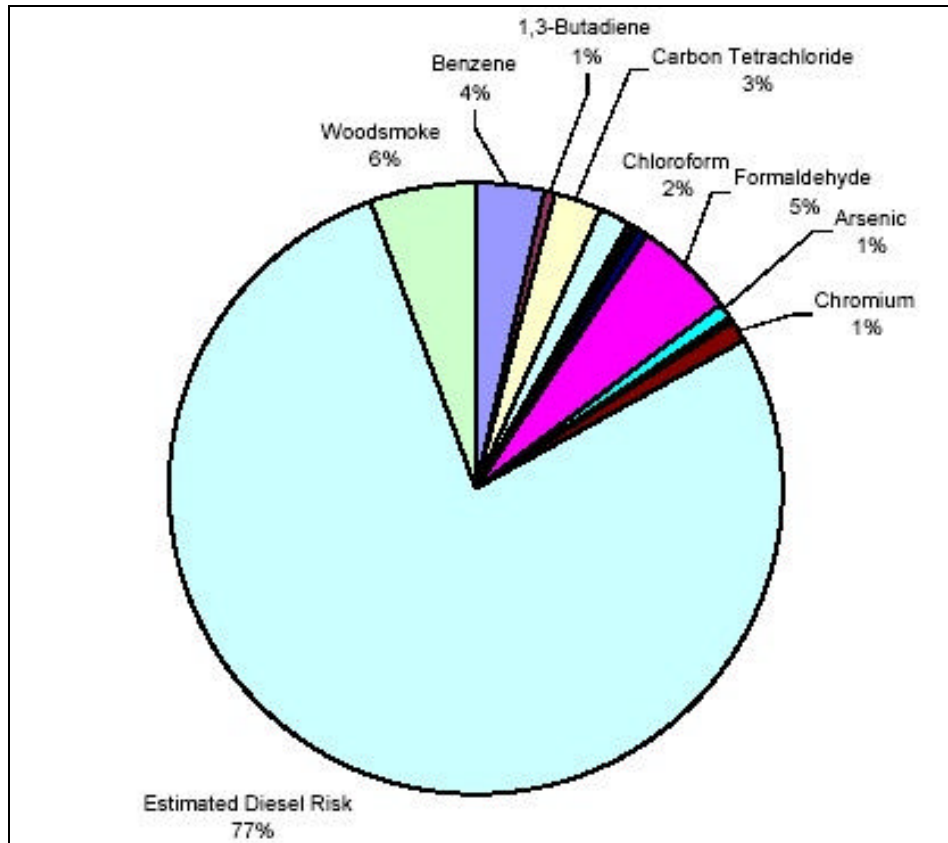


Figure 7.5. Contributions aux risques de cancer à Beacon Hill (données de surveillance de 2000) de Keill et Maykut, 2002

TRADUCTION DE LA FIGURE 7.5

Woodsmoke	Fumée de bois
Benzene	Benzène
1,3-Butadiene	Buta-1,3-diène
Carbon Tetrachloride	Tétrachlorure de carbone
Chloroform	Chloroforme
Formaldehyde	Formaldéhyde
Arsenic	Arsenic
Chromium	Chrome
Estimated Diesel Risk	Risque estimatif du carburant diesel

Effets de la pollution atmosphérique sur la santé de l'environnement

Le dépôt humide et sec de polluants atmosphériques dans les écosystèmes récepteurs et la baisse de visibilité sont deux des effets de la pollution atmosphérique qui sont liés à la santé de l'environnement et à la chimie de l'ozone et des PM. Les baisses des émissions de plusieurs polluants atmosphériques importants pour l'ozone et la composition des PM sont également liées au dépôt acide, comme on pourra le constater à la lecture du tableau 7.2. Sur ce tableau, des réductions de SO₂ et de NO_x ont pour effet de réduire le dépôt acide, alors

qu'une réduction du NH_3 modifie le pouvoir tampon de l'atmosphère et augmente donc le dépôt acide. On constate un effet semblable avec une réduction des « autres PM primaires »; dans ce cas, le pouvoir tampon du matériel crustal est réduit, ce qui a pour effet d'augmenter l'acidité nette du dépôt dans l'atmosphère.

L'impact des baisses d'émissions de COV est limité par la disponibilité du NH_3 atmosphérique. Dans les régions où les COV sont abondants, ceux-ci entrent en concurrence avec le NO_2 pour l'OH disponible; cela exerce une influence sur la formation de HNO_3 ($\text{NO}_2 + \text{OH}$), et les changements résultant des émissions de COV risquent d'avoir plus d'impact sur les particules de NH_4NO_3 qu'un changement des émissions de NO_x (Makar, 2001).

Les études menées dans le bassin atmosphérique du bassin de Georgia/Puget Sound ont révélé un pH de fond d'environ 5,3 (Cirrus Consultants, 1986), l'eau des nuages ayant un pH de 4,57 (Kotturi, 1991). Un pH de l'eau des nuages inférieur à 4 a été fréquemment mesuré au mont Rainier (Basabe *et al.*, 1989). Le tableau 7.4 résume les valeurs du pH et du dépôt à certains sites du bassin atmosphérique. Les quantités de dépôt de sulfates, de nitrates et d'ammoniac sont particulièrement élevées aux sites plus proches des centres urbains, alors que le pH est plus acide que les valeurs de fond à tous les sites, à part les plus éloignés.

Tableau 7.4. pH des précipitations et du dépôt humide aux stations de surveillance du bassin de Georgia en 1990 (tiré de B. Raymond, 2003)

Station (indiquées d'ouest en est)	Saisie des données	Précip. (cm)	pH	H^+ (kg/ha)	SO_4^{2-} (kg/ha)	XSO_4^{2-} (kg/ha)	NO_3^- (kg/ha)	NH_4^+ (kg/ha)	N (kg/ha)
Sites du bassin de Georgia									
Nanoose	88 %	87,8	4,8	0,144	4,65	4,13	7,55	0,360	1,98
Spectacle Lake	88 %	43,2	4,9	0,053	2,81	2,12	2,63	0,376	0,89
Victoria – PAPS	100 %	46,5	4,7	0,101	7,25	6,05	4,00	0,707	1,45
Saturna (RSAP)	100 %	98,5	4,7	0,199	8,67	6,80	8,28	1,03	2,67
Aéroport international de Vancouver	81 %	100	4,9	0,137	11,9	10,0	9,22	2,11	3,72
East Richmond	88 %	125	4,9	0,151	14,8	12,6	10,4	1,85	3,78
Seymour Dam	88 %	226	4,8	0,350	15,3	14,0	13,8	1,51	4,28
Mount Seymour	100 %	266	4,9	0,303	22,3	20,7	17,8	2,87	6,25
Forêt expérimentale de l'UCB*	100 %	246	4,8	0,398	19,8	18,1	12,1	2,52	4,69
Squamish	93 %	145	4,7	0,282	12,1	10,8	9,31	0,466	2,46
Port Hardy	100 %	160	5,5	0,048	10,4	4,16	2,72	1,36	1,67
Parc national Olympus	98 %	415	5,4	0,170	11,6	4,97	4,15	1,66	2,22
La Grande	100 %	123	5,0	0,118	6,38	6,38	3,92	0,858	1,55
Parc national des Cascades	100 %	284	5,1	0,201	8,23	7,38	8,51	1,70	3,25

* Dépôt total

Un résumé des effets des réductions des émissions des précurseurs de l'ozone et des PM sur la brume sèche régionale est donné au tableau 7.5. La formation d'aérosols et de particules et leurs effets sur la visibilité ont été décrits plus haut. Dans celle-ci, l'analyse portait sur l'importance des réactions entre les émissions de NH_3 , de SO_2 et de NO_x dans la formation de PM secondaires. La chimie de la formation de l'ozone analysée à la section 5 faisait état de la

concurrence des COV dans les réactions qui contribuent à la formation de particules fines. Le tableau 7.5 montre clairement que des baisses des émissions de la plupart des polluants primaires aboutissent à une réduction de la brume sèche régionale. Les baisses des émissions de COV et de NO_x ont peu d'effets s'il y a peu de NH₃ assimilable dans l'atmosphère.

