



Rapport du 1^{er} Atelier de travail sur la Science de l'ammoniac en phase gazeuse issu des sources agricoles



Rapport du 1^{er} Atelier de travail sur la Science de l'ammoniac en phase gazeuse issu des sources agricoles

– Évaluation préliminaire –

Rapport conjoint de

AGRICULTURE ET AGROALIMENTAIRE CANADA

ET

ENVIRONNEMENT CANADA

Les 3 et 4 mars 2003

Service Météorologique du Canada
4905, rue Dufferin
Downsview, Ontario MH3 5T4

Christian De Kimpe¹ et Carrie Lillyman²

¹Agriculture et Agroalimentaire Canada et ²Environnement Canada

AVANT-PROPOS

La qualité de l'air est un sujet qui préoccupe les Canadiens et le gouvernement du Canada s'est engagé à rendre l'air plus sain. En mai 2000, le gouvernement fédéral a lancé son « agenda air pur », un plan général qui présentait, dans ses grandes lignes, les actions à entreprendre pour améliorer la qualité de l'air que nous respirons. Les actions décrites comprenaient des initiatives du gouvernement élaborées par le fédéral et les travaux qu'il comptait de plus réaliser avec la collaboration des provinces, des territoires et des parties prenantes. Les travaux ont porté plus précisément sur les matières particulaires (MP) parce qu'il y a de plus en plus de preuves qu'elles ont un impact négatif sur la santé humaine. Or une portion importante de MP sont formées par la réaction des gaz présents dans l'atmosphère, dont l'ammoniac. Récemment, l'ammoniac gazeux a d'ailleurs été ajouté par décret à l'Annexe 1 de la *Loi canadienne sur la protection de l'environnement, 1999* (LCPA 1999). Le décret a été publié le 2 juillet 2003 dans la *Gazette du Canada* partie II.

Les sources naturelles d'ammoniac exceptées – contre lesquelles nous n'avons qu'un contrôle limité – l'agriculture constitue la plus grande source émettrice d'ammoniac dans l'atmosphère. Une gamme de pratiques est disponible aux producteurs agricoles désireux d'améliorer l'efficacité de leur production tout en réduisant ses impacts sur l'environnement. Ces pratiques continuent d'être utilisées et la recherche continue de les bonifier. Les réactions chimiques impliquant l'ammoniac dans la formation des MP sont étudiées depuis plusieurs années. Cependant, beaucoup restent à comprendre sur le transport de l'ammoniac depuis sa source émettrice – l'agriculture – jusqu'aux cibles environnementales sensibles, y compris les humains. Par conséquent, il n'est pas clair si, d'une part, des mesures de gestion des émissions doivent être prises et en quoi d'autre part devraient-elles consister.

Pour réduire les niveaux de MP dans l'air ambiant, il faut nécessairement réduire les émissions des précurseurs qui jouent un rôle dans leur formation. En effet, on attribue en moyenne de une demie à deux tiers la masse de particules fines qui se forment en présence des précurseurs. En ce qui concerne l'ammoniac gazeux, Environnement Canada (EC) et Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC) se sont engagés à travailler avec les provinces et territoires, les industries et les parties prenantes pour gérer les risques liés l'ammoniac gazeux. Il sera particulièrement important que le secteur agricole s'implique et qu'il participe aux initiatives relatives au développement d'une approche flexible en matière de gestion de l'ammoniac gazeux dans le cadre de la Politique agricole. Cette approche sera basée sur la meilleure information disponible. Une gamme d'expertises scientifiques est requise pour aborder et intégrer les unes aux autres les différentes facettes du problème. Beaucoup de l'expertise provient d'AAC et d'EC.

Un atelier de travail intitulé « La science de l'ammoniac issu des sources agricoles » a eu lieu les 3 et 4 mars 2003 à Toronto, en Ontario. Cet atelier a donné l'occasion aux départements de faire le point sur leurs connaissances scientifiques sur l'ammoniac gazeux, d'identifier les lacunes de recherche et d'établir des collaborations pour des recherches futures. Ce rapport offre le résumé de l'information que se sont échangée les participants au cours de ces deux jours, en plus de l'information que les chercheurs invités en provenance de l'Europe et des États-Unis ont livré. Enfin, le lecteur trouvera aussi les réponses aux questions majeures que se sont posées les participants sur l'ammoniac gazeux au cours des discussions en petits groupes.

EC et AAC reconnaissent que l'emploi de l'ammoniac est essentiel à la production d'une alimentation saine, au Canada et dans le monde. La publication de ce rapport marque une première étape dans les discussions relatives à la science de l'ammoniac gazeux et à la gestion des risques qui sont entreprises avec l'industrie et les parties prenantes intéressées.



LISTE DES ABREVIATIONS

AAC	Agriculture et Agroalimentaire Canada
AOS	Aérosols organiques secondaires
CO/CN	Carbone organique/Carbone noir
CSA	Cadre stratégique pour l'agriculture
DLA	Diode laser accordable
EC	Environnement Canada
EGEF	Enquête de gestion environnementale à la ferme
GEIA	<i>Global Emissions Inventory Activity</i>
LCPE	Loi canadienne sur la protection de l'environnement
LIDAR	Identification, détection et télémétrie par laser (de l'anglais LIDAR)
LSIP	Liste des substances d'intérêt prioritaire
MOUDI	Séparateur à impacts « <i>Micro-Orifice Uniform</i> »
MP	Matières particulaires
PCA	Principaux contaminants atmosphériques
PGB	Pratiques de gestion bénéfiques
SMA	Spectromètre de masse à aérosols
SP	Standards pancanadiens
WEDD	Filtre dénudeur « <i>Wet Effluent Diffusion</i> »



TABLE DES MATIÈRES

AVANT-PROPOS	i
LISTE DES ABRÉVIATIONS	ii
1.0 INTRODUCTION	1
2.0 PERTINENCE DU POLITIQUE	2
2.1 Perspectives d'EC : une réponse à la LCPE et aux SP	2
2.2 Perspectives de l'AAC : le CSA et un environnement durable accru	3
3.0 CONNAISSANCES SCIENTIFIQUES ACTUELLES	4
3.1 Chimie de l'atmosphère.....	4
3.2 Inventaire des émissions et modèles disponibles	7
3.3 Développement d'indicateurs.....	10
3.4 Présentation des collègues d'autres pays	11
4.0 ENJEUX ET PRÉOCCUPATIONS EN RECHERCHE SCIENTIFIQUE	14
4.1 Émissions.....	14
4.2 Modélisation	15
4.3 Surveillance et processus atmosphériques	16
4.4 Aspects politique et économique	16
4.5 Priorités en matière de projets de recherche potentiel	17
5.0 CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS	19
6.0 APPENDICES	20
RÉFÉRENCES	26





1.0 INTRODUCTION

L'ammoniac atmosphérique est cause d'importants problèmes de qualité de l'air au Canada. Comme il est le seul gaz alcalin dans l'atmosphère, il se trouve à neutraliser les acides – formés lors de l'oxydation du dioxyde de soufre et des oxydes d'azote – pour former des particules d'ammonium. En retombant, ces particules, l'ammoniac et l'ammonium peuvent agir comme fertilisants sur les écosystèmes naturels (forêts, mers). Mais cela peut aussi mener à des changements de composition en espèces ou à la prolifération d'algues capables de causer la mort des poissons. Les matières particulaires (MP) présentes dans le smog peuvent avoir autant un impact négatif sur la santé humaine qu'exercer une influence sur le bilan radiatif terrestre.