Tableau 7.5. Réductions des polluants atmosphériques associées aux impacts sur la brume sèche régionale et sur le changement climatique (adapté de NARSTO, 2003)

Baisse des émissions de polluants	Changement du problème connexe	
	Brume sèche régionale	Changement climatique
SO ₂	↓	↑
NO _x	↓ ↑	↑ ↓
COV	↓ ↑	↑ ↓
NH ₃	↓	↑
Carbone noir	↓	↓
Composés organiques primaires	↓	↑
Autres PM primaires	↓	↑

La direction des flèches indique une hausse ou une baisse; le bleu désigne un changement souhaitable et le rouge, un changement indésirable; la taille de la flèche indique l'ampleur du changement.

Impacts de la pollution atmosphérique sur le changement climatique

Divers rapports ont décrit les impacts du changement climatique sur le nord-ouest des États-Unis et le bassin atmosphérique du bassin de Georgia/Puget Sound. En général, on s'attend à ce que les augmentations des concentrations de gaz à effet de serre aboutissent à un réchauffement et à une augmentation des précipitations dans la plupart des secteurs (JISAO/OSMA Climate Impacts Group, 1999; Taylor, 1997). Ces documents couvrent quantité de paramètres de la variabilité et du changement climatiques. Les régimes de température et de précipitations changeront et modifieront du même coup les écosystèmes. Ces changements entraîneront tout un éventail d'adaptations, dont, dans certains cas, l'élimination complète ou l'introduction de certaines espèces végétales et animales. Une analyse générale des impacts des changements climatiques et de la pollution atmosphérique (Thomson, 1997) détermine les impacts des changements climatiques, notamment une augmentation du dépôt humide résultant de la hausse des précipitations, une multiplication des épisodes de smog, un réchauffement des étés et des hivers, ce qui abaissera le besoin de chauffage résidentiel et entraînera une diminution de la consommation de combustibles fossiles. Même si ce sont-là des questions importantes, le thème central de cette analyse concerne les impacts des émissions d'ozone, de PM et de précurseurs.

Le rapport entre les émissions de polluants atmosphériques et la brume sèche régionale est illustré au tableau 7.5. Ce tableau illustre également les impacts directs des polluants sur le

climat. Tous les polluants, à l'exception du carbone noir, entraînent un réchauffement du climat. L'impact des NO_x et des COV dépend de la quantité d'ammoniac dans l'atmosphère. Lorsqu'il y a peu de NH₃ dans l'atmosphère, l'impact de ces polluants est alors minime, comme pour la brume sèche régionale. Le Troisième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC, 2002) comportait des données provenant des mesures, des inventaires des émissions et des modèles pour déterminer le forçage radiatif relatif de divers polluants atmosphériques et le niveau de confiance de ces évaluations. Le dioxyde de carbone et les autres gaz à effet de serre bien mélangés représentent un forçage radiatif de 2,4 W/m². Le niveau de confiance scientifique est élevé pour ce chiffre, qui représente le forçage positif le plus grand. Les aérosols atmosphériques, dont les sulfates, le carbone noir, le carbone organique et les poussières minérales, représentent un forçage radiatif de -2,5 W/m², soit un refroidissement d'une ampleur presque égale. La certitude des scientifiques quant au forçage radiatif des aérosols va de faible à très faible. Les scientifiques sont relativement convaincus (niveau de confiance moyen) que l'ozone troposphérique entraîne un réchauffement avec un forçage radiatif d'environ 0,4 W/m².

Les émissions résultant de la combustion de combustibles fossiles représentent le principal élément d'intérêt commun entre les polluants atmosphériques et le changement climatique. Une baisse de la consommation de combustibles fossiles contribuera à améliorer la qualité de l'air et jouera également un rôle positif dans les efforts visant à atténuer le changement climatique.

Bibliographie

Barna, M.G., B.K. Lamb et H. Westberg. 2001. Modeling the effects of VOC/NOX emissions on ozone synthesis in the Cascadia airshed of the Pacific Northwest. *J. Air & Waste Manage. Assoc.* 51, p. 1021-1034.

Basabe, F.A., R.L. Edmonds, W.L. Chang et T.V. Larson. 1989. Fog and cloudwater chemistry in Western Washington. *In* Olson, R.K. et A.S. Lefohn (dir. de publ.), Symposium on the effects of air pollution on western forests. Juin 1989. Anaheim, CA. Air and Waste Management Association, p. 33-49.

Bates, D.V., et R.B. Caton (dir. de publ.), 2002. *Guide du citoyen sur la pollution atmosphérique, deuxième édition*, Fondation David Suzuki, Vancouver (C.-B.).

Conseil canadien des ministres de l'environnement (CCME). 1997. Modelling of ground-level ozone in the Lower Fraser Valley; Report of the Lower Fraser Valley Modelling and Measurement Working Group, Évaluation canadienne des NO_x/COV 1996, Environnement Canada, ISBN 1-896997-08-2, septembre 1997.

LCPE (*Loi canadienne sur la protection de l'environnement*). 1998. National Ambient Air Quality Objectives for Particulate Matter. Part 1: Science Assessment Document and Identification of Reference Levels. Ottawa (Ontario) : Travaux publics et Services gouvernementaux Canada.

LCPE (*Loi canadienne sur la protection de l'environnement*). 1999. Objectifs nationaux de qualité de l'air ambiant sur l'ozone troposphérique. Rapport d'évaluation scientifique. Rapport du groupe de travail fédéral-provincial sur les objectifs et les lignes directrices sur la

qualité de l'air. Environnement Canada, Direction de l'intégration et des évaluations scientifiques, Service météorologique du Canada. ISBN 0-662-28042-3. 446 p. + app.

Duel, H.P., T.G. Zitian, H. Tunggal, S. Douglas et J. Haney. 1997. Application of the UAM-V Modelling System with Process Analysis to the Lower Fraser Valley for the 1-6 August 1993 (Pacific 93) Episode, préparé par Systems Applications International pour le Service de l'environnement atmosphérique, Environnement Canada, juin 1997.

GIEC. 2001. *Changements climatiques 2001 : fondement scientifique. Contribution du groupe de travail I au Troisième rapport d'évaluation du groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat*, Houghton, J.T., Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell et C.A. Johnson (dir. de publ.), Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York, NY, É.-U., 881 p.

Jaing, G., B. Lamb et H. Westberg. 2003. Using back trajectories and process analysis to investigate photochemical ozone production in the Puget Sound region. *Atmospheric Environment*, 37, p. 1489-1502.