Les MP sont classées selon leur grosseur. Les MP₁₀, ou grossières, sont celles qui font entre 2.5 et 10µm. Les MP_{2,5}, ou fines, sont celles qui font moins de 2.5µm. L'ammoniac a été reconnu comme étant l'un des gaz précurseurs – parmi d'autres comme les NO, NO₂, COVs et SO₂ – impliqué dans la formation des MP grossières et fines du smog. En raison de l'augmentation de la fréquence des épisodes de smog dans de nombreuses régions du Canada et des préoccupations qu'ils suscitent sur la santé humaine, les précurseurs MP₁₀ sont en voie d'être ajoutés à l'Annexe 1 de la *Loi canadienne sur la Protection de l'environnement 1999* (LCPE). Par cette loi, ces précurseurs ainsi que l'ammoniac gazeux seront déclarés substances toxiques.



L'établissement d'un bilan des connaissances sur les émissions d'ammoniac, sur leurs réactions dans l'atmosphère et sur le phénomène des retombées constitue une étape nécessaire à l'élaboration de futurs projets de nature scientifique. Les scientifiques en admettent l'importance d'autant plus que ces nouvelles connaissances aideront à la prise de décisions en gestion des risques.

L'atelier de travail sur la science de l'ammoniac gazeux a été organisé dans le but de coordonner les connaissances actuelles sur les sources d'ammoniac, la modélisation et la chimie de l'ammoniac atmosphérique, puis d'en approfondir la compréhension de façon à pouvoir planifier le travail futur. La participation simultanée des scientifiques d'EC et d'AAC a été considérée essentielle parce que le secteur agricole constitue une source majeure d'émissions d'ammoniac dans l'atmosphère au Canada. Ce colloque a été l'occasion pour les scientifiques de ces deux ministères fédéraux d'établir l'état actuel des connaissances scientifiques sur l'ammoniac, d'identifier les lacunes en recherche et d'envisager la possibilité de collaborer à des projets dans le futur.

Le rôle que joue l'ammoniac dans la formation des MP justifie l'importance à accorder à la recherche en cette matière. C'est pourquoi il est important d'acquérir une meilleure compréhension 1) des émissions qui proviennent des sources agricoles, comme l'élevage des animaux, le fumier et les fertilisants 2) de la chimie de l'atmosphère et 3) du potentiel de retombée (vu les effets secondaires des MP sur la santé humaine et l'environnement).

Le lecteur trouvera dans ce document la synthèse de l'information scientifique que se sont échangée les participants au cours des deux jours, en plus de l'information apportée par les collègues étrangers de même que le résultat des discussions en atelier qui ont porté sur les questions scientifiques majeures sur le problème de l'ammoniac.



2.0 PERTINENCE DU POLITIQUE

2.1 Perspectives d'EC : une réponse à la LCPE et aux SP

CHRISTIAN PILON a discuté des deux politiques directrices – maintenant en vigueur – relatives à l'ammoniac présent dans l'atmosphère sous forme gazeuse. Il s'agit de la *LCPE* (1999) et des *Standards pancanadiens (SP)* pour les matières particulaires.

La *LCPE* (1999) est une loi qui « vise la prévention de la pollution et la protection de l'environnement et de la santé humaine en vue de contribuer au développement durable ». La *LCPE* est entrée en vigueur le 31 mars 2000. En vertu de la Section 76 de la Loi, la contribution des ministères de l'Environnement et de la Santé est requise pour l'établissement d'une liste de substances jugées d'intérêt prioritaire (*LSIP*), déterminée sur la base de la toxicité des substances telle qu'elle est définie à la Section 64 de la Loi. Ils doivent aussi évaluer si ces substances représentent un risque majeur pour la santé des Canadiens ou pour l'environnement. L'évaluation de la toxicité des substances figurant sur la liste est sous la responsabilité partagée entre EC et Santé Canada.

Le 27 mai 2000, les ministres de l'Environnement et de la Santé déclaraient dans *la Gazette canadienne* que les MP_{10} étaient considérées « toxiques » en vertu des normes de toxicité contenues dans la Section 64 de la Loi de la *LCPE*, étant donné leurs impacts sur la santé humaine. Les MP_{10} étaient alors ajoutées à la *LSIP* (Annexe 1) de la *LCPE* en mai 2001. Dans le rapport d'évaluation des MP_{10} , il est spécifié que les MP_{10} peuvent être libérées directement dans l'atmosphère ou résulter de transformations physiques ou chimiques de précurseurs déjà présents dans l'atmosphère. Selon ce rapport, le SO_2 , les NO_x (NO et NO_2), l'ammoniac gazeux (NH_3) et les *COVs* seraient les principaux précurseurs des MP_{10} . Puisque les deux tiers des *MP* fines ($MP_{2,5}$) sont aussi formées à partir de transformations de ces précurseurs gazeux, toute action visant à contrôler les *MP* doit aussi viser ces précurseurs. C'est ce qui fait que le 2 juillet 2003, les précurseurs des *MP* ont été ajoutés à l'Annexe 1 de la *LCPE* (1999). En y ajoutant ces précurseurs de même que l'ozone, le gouvernement fédéral était alors en train de mettre en place les politiques dont il a besoin pour s'acquitter de ses engagements intérieurs en matière de qualité de l'air. Afin de s'en acquitter, le gouvernement a besoin de tous les moyens offerts dont il dispose avec la *LCPE*, dans la mesure où la substance en cause figure dans la liste de l'Annexe 1.