JISAO/SMA Climate Impacts Group. 1999. Impacts of climate variability and change – Pacific Northwest. Préparé pour le U.S. Global Change Research Program. Rapport du Pacific Northwest Regional Assessment Group. Novembre 1999, p. 109.

Lolk, N.K., G. Zitian, S. Douglas et J. Haney. 1995. Demonstration Application of UAM-V for the Lower Fraser Valley, préparé par Systems Applications International pour le Service de l'environnement atmosphérique, Environnement Canada, novembre 1995.

Keill, L., et N. Maykut. 2002. Puget Sound air toxics evaluation. Draft report, Puget Sound Clean Air Agency, Seattle WA., mai 2002, p. 74.

Kotturi, M.S., B. Thomson et S. Symthe. 1991. High elevation fog chemistry in southwestern British Columbia. 84th Annual Meeting of the Air and Waste Management Association, juin 1991, Vancouver, British Columbia, Canada, 16 p.

Makar, P.A. 2001. Processes linking NO_x, SO₂, NH₃, and VOCs to secondary particle formation, Chapter 2: Precursor Contributions to Ambient Fine Particulate Matter in Canada. Service météorologique du Canada. ISBN 0-662-30650-3. Mai 2001, p. 237.

NARSTO. 2003. Particulate Matter Science for Policy Makers – *A NARSTO Assessment* NARSTO Management Office (Envair), Pasco, Washington. <http://www.cgenv.com/Narsto/>, février 2003.

O'Neill, S. 2002. Modeling ozone and aerosol formation and transport in the Pacific Northwest and calculating fractional source contributions to downwind receptors. Thèse de doctorat, Département de génie civil et environnemental, Université d'État de Washington, mai 2002.

Pottier, J.L., J. Haney et H.P. Deuel. 1997. Modelling the future – an application of the Variable Grid Urban Airshed Model (UAM-V) to the Fraser Valley of British Columbia, Canada, *Air Pollution V*, Modelling, Monitoring and Management, Computational Mechanical Publications, Southampton, p. 465-474.

Raymond, B. 2003. Acid and Nitrogen Deposition and Critical Loads in British Columbia. Publication interne, Division des sciences aquatiques et atmosphériques, Direction de la conservation de l'environnement, Environnement Canada, Vancouver (C.-B.). Octobre 2003, p. 17.

Seigneur, C. 2001. Current status of air quality models for particulate matter. *Journal of Air and Waste Management Association*, 51, p. 1508-1521.

Taylor, B. 1997. The climates of British Columbia and Yukon, in E. Taylor et B. Taylor (dir. de publ.), *Responding to Global Climate Change in British Columbia and the Yukon*, Environnement Canada, Vancouver (C.-B.).

Thomson, B. 1997. Impacts of climate change on air quality in British Columbia and Yukon, in E. Taylor et B. Taylor (dir. de publ.), *Responding to Global Climate Change in British Columbia and the Yukon*, Environnement Canada, Vancouver (C.-B.).

Vedal, S., M. Brauer, R. White et J. Petkau. 2003. Air pollution and daily mortality in a city with low levels of pollution, *Environ. Health Perspect.* 111(1), p. 45-51.

8. Importance du transport transfrontalier

Pour déterminer l'importance du transport transfrontalier des polluants atmosphériques, il faut répondre à deux questions. Premièrement, les vents sont-ils un moyen viable de transport des polluants atmosphériques à travers les frontières internationales? Si oui, la deuxième question est alors : quel impact les concentrations de polluants atmosphériques transportés ont-elles sur le bassin atmosphérique récepteur?

Régimes des vents transfrontaliers

On a déjà analysé les régimes des vents dans le secteur identifié comme « portail » du détroit de Haro. Il est indéniable que le vent souffle régulièrement à travers ce portail entre les deux bassins atmosphériques. Une analyse menée à l'aide du modèle météorologique MM5, couplé à un algorithme de calcul des trajectoires des particules d'air, apporte d'autres indications des échanges entre les bassins atmosphériques et à travers la frontière internationale (voir figure 1.1). Le Visibility State Implementation Plan de l'État de Washington illustre clairement les trajectoires du vent qui pénètre dans le bassin atmosphérique du Puget Sound en provenance du bassin de Georgia (Écology, 2001). Une analyse plus poussée montre que les vents transfrontaliers sont plus fréquents l'été et en automne. À signaler que les trajectoires d'été sont très courtes, ce qui indique soit que les sources sont proches du bassin récepteur, soit que l'air qui parvient jusqu'au site d'intérêt n'a pas parcouru une très grande distance. Ce n'est pas le cas des trajectoires automnales, où les distances parcourues sont plus grandes et où l'on constate une augmentation incontestable du nombre de particules d'air qui pénètrent dans le bassin atmosphérique par le portail (voir figure 8.1).

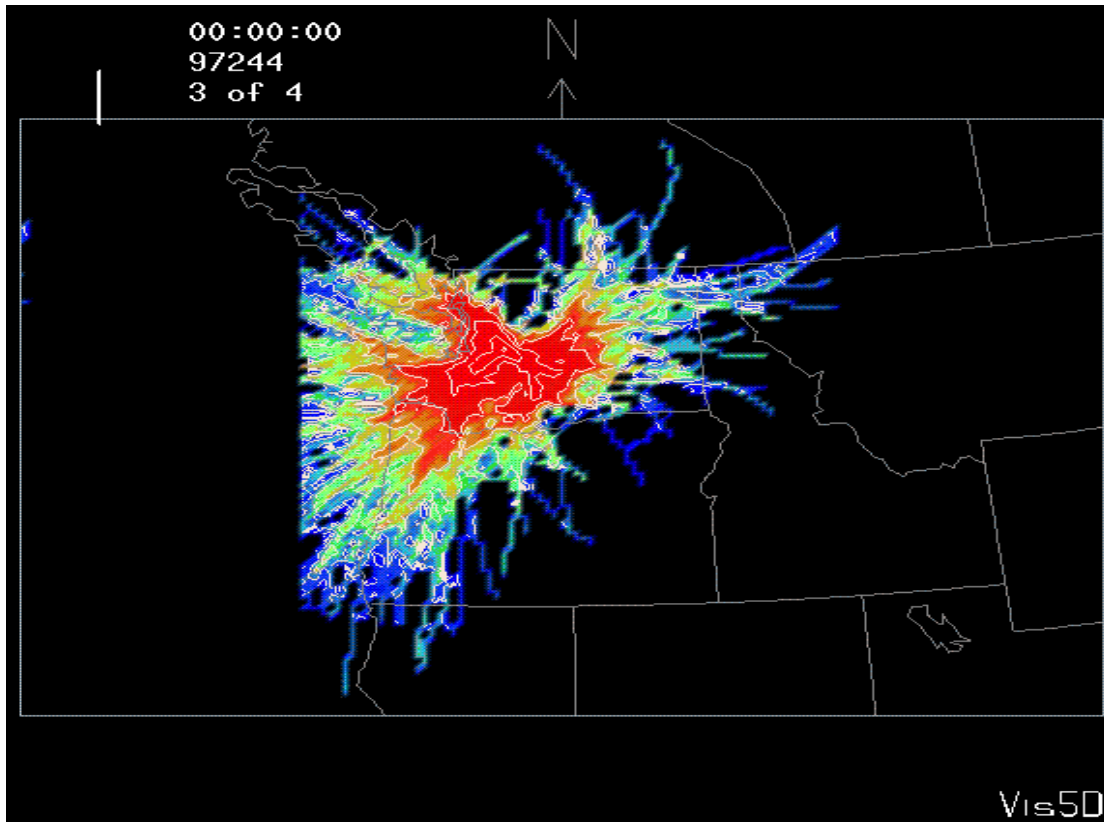


Figure 8.1. Répartition des trajectoires d'automne vers Snoqualmie Pass, Washington

Une analyse concernant Abbotsford, dans le centre de la vallée du bas Fraser, révèle des tendances semblables, les trajectoires étant très courtes l'été, plus longues à la fin de l'automne et au printemps avec l'importation d'air du détroit de Haro (Bowman, 2003). Les trajectoires de septembre et d'octobre dans le centre de la vallée du bas Fraser sont relativement courtes, ce qui témoigne de conditions plus stagnantes.