Les standards pancanadiens (*SP*) comprennent des standards qui réfèrent à la qualité, la quantité, aux directives, aux objectifs et aux critères de protection et de réduction des risques pour la santé humaine. Il est prévu que les *SP* comprendront des valeurs numériques de limites (p. ex. pour le milieu ambiant, les rejets, les normes de produits), des engagements, un calendrier de réalisation, une liste des actions préparatoires à l'atteinte des standards ainsi qu'un cadre de production de rapports publics. En ce qui concerne les $MP_{2,5}$, le standard à atteindre d'ici 2010 est de $\leq 30 \mu g/m^3$ (moyenne calculée sur 24 heures). Le standard sera considéré atteint quand la valeur moyenne du 98^e percentile, mesurée sur 3 années consécutives, sera $\leq 30 \mu g/m^3$. La *LCPE* 1999 et la *SP* sont des outils de gestion conçus pour aider à réduire les risques auxquels sont exposés





l'environnement et les humains ; la LCPE est l'outil fédéral d'établissement d'une partie des SP. EC entend adopter une approche de gestion à long terme sur la réduction du NH_3 . Au cours des cinq prochaines années, ce ministère prévoit, aller de l'avant en matière de réduction des autres précurseurs (les NO_x , les SO_x et les COVs), suivre l'évolution de l'ammoniac et maintenir l'information à jour, collaborer avec ses partenaires à la détermination de mesures scientifiques et à la gestion des risques, supporter les efforts des provinces et des territoires en matière de réduction de l'ammoniac, là où c'est approprié.

2.2 Perspectives de l'AAC : le CSA et durabilité environnementale accrue

ISABELLE PROULX a présenté le cadre stratégique pour l'agriculture (CSA) qui résulte des vastes consultations qui ont eu lieu entre les gouvernements provinciaux et fédéral. Le CSA contient de nouvelles approches pour atteindre la durabilité dans le secteur de l'agro-alimentaire. Ce cadre permettra de renforcer la coopération entre les partenaires. Il aidera aussi à réduire la réglementation imposée aux producteurs agricoles et à améliorer la gestion des risques. Les composantes constitutives du CSA touchent aux trois facettes de la durabilité (sociale, environnementale et économique). À l'atelier, les participants ont abordé les facettes environnementale et sociale du CSA.

Les problèmes environnementaux deviennent de plus en plus importants, si l'on en juge par les impacts qu'ils causent sur la santé humaine et par les préoccupations qu'ils soulèvent dans de nombreux domaines (comme la qualité de l'air et de l'eau). Les questions du domaine environnemental ne peuvent se dissocier du domaine économique. À cet égard, on s'attend à ce que l'augmentation des pratiques écologiques aide le Canada à faire de lui un pays reconnu pour produire des aliments selon des méthodes fortement respectueuses de l'environnement. Dans ces conditions, la gérance environnementale contribuera à accroître l'approbation des Canadiens à l'égard des activités agricoles menées dans leur pays.

De nombreuses approches seront appliquées pour réaliser cette vision d'une gestion plus respectueuse de l'environnement. Les questions environnementales seront prises en compte dans les plans environnementaux en agriculture qui, associés aux plans de gestion des éléments nutritifs, aideront à améliorer la qualité de l'air et de l'eau. Les pratiques de gestion bénéfiques (PGB) seront réévaluées, compte tenu des plus récents développements dans les systèmes de production animale et végétale, en particulier dans l'application des fertilisants.

Les buts à long terme visés par le CSA serviront aussi les objectifs que visent d'autres départements et secteurs (p. ex. EC et Santé Canada) qui s'efforcent aussi d'améliorer au Canada la qualité de l'air, réduire les effets de l'ammoniac sur la santé humaine et d'améliorer la qualité de l'environnement.





3.0 CONNAISSANCES SCIENTIFIQUES ACTUELLES

Cette section offre un résumé des présentations données par les Canadiens (EC et AAC) et par les scientifiques invités.

3.1 Chimie de l'atmosphère

PAUL MAKAR a décrit le rôle que joue le NH_3 dans la formation des MP. Il a utilisé un exemple « simple » qui impliquait quatre composés – $\text{NH}_3(\text{g})$, $\text{NO}(\text{g})$, $\text{SO}_2(\text{g})$ et le $\text{NaCl}(\text{s})$ – pour illustrer les processus complexes qui se produisent entre les précurseurs et ces composés dans la formation des MP dans l'atmosphère.

Les émissions de NH_3 peuvent exister en équilibre avec l'ammoniac en solution aqueuse, tandis que l'azote et les dioxydes de soufre, par le biais de processus d'oxydation et en présence d'eau, peuvent former des acides (HNO_3 et H_2SO_4). D'autres réactions, fortement dépendantes de la température et de l'humidité relative, peuvent survenir pour former de petites particules solides. Par ailleurs, les autres constituants inorganiques présents dans l'atmosphère peuvent aussi réagir avec les quatre composés ci-dessus ainsi qu'avec les produits que leurs réactions génèrent, pour donner lieu à un jeu de réactions chimiques des plus complexes. Toutefois, la concentration relative de tous ces composés est importante dans la détermination des produits finaux. De tels jeux de réactions sont typiques dans l'atmosphère ; ils illustrent la complexité des processus en cause dans la formation des MP du smog. Dans de telles réactions, les constantes d'équilibre ne varient pas de façon linéaire avec les concentrations. Elles intègrent les coefficients d'activité et les éléments dont on doit tenir compte aux concentrations non idéales.



Compte tenu de ces considérations, il est clair que le rôle du NH_3 dans la formation des particules dépend fortement de la :

- localisation dans l'espace – (la proximité des émissions primaires de NH_3 et des autres précurseurs) et du temps de transport – (détermine le temps d'oxydation et des autres réactions chimiques) ;
- météo locale – les constantes d'équilibre dépendent de l'humidité relative et de la température.

Si la compréhension des processus chimiques ne repose que sur un nombre limité de conditions météorologiques disponibles, il faut s'attendre à obtenir des prévisions imprécises.

Notre compréhension actuelle de la manière dont sont formées les particules qui contiennent de l'ammoniac est limitée, par manque de certitudes sur :

(a) Le comportement des gaz à basses températures et leurs effets sur la formation des particules inorganiques :

- la dépendance des constantes K à la température est estimée théoriquement, sans avoir été confirmée expérimentalement en laboratoire ;
- la quantité d'eau dans les particules a été estimée à partir de mesures faites à $25\text{ }^\circ\text{C}$ (relation ZSR) ; le contenu en eau à d'autres températures et comment il est affecté par les changements de température n'ont pas encore été déterminés en laboratoire ;
- l'état des particules : p. ex. gèlent-elles ? Si oui, quel en est l'effet sur leur composition ? Des impuretés inorganiques pourraient alors être émises ;



- les suppositions selon lesquelles certains composés seraient présents à 25 °C sont certainement incorrectes à d'autres températures.

(b) Les échanges de masse entre les particules qui diffèrent en composition et en dimensions :

- échange entre composés gazeux – est-ce qu'un gaz est émis de particules d'une seule dimension et peut être adsorbé par des particules d'autres dimensions ? Est-il possible de modéliser de tels échanges ou réactions et de les vérifier en laboratoire ?