L'utilisation des données sur la visibilité indique quelles trajectoires contiennent des concentrations plus élevées de polluants atmosphériques capables de réduire la visibilité. Pour le Snoqualmie Pass, l'analyse des trajectoires suggère la prédominance des sources locales, même s'il y a également une série de trajectoires en direction du sud depuis le détroit de Haro (voir figure 8.2).

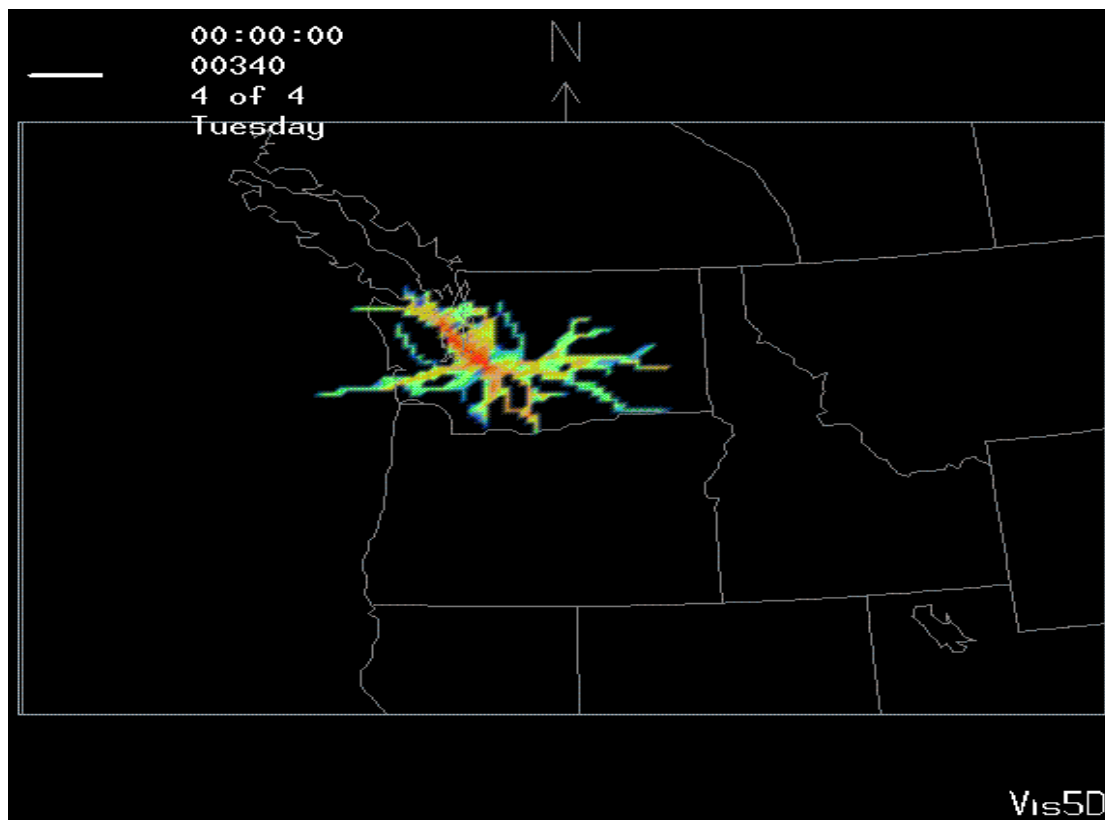


Figure 8.2. Pires trajectoires pentiles jusqu'à Snoqualmie Pass, Washington

La circulation d'air d'un bassin atmosphérique à l'autre peut être retracée au moyen d'un polluant « traceur ». Ce polluant doit être propre à une seule source et présent en concentration suffisante pour être facilement détectable. Par exemple, l'émission d'arsenic d'une importante source ponctuelle dans le Puget Sound a permis de surveiller le flux transfrontalier. On a donc effectué des mesures de la pollution atmosphérique dans le bassin atmosphérique du bassin de Georgia avant et après la fermeture de cette importante source ponctuelle (Faulkner, 1987). Après sa fermeture, on n'a plus trouvé d'arsenic mesurable dans les échantillons de pollution atmosphérique du bassin de Georgia.

L'application d'un modèle informatique pour analyser les incidences de centrales thermiques sur divers secteurs du bassin a permis de mieux comprendre le flux transfrontalier des polluants (MFG, 2002). Les coefficients estimatifs d'extinction de la lumière indiquent que les sources de l'État de Washington ont contribué à la brume sèche régionale dans toutes les parties du sud de la Colombie-Britannique, en particulier dans l'est de la vallée du bas Fraser et dans les îles Gulf. Les concentrations et le dépôt de polluants atmosphériques ont augmenté dans les secteurs à l'est du bassin atmosphérique du bassin de Georgia à cause des émissions de l'État de Washington.

Importance du transport transfrontalier

L'application d'un modèle informatique déterministe de la qualité de l'air au bassin atmosphérique du bassin Georgia/Puget Sound fournit d'autres données sur l'importance du

transport transfrontalier des polluants atmosphérique (RWDI, 2003a). Cette application a donné un « scénario de référence » qui décrit les concentrations de polluants atmosphériques pendant une période d'été et une période d'hiver. La période estivale contient deux régimes météorologiques très différents. La première partie de la période a connu les conditions dont on a déjà parlé (voir section 3, Facteurs influant sur la pollution atmosphérique), à savoir des vents légers et des conditions de stagnation, lesquels contribuent à des concentrations élevées de polluants; la deuxième partie de la période a été dominée par un régime de temps qui a amené des vents bien organisés vers le bassin, entraînant ainsi une meilleure dispersion.

Les chercheurs en ont déduit qu'ils doivent effectuer d'autres applications du modèle pour déterminer l'importance du transport transfrontalier des polluants atmosphériques. Pour ce faire, ils ont ajusté les champs d'émissions dans les simulations. Ils ont donc modélisé quatre applications (RWDI, 2003b). Les émissions anthropiques de sources canadiennes ont été « fermées » à la fois pour les périodes d'été et d'hiver. De même, les émissions anthropiques des États-Unis ont été « fermées » pendant les mêmes périodes.