(c) Relation avec les composés organiques :

- plusieurs aérosols organiques secondaires qui résultent de l'oxydation en phase gazeuse d'un précurseur d'un composé organique volatil sont dotés d'un minimum de polarité; ils peuvent se dissocier et réagir avec des particules inorganiques. Les connaissances sur ces réactions sont très limitées.
- certains composés organiques contiennent des groupes moléculaires qui peuvent se comporter à la manière de l'ammoniac, p. ex. les amines. Des résultats très préliminaires suggèrent que ces composés peuvent avoir une importante capacité à former des aérosols, vu qu'ils sont dotés de propriétés similaires à celles de l'ammoniac. Si ces résultats peuvent faire l'objet de vérifications à grande échelle, cela aurait un impact sur l'avancement de notre compréhension du rôle que joue l'ammoniac dans l'atmosphère.

SHAO-MENG LI est venue apporter de l'information additionnelle sur la chimie atmosphérique qui provient d'une étude intensive sur la qualité de l'air, qui a été menée en 2001 dans la Vallée du Bas Fraser. Cette étude avait pour objectifs :

- de caractériser les propriétés physiques et chimiques des MP fines dans le smog ;
- de déterminer dans le smog les distributions horizontale et verticale des MP fines et de l'ozone dans l'aire d'étude ;
- de caractériser la zone de transition entre la zone de formation des émissions et celle des MP fines ;
- d'étudier la fraction de MP fines dans la poussière de route ;
- d'élucider les processus en cause dans la formation des AOS et de l'O₃, et le rôle relatif des émissions biogéniques de ces composés par rapport aux émissions anthropiques.

Les objectifs scientifiques ont été arrêtés sur la base des objectifs de l'étude, qui étaient de déterminer le rôle du NH₃ dans la formation des particules fines et d'en identifier les sources dans la Vallée du Bas Fraser. D'autres buts portaient sur l'acquisition d'une meilleure compréhension 1) du rôle limitant qu'exercent le NH₃, le soufre et l'azote dans la formation des AOS, 2) de l'effet de la réduction du NH₃ sur la visibilité 3) et de l'effet de l'accroissement de l'acidité des particules dans les processus de formation. Pour réaliser ces objectifs, les mesures suivantes ont été prises dans cinq sites de surveillance de la qualité de l'air :

(a) mesures au sol :

- *mesures de gaz* : NO_x/NO_y, O₃, COVs, COVOs, SO₂, CO, NH₃
- *identification des caractères chimiques des particules*: identification des espèces inorganiques et organiques, CO/CN, répartition granulométrique de certains constituants, isotopes de S et C, métaux, spectrométrie de masse d'aérosols
- *identification des caractères physiques des particules* : masse totale, noyaux de condensation totale, masse et répartition granulométrique, absorption





(b) mesures météo :

- *mesures météorologiques* : les ballons captifs et la télédétection LIDAR ont fourni les distributions horizontale et verticale des aérosols rétro-diffusés dans la Vallée du Bas Fraser.

D'autres instruments de mesures ont été utilisés, incluant le dénudeur « WEDD », le diode laser accordable (DLA), le tube dénudeur, le séparateur à impacts « MOUDI » et le spectromètre de masse à aérosols (SMA) pour déterminer :

- les variations spatio-temporelles de NH_3 dans les sites d'étude ;
- que les relations entre la concentration moyenne horaire de NH_3 , l'humidité relative et la température n'étaient pas significatives ;
- les mesures aux sites tels que celui au Burnaby South High School où les concentrations mensuelles moyennes de NH_3 pour les années 2000 et 2001 se sont situées entre 0,2 et 2,3 ppb.

L'auteur a travaillé à la phase de séparation entre le NO_3 et le NH_4 dans un site. Il a aussi étudié les variations temporelles des concentrations de NH_4 en fonction du diamètre des particules. Généralement, les particules de gros diamètres avaient de plus petites concentrations de NH_4 . Il y avait des différences considérables dans la teneur en composés organiques, en soufre, en nitrate et en ammonium dans les échantillons qui provenaient de trois sites différents. La teneur en NH_4 s'élevait entre 11 % et 31 % dans les particules.

L'étude a montré que dans la Vallée du Bas Fraser, les concentrations de NH_3 étaient telles que les sites d'adsorption – c'est-à-dire les particules (peu importe leur composition) – se sont trouvés saturés, résultant ainsi en un excès de $\text{NH}_{3(g)}$. Ainsi, le NH_3 ne s'est pas révélé un facteur limitant dans la formation des MP dans cette région. Il est ainsi raisonnable de penser que les particules d'ammonium jouent un rôle important dans la diminution de la visibilité dans cette région.

ROBERT VET a présenté une vue d'ensemble de l'ammoniac et l'ammonium (NH_4^+) atmosphériques et d'émissions de NH_3 produites au Canada. Il a montré des résultats de mesures qui ont été effectuées dans sept sites à travers le Canada au cours des années 1991-1997. Bien que les mesures n'aient pas été prises dans les sites à la même période de l'année, les résultats montrent que les concentrations moyennes dans l'atmosphère avaient eu tendance à diminuer d'ouest (Abbotsford) en est (Kejimikujik). Les concentrations avaient varié entre 0,01 et $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Les concentrations de NH_3 variaient considérablement de jour en jour et étaient généralement plus élevées en été qu'en hiver. Des résultats plus détaillés sur des comparaisons de concentrations entre sites – pour la période allant de février 2001 à octobre 2002 – ont montré que les concentrations avaient été 100 fois plus élevées dans le sud de l'Ontario qu'en Nouvelle-Écosse. Par ailleurs, les mesures prises dans des cours d'école du centre-ville de Toronto ont révélé des concentrations allant de 0,5 à $8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en août 2000. En août 2001, on notait des valeurs de concentrations plus basses dans un secteur résidentiel de Vancouver, soit moins de $2,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Étant donné que les données n'ont pas été collectées à la même année, il est difficile de tirer des conclusions, étant donné que les autres conditions peuvent avoir été différentes.

Au Canada, la composition des $\text{MP}_{2,5}$ varie dans le temps et dans l'espace. Les particules qui se déplacent vers des régions qui émettent plus d'ammoniac y amassent de la masse additionnelle sous forme d'ammonium. La masse de l'ammonium constitue une fraction mesurable des particules fines partout au Canada (10-20 %). Le soufre et l'azote doivent être présents pour qu'il y ait formation de particules d'ammonium. Dans le milieu ambiant, la réduction de NH_3 mène à la diminution de la masse des particules fines, particulièrement en hiver. Les concentrations de nitrates et de sulfates sont fonction de leur localisation géographique et de la saison.

Les connaissances sur le NH_3 sont encore très limitées. Actuellement voici ce qui est connu sur la spatiale de l'ammoniac :

- les émissions d'ammoniac et les retombées humides d'ammonium sont plus importantes dans les secteurs agricoles ;
- malgré le peu d'information disponible, il est plausible de penser que le profil spatial à grande échelle du NH_3 dans l'air ambiant mime le profil des émissions de l'ammoniac;



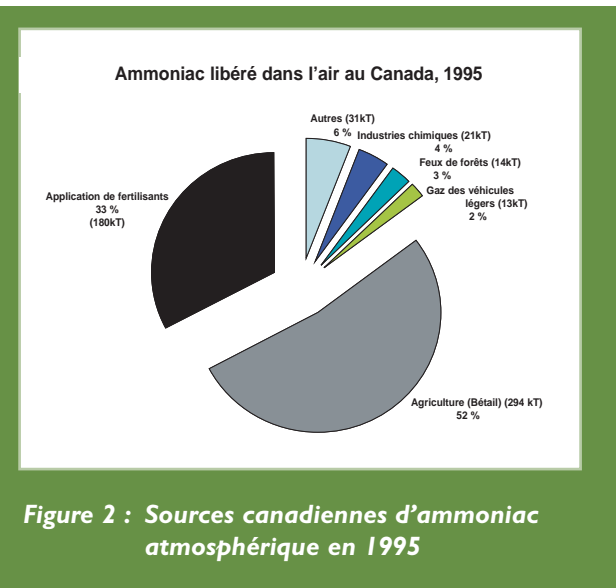
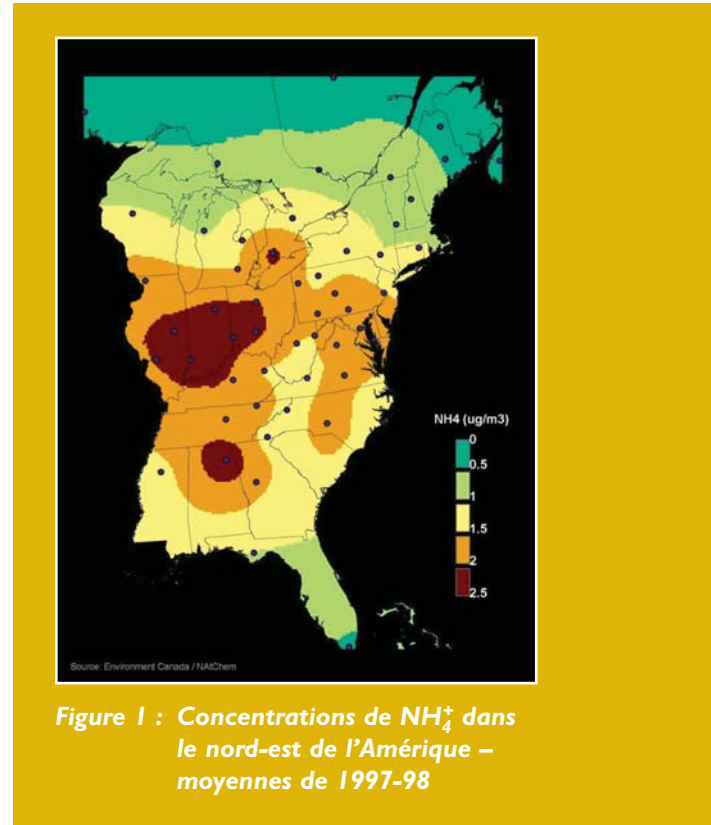
- des certitudes montrent que le $p\text{-NH}_4^+$ est transporté des régions des États-Unis riches en ammoniac vers le Canada ;
- de l'amélioration doit être apportée aux données sur les émissions et sur les retombées atmosphériques.

3.2 Inventaire des émissions et modèles disponibles

SUSAN CHARLES a pour sa part présenté une synthèse de l'inventaire national des émissions atmosphériques pour 1995 qui a été compilé dans le cadre de l'Inventaire des principaux contaminants atmosphériques (PCA), Direction des données sur la pollution. On trouve dans ce rapport les résumés sur les estimations d'émissions d'ammoniac, présentés par sources majeures de pollution aux niveaux national, provincial et territorial. Ce rapport renferme l'un des engagements que le Canada a scellé à l'égard de l'Accord Canada-É.-U. sur la qualité de l'air. Le rapport inclut la liste totale des MP_{10} et des $MP_{2,5}$ inventoriées. On y trouve aussi de l'information sur les émissions produites par 5000 installations et par les sources d'émissions mobiles et ouvertes.

Les sources d'ammoniac captées (18 kT) (figure 2) représentent seulement 3 % de ce qui a été inventorié (553 kT). Les émissions se trouvent principalement dans le corridor Québec-Windsor, dans le sud du Manitoba et dans le corridor Calgary-Edmonton.

Dans le secteur de production du bétail, l'estimation des émissions a été calculée en fonction du nombre d'animaux et des facteurs liés à la production animale (pâturage, stabulation, entreposage, fumier, etc). Ce sont des données d'inventaire de la Grande-Bretagne et des données sur la gestion des fumiers canadiens qui ont été utilisées. Dans le secteur de la production des cultures, les émissions ont été estimées sur la base des quantités de fertilisants vendus dans chaque province et sur le pourcentage de volatilisation de ces produits.



Une large part d'incertitude liée à ces estimations (en moyenne \pm 25 % de précision). Les estimations représentent des moyennes annuelles et non saisonnières, ce qui ajoute à l'incertitude. Dans les plans futurs d'évaluation, les estimations des émissions seront plus précises. Les émissions provenant des parcs d'engraissement seront aussi déterminées avec plus de précision.

Les travaux de Mike Moran en modélisation de la qualité de l'air ont porté sur les processus d'émissions. Les modèles régionaux de qualité de l'air sont mis au point à partir de données liées à la nature des polluants atmosphériques et aux processus qui ont lieu dans l'atmosphère.

(a) Préoccupations régionales actuelles pour ce qui est de la qualité de l'air au Canada :

- retombées acides : SO_x , NO_x , NH_3
- ozone troposphérique : NO_x , COVs,
- matières particulaires : SO_x , NO_x , COVs, NH_3
- substances toxiques dans l'air : Hg, Pb, As, POPs



(b) La mise au point de modèles de qualité de l'air est basée sur des calculs qui portent sur les émissions, la dispersion, le transport, les transformations atmosphériques et sur les retombées sèches et humides. Dans l'élaboration de tels modèles, l'information suivante est requise :

- résolution spatiale, chimique et temporelle des émissions
 - surface quadrillée des émissions
 - sources en altitude
 - résolution temporelle
 - spéciation
 - pouvoir séparateur
- types de sources (anthropique, biogénique, géogénique)
- couverture géographique (Canada, États-Unis, Mexique)
- données météo

Le « Système canadien des processus d'émissions » (*Canadian Emissions Processing System*) transforme les données sur les émissions annuelles des espèces définies selon la liste des PCA (qui provient des inventaires des émissions nationales qui avaient été réalisés à des fins d'établissement de juridictions politiques entre le Canada et les États-Unis) en un ensemble de données rectangulaires, spécifiques, continues temporalisées, et utilisables par les modèles d'émissions en qualité de l'air. Ce système peut aussi modéliser des émissions de sources émises sous certaines conditions météorologiques (p. ex. source de nature biogénique ou véhicules routiers).