Pendant la première partie de la période d'été où les émissions canadiennes ont été « fermées », les concentrations d'ozone ont été très faibles sur les secteurs canadiens du bassin atmosphérique. Les concentrations d'ozone étaient aussi légèrement inférieures dans le centre du bassin atmosphérique du Puget Sound, ce qui démontre l'influence des sources canadiennes sur ce secteur. On a observé une formation d'ozone dans la vallée du bas Fraser du bassin de Georgia. À cause d'un changement des conditions météorologiques, un flux provenance du sud-ouest plus fort a pénétré dans la région transfrontalière, et entraîné une hausse des concentrations d'ozone dans la vallée du bas Fraser (qui sont passées à environ 55 ppb) en réaction aux émissions américaines. Les concentrations de $PM_{2.5}$ étaient plus faibles dans tous les secteurs, notamment dans certaines parties du bassin atmosphérique du Puget Sound. Cela incite à croire que l'élimination des sources canadiennes entraîne une baisse du transport transfrontalier des particules fines et de leurs précurseurs, et un abaissement des concentrations globales. Les concentrations de $PM_{2.5}$ étaient plus basses de 15 à 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dans certains secteurs du Puget Sound. Durant la simulation d'hiver, les sources américaines ont affecté plusieurs parties de la vallée du bas Fraser et l'extrémité sud de l'île de Vancouver. Un changement du régime de temps a donné des vents du sud-est, ce qui a entraîné un panache d'air pollué en provenance du Puget Sound responsable d'une hausse de 50 à 60 p. 100 des $PM_{2.5}$ par rapport aux concentrations du scénario de référence sur le sud de l'île de Vancouver.

Lorsque les sources d'émissions américaines ont été « fermées », les chercheurs ont observé une diminution d'environ 10 ppb des concentrations d'ozone dans la vallée du bas Fraser par rapport aux valeurs proches de 60 ppb du scénario de référence. La période de stagnation météorologique qui avait dominé les premières parties de la simulation ayant été remplacé par un flux nord-sud, de l'air pollué en provenance du bassin atmosphérique du bassin de Georgia s'est engouffré vers le sud dans le secteur du Puget Sound. Les concentrations de $PM_{2.5}$ dans la vallée du bas Fraser durant la période plus stagnante de la simulation estivale étaient plus basses d'environ 14 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ que dans le scénario de référence. Les émissions du district régional de Vancouver durant cette période ont entraîné une hausse des concentrations atmosphériques au-dessus du comté de Whatcom. Pour ce qui est de la simulation hivernale, des panaches de $PM_{2.5}$ sont sortis du bassin de Georgia vers la presqu'île Olympic avant de se diriger vers le sud pour atteindre le Puget Sound. Les concentrations de particules fines étaient alors moins élevées sur le sud de l'île de Vancouver que dans le scénario de référence, ce qui témoigne de l'impact des sources américaines.

Les résultats des études et des simulations modélisées discutées plus haut donnent à penser qu'il y a effectivement transport transfrontalier de polluants atmosphériques entre les bassins atmosphériques du bassin de Georgia et du Puget Sound. Ce transport a lieu toute l'année, selon les conditions météorologiques qui prévalent. Les applications du modèle montrent que le transport transfrontalier des polluants atmosphériques est surtout important dans le bassin atmosphérique du bassin de Georgia, entre le district régional de Vancouver, le district régional de la vallée du Fraser et le comté de Whatcom dans la vallée du bas Fraser, le transport se faisant à l'occasion vers l'ouest jusqu'à l'île de Vancouver. La principale exception au transport transfrontalier vers le bassin de Georgia concerne la circulation des PM_{2,5} et de leurs précurseurs en provenance du Puget Sound vers le sud de l'île de Vancouver, que l'on a pu observer dans la simulation informatique hivernale avec un flux sud-est. Il faudra procéder à d'autres simulations pour déterminer l'importance du transport transfrontalier des polluants atmosphériques à d'autres moments de l'année.

Bibliographie

Ecology. 2001. Review of the Washington State Visibility Protection State Implementation Plan – *Draft Report for Federal Land Managers*, Washington State Department of Ecology, juillet 2002, p. 114.

Faulkner, D. 1987. The effect of a major emitter on the rain chemistry of southwestern British Columbia – analyse préliminaire. Division des services scientifiques, Service de l'environnement atmosphérique, Région du Pacifique, Environnement Canada, Vancouver (C.-B.). Rapport PAES 85-2 (manuscrit non publié).

MFG. 2002. Modelling Thermal Generating Plants in the Pacific Northwest. Préparé par MFG, Inc., Lynnwood (WA). Environnement Canada, Région du Pacifique et du Yukon, Vancouver (C.-B.), janvier 2002, p. 78.

RWDI. 2003a. Pacific Northwest International Air Quality Modelling Project, rapport de la phase 1, Environnement Canada, Région du Pacifique et du Yukon, Vancouver (C.-B.), 28 août 2003.

RWDI. 2003b. Pacific Northwest International Air Quality Modelling Project, rapport de la phase 2, Environnement Canada, Région du Pacifique et du Yukon, Vancouver (C.-B.), 28 août 2003.

9. Résumé des principaux résultats

Le présent rapport cible trois grands problèmes de pollution atmosphérique dans le bassin atmosphérique du bassin de Georgia/Puget Sound : l'ozone troposphérique, les particules fines et la visibilité. Les principaux résultats présentés ici sont extraits des diverses parties de ce rapport et sont rassemblés pour donner un résumé de éléments scientifiques de consultation facile.

Qu'est-ce que la qualité de l'air?

La circulation de l'air est d'importance cruciale pour comprendre la pollution atmosphérique. L'air déplace et disperse des substances chimiques en suspension émises par diverses sources anthropiques et naturelles. La circulation de l'air à travers et autour d'accidents topographiques est déterminée par des processus mondiaux, régionaux et locaux, et détermine souvent les concentrations de pollution atmosphérique à des endroits particuliers du bassin atmosphérique.

Principaux résultats des sections 2 et 3 :

- Le printemps, en particulier les mois d'avril et de mai, est le moment le plus propice à la pénétration des polluants atmosphériques dans le bassin atmosphérique du bassin de Georgia/Puget Sound en provenance du Pacifique.
- Il y a fréquemment des périodes de stagnation l'été et l'hiver, d'où la plus grande importance de ces saisons en ce qui concerne les épisodes d'ozone, de particules fines et de visibilité.
- On a constaté que les substances chimiques en suspension en provenance d'Asie et de Californie viennent s'ajouter à l'ensemble général de polluants dans le Bassin.
- Les polluants atmosphériques de sources situées à l'extérieur du bassin sont généralement bien dispersés au moment où ils y arrivent, ajoutant des concentrations, petites mais mesurables, aux concentrations ambiantes d'ozone et de PM.
- Certains régimes météorologiques provoquent des périodes de stagnation simultanément dans les deux bassins atmosphériques, les isolant l'un de l'autre. Les vents qui soufflent durant ces périodes de stagnation ne permettent pas aux polluants atmosphériques de circuler entre les deux bassins. L'interruption des brises de terre/mer dans le détroit de Georgia dissocie également la circulation d'air dans la vallée du bas Fraser en provenance de l'est de l'île de Vancouver.

Émissions

Les polluants atmosphériques proviennent à la fois de sources naturelles et anthropiques. Ils peuvent subir des réactions chimiques dans l'atmosphère, créant ainsi de nouveaux polluants qui peuvent nuire à la santé de l'homme et des écosystèmes et entraîner des problèmes de visibilité. Les niveaux des émissions prévus pour l'avenir dépendent de diverses mesures,

dont certaines sont fonction de décisions politiques et d'autres de la croissance démographique et économique.