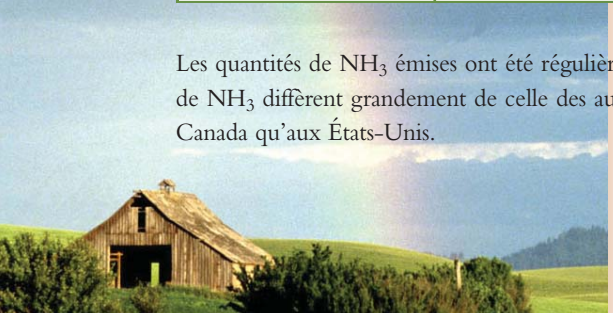
Des codes ont été assignés aux catégories de sources d'émissions sur la base de leur processus de formation ou des activités qui les génèrent :

- Agriculture, 34 codes pour les catégories de sources issues des processus et des activités dans les productions animale et végétale ;
- Temporel (79 profils temporels) ;
- Spatial (15 facteurs d'allocation spatiale établis sur un quadrillage de 20 x 20 km montrant la répartition de la population selon le nombre de maisons et des fragments de régions provinciales) ;
- 12 catégories de territoires utilisés pour diviser les émissions totales entre les sources individuelles qui proviennent de l'agriculture ;
- Facteurs de division : établir une cartographie des émissions de NH₃ d'origine anthropique qui montre les différents types d'émissions et leur distribution spatiale

Les émissions de NH₃ (en tonnes) en provenance des secteurs majeurs d'émissions ont été pour le Canada et les États-Unis :

TYPE DE SOURCE/PAYS	ÉLEVAGE	APPLICATION DE FERTILISANTS	AUTRE	TOTAL
Canada	295	180	79	554
É.-U.	3109	500	623	4232
Total	3404	680	702	4786

Les quantités de NH₃ émises ont été régulières tout au long de l'année. La *figure 3* montre que la distribution spatiale des émissions de NH₃ diffèrent grandement de celle des autres sources de polluants. La contribution relative des fertilisants est plus importante au Canada qu'aux États-Unis.





Les estimations des variations mensuelles des émissions de NH_3 établies par le « Système des processus d'émissions » ont besoin d'être améliorées, particulièrement dans les liens à faire entre le profil d'émissions temporel et la localisation géographique ainsi que dans l'évaluation dans la part de sa dépendance à la température.

SEAN MCGINN a fait son exposé sur les émissions en provenance du secteur agro-alimentaire et sur la méthodologie employée pour les réduire. Il a parlé des nouvelles approches entreprises par l'AAC et comment la nouvelle organisation facilitera la coopération interdépartementale.

La question de la qualité de l'air est l'un des thèmes du Programme national sur l'hygiène de l'environnement. Il est question des contaminants atmosphériques (ammoniac, odeurs, matières particulaires), particulièrement de la réduction des échanges entre l'atmosphère et le système de production agricole.

Des recherches sur le NH_3 sont en cours dans sept sites : Agassiz, Lethbridge, Brandon, Ottawa, Lennoxville, Sainte-Foy et Charlottetown. Les projets portent sur les fertilisants (urée et autres fertilisants inorganiques) et la production animale (laiterie, déchiqueteuse, parc d'engraissement), le pâturage, la stabulation, les odeurs, l'utilisation et l'entreposage du fumier.

Fumier :

- Il devrait être préférentiellement utilisé comme source de nutriments ;
- La réglementation limite les périodes d'application – le fumier doit donc être entreposé plusieurs mois avant d'être épandu, ce qui crée des problèmes ;
- Les sujets couvrent les recherches sur la gestion du fumier de ferme et les techniques d'application. Par exemple, des pertes d'ammonium ont été évaluées pour plusieurs techniques d'application, comme l'épandage en bandes larges (avec 50 % de perte en NH_4^+), l'épandage de surface en bandes sans aération, l'épandage en bandes avec aération (25 % de pertes). Des recherches ont aussi été conduites sur l'équilibre de l'azote et les émissions d'ammoniac du purin en fonction de différents systèmes d'exploitation.

Fertilisants

- L'urée est largement utilisée au Canada parce qu'elle libère l'azote plus lentement que d'autres fertilisants. Cependant, elle a aussi tendance à libérer de l'ammoniac.
- L'Agrotain est un agent inhibiteur de l'enzyme uréase. En se liant avec cette enzyme, il a pour effet de ralentir l'action de l'uréase qui est de convertir l'urée en NH_3 . Bien que les effets de l'Agrotain sur l'uréase se dissipent entre 5 et 14 jours, il augmente la fenêtre dans laquelle les épisodes de pluie peuvent agir, ce qui fait augmenter l'infiltration de l'urée dans le sol.
- À Charlottetown, les travaux ont porté sur l'application d'urée et de nitrate d'ammonium sur le fourrage grossier et sur l'estimation des pertes par volatilisation. Les relations entre l'aération du sol et la volatilisation de l'ammoniac ont aussi été étudiées.

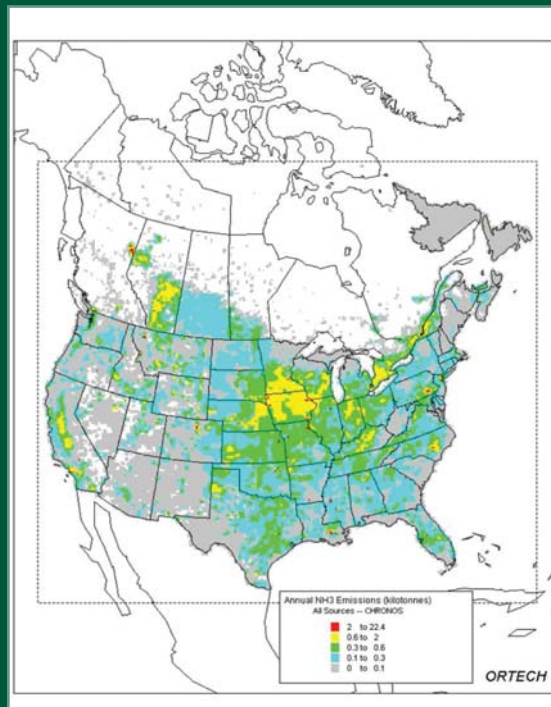


Figure 3 : Émissions nord-américaines de NH_3 de source anthropique – 1990



Production animale (fermes et parcs d'engraissement)

- Des travaux sont effectués sur l'émission des odeurs, l'adsorption/désorption des puits et sur les retombées d'ammonium provenant des parcs d'engraissement.
- Sujets de recherche :
 - gestion du fumier comprenant l'usage d'additifs pour limiter les émissions d'ammoniac ;
 - la dynamique «volatilisation du NH_3 /azote dans le sol» qui suit l'application automnale de purin de porc sur les résidus de cultures de canola ;
 - l'AAC met l'accent sur la nuisance du NH_3 par l'odeur, sa conversion en azote et ses impacts sur l'environnement, mais il n'y a pas d'activités d'inventaires ou d'élaboration de modèles de qualité de l'air.

3.3 Développement d'indicateurs

SHABTAI BITMAN a parlé d'un indicateur de NH_3 , qui compte parmi les indicateurs en développement dans le cadre d'un projet agro-environnemental. Les objectifs généraux du projet sont :

- d'informer les décideurs de l'état de l'environnement afin de les guider dans leurs choix ;
- de montrer les progrès du secteur agro-alimentaire accomplis vers la durabilité ;
- de supporter les stratégies qui visent les aires à risques pour l'environnement.

Les indicateurs potentiels devraient être sensibles aux pratiques de gestion dans les fermes, aux changements dans la gestion de l'utilisation des terres et aux changements technologiques. Ils devraient être capables de refléter l'état du secteur agricole et capables de rendre compte de la formation de particules dans les bassins atmosphériques sensibles.

Les besoins pour le développement d'un indicateur de NH_3 utilisable sont :

- un inventaire des sources d'émissions (Census Canada 2001, Enquête de gestion environnementale à la ferme 2002 [EGEF]), mais il a besoin d'être validé par les experts des provinces et de l'industrie ;
- les facteurs d'émissions (adapter les facteurs d'émissions aux conditions de l'environnement et aux activités qui prévalent dans la région étudiée, en incluant les émissions provenant de l'extérieur du Canada). D'une région à l'autre, il existe une grande variabilité dans les conditions environnementales (climat, saison de végétation, gel/dégel, gradient d'humidité) et des activités (confinement des animaux, absence d'emplacement pour les séjours continus pour le bœuf d'industrie).

Les sources d'ammonium provenant du secteur agro-alimentaire comprennent aussi les fertilisants (urée et ammoniac anhydre), le fumier d'épandage, le pâturage (des taures principalement), les parcs d'engraissement, l'élevage du porc, les poulaillers d'élevage et de ponte, la transformation du fumier et possiblement d'autres résidus issus des terres cultivées.

L'indicateur de NH_3 aidera à identifier les conditions qui présentent des risques importants pour l'environnement (avec une évaluation détaillée sur les émissions d'ammoniac) en vue d'appliquer les mesures appropriées de réduction des risques.





3.4 Présentation des collègues d'autres pays

WILLEM ASMAN, de l'Institut danois des Sciences de l'agriculture a causé sources d'émissions, émissions et retombées atmosphériques (sèches et humides). Les émissions de source agricole constituent les sources majeures d'ammoniac, mais les données à ce sujet demeurent éparées. Les émissions sont difficiles à mesurer parce qu'elles demeurent près du sol en plus d'être en partie influencées par les conditions météorologiques. De plus, tout l'ammonium présent dans l'atmosphère provient des émissions d'ammoniac, c'est-à-dire qu'il n'y a pas d'émissions premières de matières particulaires d'ammonium.

Les réactions entre le NH_3 et les acides atmosphériques (HCl , H_2SO_4 , HNO_3) résultent en la formation de MP. Par contraste avec d'autres types de particules, les particules de chlorure d'ammonium sont susceptibles – à certaines concentrations – de s'évaporer, pour des conditions de température et d'humidité données. Le taux des retombées sèches de ces particules est plutôt élevé : les plants en absorbent quand elles se déposent sur les feuilles mouillées. La vitesse de retombée dépend de la taille des particules, de la vitesse du vent, de la stabilité atmosphérique, de l'humidité et de l'humidité des surfaces touchées. Les retombées sèches sont élevées : (environ 20 % à moins de 500 m de la source) et se déposent très rapidement de la source, parce que la source est peu élevée et le panache de dispersion n'est pas très dilué. Une fois que le NH_3 est dilué verticalement (gradient vertical peu étendu), le taux d'élimination est de l'ordre de 1 % h^{-1} . Une haute résolution verticale est requise pour modéliser les retombées sèches près des sources. La vitesse des retombées dépend aussi de la « rugosité » du couvert végétal c'est-à-dire des étages de végétation « forêt->blé->herbe ». Du coup que le NH_3 est converti en NH_4^+ il peut voyager sur de longues distances ; seules les peuvent l'éliminer.

Les retombées humides d'ammonium se présentent sous la forme de nuages ou de gouttes de pluie. Les modèles sont essentiels pour calculer la contribution des différents processus de formation de l'ammonium dans les précipitations. La plupart de l'ammonium contenu dans les précipitations résulte du piégeage des particules d'ammonium, un processus qui se déroule très rapidement (de l'ordre de 75 % h^{-1}).

Un modèle à haute résolution spatiale ($<1 \times 1 \text{ km}^2$) sur le phénomène de retombée des particules d'ammonium est requis dans les secteurs où les émissions d'ammoniac sont élevées si l'on veut modéliser les larges gradients horizontaux. Cependant, un modèle sur la formation des particules ne nécessite pas une haute résolution. Par ailleurs, il resterait à mettre au point un modèle précis pour les retombées sèches d'ammonium près des sources.

Les inventaires des émissions de NH_3 sont utilisés dans l'élaboration des modèles de transport atmosphérique (données traitées régulièrement sous forme de valeur aux points de grille avec variations temporelles) et pour l'élaboration de politiques (mesures de réduction). Une haute résolution spatiale est seulement requise dans les régions où les émissions sont élevées. Les facteurs d'émissions sont exprimés en émission/animal/année et par kg de fertilisants appliqués/année. Les facteurs varient avec les systèmes de manutention du fumier et donnent seulement une moyenne des émissions pour l'année et non des résultats sur leur l'évolution en fonction du temps.

Les émissions de NH_3 qui proviennent de la stabulation dépendent du système de fonctionnement, des pratiques de gestion et du comportement des animaux. Les émissions de NH_3 attribuables à l'entreposage dépendent de la nature des matières entreposées, du type de couverture employée et de la vitesse du vent. Généralement, les émissions de NH_3 sont faibles au cours de l'application du fumier. Après l'application, l'intensité des émissions dépend : des conditions météorologiques (radiation solaire, température, vitesse du vent, humidité, précipitation) ; du facteur de dilution (la dilution assure moins d'émission) ; des propriétés du sol (pH, capacité tampon, teneur en calcium, capacité d'échange cationique, teneur en eau, porosité du sol, etc.) ; de la quantité de fumier appliquée par hectare ; de la méthode d'application ; du temps écoulé entre l'application du fumier et de son incorporation dans le sol.