Principaux résultats de la section 4 :

Tableau 4.2. Tendances et prévisions des émissions dans les bassins atmosphériques du Puget Sound (Department of Ecology, 2001) et du bassin de Georgia (GVRD, 2003)

Polluant	Tendance et prévisions des émissions	
	Puget Sound 1996-2018	Vallée du bas Fraser 2000-2020
NO _x	-43 %	-25 %
SO ₂	-61 %	+23 %
COV	-11 %	-13 %
NH ₃	+20 %	+31 %
PM ₁₀ (y compris les poussières routières)	+23 %	+18 %
PM _{2.5} (y compris les poussières routières)	+19 %	+ 10 %

- Les émissions de NO_x sont essentiellement attribuables au secteur motorisé. Les baisses importantes constatées dans le bassin atmosphérique du Puget Sound sont le fait de nouvelles normes sur les véhicules qui auront pour effet d'améliorer la consommation et la qualité des carburants. Des baisses analogues ne sont pas observées dans le bassin de Georgia en raison d'une hausse des émissions de NO_x du secteur maritime. On s'attend à ce que les émissions de NO_x du secteur maritime dépassent les émissions confondues des véhicules légers et des véhicules lourds sur route d'ici 2010.
- Les fortes baisses des émissions de SO₂ dans le Puget Sound sont attribuables aux fortes réductions des sources ponctuelles. Les hausses des émissions de SO₂ dans le bassin de Georgia sont attribuables aux hausses dans le secteur maritime et ont un rapport direct avec la consommation de carburant et la quantité de soufre dans le carburant.
- Dans le bassin de Georgia, les produits biosynthétiques représentent 36 600 tonnes par an ou 33 p. 100 des COV; dans le Puget Sound, ils représentent 46 p. 100 des COV ou 189 000 tonnes par an. Ce sont là des volumes importants d'émissions organiques volatiles dans le Bassin qu'il est impossible de contrôler par voie de réglementation ou par la technologie

Qualité de l'air ambiant

Les substances chimiques en suspension dans l'air et les phénomènes météorologiques connexes sont mesurés à un certain nombre de sites pour quantifier la pollution atmosphérique à la fois dans le temps et dans l'espace. Les mesures ambiantes sont ensuite comparées à des normes et objectifs pour mesurer l'efficacité des stratégies de gestion de la pollution atmosphérique. Les mesures détaillées permettent de se faire une idée de la composition des polluants atmosphériques, ce qui permet de mieux comprendre les processus

chimiques et physiques importants qui sont à l'origine de la pollution, leurs impacts possibles sur les bassins récepteurs et les principales sources.

Principaux résultats de la section 5 :

- La formation d'ozone dépend du rapport des COV aux NO_x. La valeur optimale de ce rapport pour la formation d'ozone est de 8. L'ouest du bassin atmosphérique du bassin de Georgia et le sud et le centre du bassin atmosphérique du Puget Sound ont des concentrations de NO_x suffisamment élevées pour s'écarter du rapport optimal, ce qui limite la formation d'ozone. La limite de ce rapport est la raison pour laquelle certains secteurs du bassin atmosphérique situés en aval des sources de NO_x ont des concentrations d'ozone plus élevées. La situation est inverse dans les secteurs où les concentrations de COV sont relativement élevées par rapport aux NO_x, ce qui donne à nouveau un rapport qui n'est pas propice à la formation d'ozone. Il s'agit là d'un exemple de l'importance de la répartition des sources d'émissions biosynthétiques par rapport aux émissions anthropiques. Puisqu'il n'y a pas de sources de NO_x dans les régions rurales, la formation d'ozone dépend des émissions de COV biosynthétiques, qui entraînent une très faible variation diurne des concentrations d'ozone.
- Les concentrations maximales d'O₃ pour l'année sont relevées l'été et associées à des phénomènes ou des épisodes de courte durée. Toutefois, l'analyse de l'ozone sur toute l'année indique un maximum des concentrations moyennes au printemps.
- Dans les sites en aval des grands centres urbains comme Surrey East en Colombie-Britannique et Enumclaw dans l'État de Washington, les concentrations d'ozone sont plus élevées et beaucoup plus proches des normes.
- L'analyse de l'ozone dans les régions rurales présente un rapport différent avec les normes. L'ozone ne se forme pas à proximité de ces secteurs, mais y est transporté. Les concentrations d'ozone sont alors plus proches des normes que dans les centres urbains.
- Les secteurs du Bassin en altitude situés en aval des centres urbains peuvent être plus exposés à l'ozone que les centres urbains ou les banlieues, en dépit de concentrations maximales plus élevées aux sites de moindre altitude.
- Les masses d'air pollué qui traversent l'océan Pacifique sont responsables d'une augmentation de 10 ppb des concentrations d'ozone à la surface le long de la côte ouest depuis vingt ans et devraient majorer les concentrations d'ozone de plusieurs ppb au cours des dix prochaines années.
- Des concentrations de 40 à 50 ppb sont souvent relevées dans les régions rurales le long de la côte et sont considérées comme des concentrations « de fond ». Ces concentrations de fond sont dues aux émissions de sources à la fois naturelles et anthropiques. Une partie de l'ozone de fond peut donc être limitée.
- Les sites d'échantillonnage en aval des sources d'émissions, qui subissent donc l'influence plus marquée de la formation d'ozone locale, montrent une tendance à la baisse des concentrations maximales quotidiennes annuelles d'ozone. En revanche, les sites en amont ou dans le périmètre des sources d'émissions affichent une tendance à la hausse des concentrations. Les sites qui subissent moins l'influence de la formation d'ozone local témoignent des effets d'une baisse des émissions de NO_x et d'une hausse des concentrations d'ozone de fond.
- La tempête de poussière d'avril 1998 a entraîné des concentrations de PM₁₀ supérieures à 65 µg/m³ sur toute la région à la fin avril et au début mai, alors que les concentrations « normales » sont de 20 µg/m³. Chilliwack, située dans l'est du bassin atmosphérique du bassin de Georgia, a enregistré des concentrations de PM₁₀ de 120 µg/m³ et des

concentrations de $PM_{2.5}$ de $44 \mu\text{g}/\text{m}^3$ durant cette période. Il est arrivé que des tempêtes de poussière fassent augmenter les concentrations de $PM_{2.5}$ de $8,7 \pm 2,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

- La composition chimique des particules est dominée par les matières carbonées, le carbone organique représentant 46 p. 100 du total à Vancouver et 43 p. 100 à Seattle. Avec le carbone élémentaire, ces chiffres témoignent de la profonde influence des sources de combustion sur la composition des particules. Les sulfates sont le deuxième principal polluant qui entre dans la formation des particules fines.
- L'analyse des particules au mont Rainier et à Snoqualmie Pass révèle la prédominance du carbone organique. Les concentrations de sulfates aux deux endroits sont nettement plus élevées que les concentrations de nitrates, qui sont analogues à ce que l'on trouve à Seattle. Les plus fortes concentrations de nitrates par rapport aux sulfates dans le bassin atmosphérique du bassin de Georgia sont sans doute le résultat d'un moins grand nombre de sources de combustion émettant du SO_2 et de la prédominance des NO_x provenant des émissions des véhicules.
- À Seattle, les trois principales sources qui contribuent à la formation des $PM_{2.5}$ sont le brûlage agricole pour 28 p. 100, les sources motorisées pour 22 p. 100 (18 p. 100 pour le carburant diesel et 4 p. 100 pour l'essence) et les sulfates secondaires pour 18 p. 100. Dans le centre de la vallée du bas Fraser, les sources motorisées représentent 39 p. 100 (3 p. 100 pour le carburant diesel et 36 p. 100 pour l'essence), les nitrates secondaires, 29 p. 100, et les sulfates secondaires, 13 p. 100. Plus à l'est dans la vallée, les sources motorisées représentent 30 p. 100 (7 p. 100 pour le carburant diesel et 23 p. 100 pour l'essence), les nitrates secondaires, 26 p. 100, et les sulfates secondaires, 14 p. 100 des émissions totales de $PM_{2.5}$.
- La concentration massique annuelle moyenne de $PM_{2.5}$ dans le bassin atmosphérique du bassin de Georgia/Puget Sound varie de 6 à $8 \mu\text{g}/\text{m}^3$, sauf à proximité des grands centres urbains comme Seattle, Victoria et Vancouver, où la moyenne s'établit à entre 9 et $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Les concentrations de particules varient considérablement selon la saison, la semaine et le jour.
- Les particules fines d'un diamètre de 0,3 à $1,0 \mu\text{m}$ sont celles qui diffusent le mieux la lumière. Cette fourchette explique que notre analyse de la visibilité porte essentiellement sur la fraction des $PM_{2.5}$. Les composés inorganiques NO_3^- et SO_4^{2-} sont les principaux polluants responsables d'une baisse de la visibilité.
- Les données relevées au mont Rainier révèlent la prédominance des sulfates les jours où la visibilité est mauvaise ou très mauvaise, tandis que les nitrates sont le principal polluant lorsque la visibilité est réduite dans la vallée du bas Fraser.

Contexte social et économique

La concentration de polluants atmosphériques dans la région a un certain nombre d'impacts sociaux, environnementaux et économiques. L'ampleur de ces impacts dépend avant tout de l'accroissement de la population dans les deux bassins atmosphériques. Les émissions de polluants atmosphériques peuvent avoir un effet direct sur la santé de l'homme et de l'environnement, et il y a également des impacts secondaires comme les facteurs économiques qui sont liés à une dégradation de la visibilité. La synergie sociale et économique entre la qualité de l'air et les émissions de gaz à effet de serre est un paramètre important. Le fait de bien cerner les tendances socio-économiques du passé et de l'avenir permet de modéliser les scénarios futurs relatifs aux émissions atmosphériques et de déterminer les orientations stratégiques futures.

Principaux résultats de la section 6 :

- La pollution atmosphérique est inexorablement liée à tous les éléments de la durabilité de la région du bassin de Georgia/Puget Sound, soit un environnement sain, une économie dynamique et le bien-être social de tous.
- Chaque être humain respire plus de 11 000 litres d'air chaque jour, d'où l'importance critique de la qualité de l'air pour la santé humaine. Les incidences des polluants atmosphériques peuvent varier d'une simple irritation des yeux, du nez et de la gorge à une baisse des fonctions pulmonaires et à des cancers.
- Les contaminants présents dans l'atmosphère peuvent endommager les cultures agricoles et la végétation, en réduisant les rendements de cultures d'une grande importance économique. Aux États-Unis, les pertes agricoles attribuables à l'ozone sont estimées à entre 1 et 3 milliards de dollars par an.
- La baisse de visibilité causée par l'accumulation de particules en suspension dans l'atmosphère peut avoir des effets préjudiciables sur le tourisme. Pour seul épisode extrême de visibilité, les modèles informatiques évaluent les pertes en revenus futurs du tourisme à 7,45 millions de dollars dans le District régional de Vancouver et à 1,32 million de dollars dans la vallée du Fraser.
- L'augmentation de la concentration de gaz qui piègent la chaleur contribue au changement climatique. Les changements qui se produisent dans les régimes des vents et des précipitations et la fréquence accrue des phénomènes météorologiques extrêmes peuvent avoir des conséquences imprévisibles et de grande envergure sur l'environnement, la société et l'économie.
- La pollution atmosphérique est liée à un certain nombre de tendances sociales et économiques, notamment à l'accroissement de la population, à l'augmentation de la demande de transport et de la consommation d'énergie et à des changements dans l'industrie.
- La région continue d'être très tributaire du commerce. La majorité des exportations de la région proviennent du secteur des ressources naturelles à forte intensité d'énergie, qui émet de grandes quantités de polluants atmosphériques.
- Parmi les tendances liées à l'accroissement de la population qui peuvent nuire à la qualité de l'air figurent l'étalement des villes, l'utilisation accrue de l'automobile et la plus grande consommation d'énergie. La région du bassin de Georgia/Puget Sound devrait connaître un accroissement régulier de sa population au cours des 20 prochaines années.
- La production et la consommation d'énergie provenant des combustibles fossiles rejettent un certain nombre de polluants dans l'atmosphère, notamment de forts volumes de gaz à effet de serre. Or, l'État de Washington et la Colombie-Britannique ont vu augmenter leur consommation d'énergie depuis les années 1980.
- La consommation d'énergie dans le secteur des transports est une importante source de pollution atmosphérique et d'émissions de gaz à effet de serre dans la région. Dans l'État de Washington, la contribution des véhicules automobiles à la pollution atmosphérique a progressé de 43 p. 100 en 1991 à 57 p. 100 en 1999. Les pourcentages d'émissions du secteur automobile dans la vallée du bas Fraser en 2000 étaient supérieurs à 30 p. 100 pour les SO_x, à 25 p. 100 pour les gaz à effet de serre (équivalent CO₂), à 45 p. 100 pour les NO_x et à 20 p. 100 pour les COV.

État de nos connaissances

Il demeure d'importantes lacunes dans notre connaissance de la façon dont certains polluants atmosphériques réagissent les uns avec les autres et des conséquences qu'ils ont sur la santé

de l'homme et de l'environnement dans le bassin atmosphérique du bassin de Georgia/Puget Sound. Les méthodes utilisées pour inventorier les émissions et en prévoir les tendances reposent sur des hypothèses et des techniques de modélisation informatique qui ont besoin d'être raffinées. Les modèles informatiques de la qualité de l'air appliqués au bassin atmosphérique du bassin de Georgia/Puget Sound estiment les concentrations de polluants sur plusieurs jours ou semaines, mais on ne dispose pas de prévisions des concentrations saisonnières ou annuelles.

Principaux résultats de la section 7 :

- La synergie entre les processus de pollution atmosphérique fait que les variations des émissions de polluants primaires auront un impact sur plusieurs éléments de la pollution atmosphérique. Les baisses d'émissions peuvent entraîner à la fois des hausses et des baisses des concentrations ambiantes de polluants atmosphériques secondaires.
- Les résultats des modèles informatiques appliqués aux épisodes de pollution atmosphérique donnent généralement des estimations des concentrations d'ozone qui représentent 35 p. 100 des concentrations relevées et des estimations de concentrations de $PM_{2.5}$ qui représentent 50 p. 100 des concentrations observées.
- Les variations des concentrations de $PM_{2.5}$ surviennent essentiellement lorsque les émissions de NH_3 et de NO_x varient simultanément dans les centres urbains. Dans ces régions, les conditions sont souvent limitées par le NH_3 . Les concentrations de $PM_{2.5}$ réagissent également aux diminutions des émissions de SO_2 . Toutefois, les diminutions des émissions de dioxyde de soufre dans les régions urbaines du bassin atmosphérique du Puget Sound ont un impact minime sur les concentrations de $PM_{2.5}$. Dans les régions rurales, les $PM_{2.5}$ réagissent assez fortement aux variations des émissions de SO_2 .
- Les baisses des émissions de NO_x et de COV nécessaire pour ramener les concentrations d'ozone en deçà des normes de qualité de l'air durant les épisodes de pollution atmosphérique dans le bassin atmosphérique du bassin de Georgia/Puget Sound sont de l'ordre de 50 p. 100.
- Les recherches menées dans la vallée du bas Fraser montrent une relation nette entre l'ozone et la mortalité globale due à des affections respiratoires et cardiovasculaires l'été, et entre les NO_x et la mortalité globale l'hiver à des concentrations relativement faibles de la qualité de l'air ambiant.
- Une étude sur la santé menée dans le Puget Sound a déterminé que les substances toxiques en suspension qui suscitent le plus de préoccupations sont les particules de carburant diesel, le benzène, le formaldéhyde, le tétrachlorure de carbone et les composés du chrome.
- L'analyse des données de surveillance recueillies à Seattle indique que les particules de carburant diesel sont l'élément qui contribue le plus aux risques de cancer dans cette région. La fumée de bois est le deuxième polluant par ordre d'importance.

Importance du transport transfrontalier

Pour déterminer l'importance du transport transfrontalier, il faut répondre à deux questions fort différentes. La première est la suivante : l'analyse des vents porte-t-elle à croire qu'il y a un flux transfrontalier de l'air suffisant pour transporter des polluants atmosphériques? Si oui, la deuxième question est alors : quel est l'impact des concentrations de polluants atmosphériques transportés sur le bassin atmosphérique récepteur?

Principaux résultats de la section 8 :

- Les vents déplacent des polluants à travers la frontière internationale dans les deux sens à toutes les saisons de l'année dans le bassin atmosphérique du bassin de Georgia.
- Les résultats de simulations informatiques confirment l'importance du transport transfrontalier de polluants atmosphériques entre les bassins atmosphériques du bassin de Georgia et du Puget Sound.

Le principal échange d'air et de pollution entre les bassins atmosphériques du bassin de Georgia et du Puget Sound se fait par le « portail » situé au sud du détroit de Haro, lequel s'étend du sud de Bellingham vers l'ouest jusqu'à Port Angeles. La circulation par le portail est à son maximum à l'automne.

10. Implications

L'étude a permis de déterminer que l'élaboration de stratégies visant à améliorer la qualité de l'air dans le bassin atmosphérique du bassin de Georgia/Puget Sound aurait les répercussions suivantes :

- Étant donné que les polluants traversent la frontière internationale avec les vents dans les deux sens à toutes les saisons de l'année, la gestion de la pollution atmosphérique dans le bassin atmosphérique du bassin de Georgia/Puget Sound nécessitera une action coordonnée de la part du Canada et des États-Unis.
- Les conditions météorologiques stagnantes associées aux épisodes de mauvaise qualité de l'air ont généralement des conséquences simultanées sur les bassins atmosphériques du bassin de Georgia et du Puget Sound. La circulation des polluants atmosphériques entre les bassins atmosphériques est alors extrêmement limitée. Toutefois, les stratégies utilisées pour faire face aux épisodes de mauvaise qualité de l'air continueront d'exiger une action internationale coordonnée dans le bassin atmosphérique du bassin de Georgia.
- Les interactions des polluants atmosphériques peuvent entraîner la formation de polluants secondaires dans l'atmosphère. Les stratégies de réduction des émissions seront d'autant plus efficaces que l'on tiendra compte des effets synergiques des changements des émissions sur la chimie de l'air et sur les polluants atmosphériques qui en résultent.
- La concentration de pollution atmosphérique ambiante dépend de phénomènes sociaux et économiques, comme l'accroissement de la population, les besoins de transport, la consommation d'énergie et les modifications de l'industrie. Même si l'on prévoit une baisse des émissions de polluants des véhicules automobiles au cours des dix prochaines années dans les deux bassins atmosphériques, les émissions du secteur maritime sont à la hausse, de même que celles du secteur agricole. Quelques programmes et stratégies visant à réduire les émissions et à améliorer la qualité de l'air contribueront également aux stratégies dont le but est de réduire les émissions de gaz à effet de serre, et vice-versa.
- Aux niveaux actuels, les concentrations ambiantes de pollution atmosphérique ont des effets néfastes sur la santé de l'homme et sur l'environnement. Cet état de choses renforce le besoin d'une amélioration constante de la qualité de l'air et d'un maintien de concentrations acceptables aux yeux du public dans les régions où les niveaux de pollution atmosphérique sont bas.
- Les particules fines sont surtout des matières carbonées. Dans les centres urbains, près de 50 p. 100 de la masse des particules provient de la combustion. La gestion des émissions des sources de combustion doit demeurer une priorité en vue de réduire les concentrations de particules fines et les problèmes de santé humaine qu'elles entraînent.
- Le SO₂, le carbone organique et les NO_x sont les principaux polluants responsables d'une diminution de la visibilité. Les émissions de SO₂ et des NO_x sont transformés dans l'atmosphère en sulfates et en nitrates, qui se combinent chimiquement à l'ammoniac d'origine agricole et au sodium des émissions marines naturelles pour entraîner la formation des particules fines. Pour améliorer la visibilité, il faudra s'attacher particulièrement aux sources de SO₂, du carbone organique, de NO_x et d'ammoniac.

- La concentration d’ozone troposphérique dans l’air ambiant est attribuable avant tout à des réactions photochimiques. L’ozone et ses précurseurs peuvent parcourir de grandes distances. De ce fait, les plus fortes concentrations d’ozone ambiant s’observent souvent en aval des centres urbains et en altitude dans les régions rurales. L’efficacité des stratégies de limitation des concentrations d’ozone doit être évaluée en prenant des mesures ambiantes de l’ozone dans des endroits appropriés, souvent en aval des centres urbains et en altitude dans les régions rurales.
- Les émissions naturelles de composés organiques volatils représentent entre le tiers et la moitié des émissions totales de COV dans le bassin. L’ampleur des émissions naturelles limite l’abaissement réalisable des émissions totales de COV dans le bassin. Le niveau des émissions naturelles de COV limite aussi l’efficacité des mesures de contrôle des émissions de NO_x dans l’abaissement des concentrations ambiantes de PM et d’ozone.
- Des concentrations d’ozone se situant entre 40 et 50 ppb sont souvent relevées dans les régions rurales du littoral au printemps, et sont qualifiées de concentrations « de fond ». Ces concentrations sont le fait des émissions naturelles et anthropiques, notamment du transport depuis l’extérieur du Bassin. C’est ainsi qu’une partie de l’ozone de fond est d’origine humaine et qu’il est donc possible de le contrôler.
- C’est le plus souvent au printemps que l’on constate l’impact du transport à grande distance des polluants atmosphériques en provenance du Pacifique. Les polluants atmosphériques provenant de l’extérieur du Bassin sont généralement bien dispersés, mais leur impact sur la qualité de l’air ambiant dans le Bassin peut néanmoins être mesuré. Les stratégies visant la qualité de l’air ambiant dans le Bassin doivent tenir compte de l’ajout de concentrations de polluants provenant de sources éloignées.

Caractérisation
du bassin atmosphérique
du bassin de Georgia/Puget Sound



Also available in English