Les émissions de NH_3 qui proviennent de l'application des fertilisants dépendent des mêmes variables que pour celles du fumier, auxquelles il faut ajouter la composition chimique du fertilisant employé (pertes provenant de l'urée > autres fertilisants).



Les mesures d'émissions de NH_3 sont effectuées – non par ferme particulière – mais par les différentes provenances inhérentes aux activités successives de la production agricole (stabilisation, entreposage, application, pâturage, etc.). C'est la somme des quantités d'émissions mesurées pour chacune des provenances de différentes études qui donne la quantité globale émise. Cependant, cette manière de calculer peut surestimer les quantités de NH_3 émises. Le pourcentage d'émissions d'azote ammoniacal pourrait donner plus de 100 en additionnant les différents résultats. Une solution à ce problème serait d'utiliser la méthode de conservation de masse et d'exprimer la quantité de N émise en % d'intrants de N par provenance d'émissions. Procéder ainsi permettrait de corriger cette surestimation, le cas échéant.

Il y a encore beaucoup de variables inconnues sur les processus d'émissions. Les variations temporelles observées dans les quantités émises tout au cours de l'année sont bien modélisées, mais ce sont les valeurs moyennes des années qui sont utilisées. Les émissions produites varient en fonction du temps et de l'espace pour un nombre connu d'animaux et d'autres conditions connues. Il est difficile de dresser un portrait général précis sur les émissions pour les décideurs, car les conditions météorologiques varient.

Le *Global Emissions Inventory activity* (GEAI) : L'objectif de ce programme est de dresser un inventaire des émissions, dont les données pourront être utilisées dans les modèles de chimie et de transport atmosphériques. Les émissions sont calculées par animal/année suivant l'équilibre de l'azote observée pour chaque étape de la production de l'animal, allant de son alimentation à l'excrétion puis à l'utilisation du fumier. Les émissions produites à une étape sont influencées par ce qui a été produit à l'étape précédente ; c'est pourquoi il est important de procéder par étapes successives. De plus, les conditions de production peuvent varier d'une région à l'autre. Nous en savons plus sur les conditions qui prévalent en Europe que sur celles qui prévalent dans les pays en voie de développement. En plus des émissions produites par les animaux, d'autres sources doivent être considérées :

- Fertilisants : les émissions dépendent de leur composition chimique, du type de culture et de la température ;
- Cultures : les émissions attribuables aux hautes concentrations de NH_3 dans les plants sont fonction de leur taux de croissance et des conditions météorologiques ;
- Combustion de la biomasse : déforestation, feu de savane, résidus de l'agriculture et autres biocarburants ;
- Océans ;
- Autres sources : combustion de carburant fossile, industrie, excréments humains, animaux sauvages et écosystèmes naturels.

Généralement, l'incertitude associée aux évaluations des émissions est au moins de 25 %. La quantité d'émissions de NH_3 ($53,7 \times 10^6$ tonnes de N an^{-1}) est du même ordre d'envergure que la quantité provenant d'autres émissions d'oxyde de N ($41,8 \times 10^6$ tonnes de N an^{-1}), mais une large fraction de l'ammoniac provient de sources anthropiques.

LOWRY HARPER, du Département de l'agriculture des États-Unis, a aussi discuté mesures d'émissions de NH_3 . Il a rappelé quelles étaient les propriétés de l'ammoniac : 1) il est le constituant alcalin le plus abondant dans l'atmosphère 2) il est hautement soluble et réactif 3) il neutralise les gaz acides 4) il est un précurseur des MP.

Parmi les sources anthropiques d'émissions de NH_3 , l'agriculture est la source la plus importante. Les sources d'origine naturelle comptent pour le tiers. Jusqu'à 50 ppm, le NH_3 a des effets négatifs variés sur les humains et au-delà de cette concentration, il devient dangereux voire létal. À des concentrations de 25 ppm, il peut causer des effets négatifs sur les animaux (perte ou prise de poids, réduction de la résistance aux infections et affection oculaire).

Il existe plusieurs méthodes pour mesurer les émissions de NH_3 : chambres, tunnel aérodynamique (difficulté de vérification de certaines techniques), méthodes micrométéorologiques (covariance des tourbillons, technique du gradient, technique du bilan massique), méthodes de Lagrangian (analyses de dispersion et d'inversion), autres méthodes micrométéorologiques (méthode simplifiée d'accumulation des tourbillons, panache gaussien/dispersion de la bouffée, isotopes et autres techniques de





marquage (isotopes de nutriments, gaz traceurs). Ces techniques ont été évaluées. Les résultats révèlent qu'il y a beaucoup de différences entre les méthodes, particulièrement sur les limites des technologies actuelles.

Les instruments technologiques ont aussi fait l'objet d'évaluation. Les résultats montrent que leur sensibilité est généralement insuffisante ; certains coûtent cher et sont lourds de procédures. Il y a un besoin pour des instruments de mesures peu coûteux et faciles à utiliser. À cet égard, des exemples de méthodes de mesures de l'ammoniac sous ventilation forcée ou naturelle ont été cités. Il y a des besoins en instruments pour la réalisation de projets intégrés et envisagés à long terme.

DAVID CHADWICK, du United Kingdom's Institute of Grassland and Environment Research, a discuté production animale en bâtiment. Au Royaume Uni, les sources majeures d'émissions de NH_3 sont les fumiers épandus et les fermes – qui comptent pour plus de 30 % des émissions, suivies par les fertilisants et les emplacements où circulent les animaux, lesquels comptent pour environ 10 %. Le bétail contribue aux émissions pour 57 %, constituant ainsi la plus grande source de NH_3 . Les flacons d'absorption et les échantillons passifs ont été utilisés pour déterminer les impacts de l'élevage sur le NH_3 émis. Les découvertes clé ont été les suivantes :

- Le fumier liquide libère plus de NH_3 que le fumier solide;
- L'augmentation de la quantité de litière de paille réduit les émissions de NH_3 provenant de la stabulation ;
- Les émissions de NH_3 augmentent avec la durée du séjour des animaux en stabulation; ainsi, la réduction du séjour en stabulation réduirait vraisemblablement les émissions de NH_3 , mais cette réduction peut ne pas être proportionnelle à celle observée pour les séjours réduits en stabulation, étant donné que le bétail produit aussi des émissions dans les pâturages ;
- Les facteurs responsables des émissions ont été déterminés pour différents systèmes de stabulation et pour différentes pratiques de gestion ;
- Le lavage au jet et le raclage réduisent les émissions en stabulation non libre;
- Purin : les émissions augmentent de façon linéaire avec le temps jusqu'à la formation de la croûte;
- Fumier de ferme : la plupart des émissions se produisent en très peu de temps après la formation du tas de fumier.

Il existe des options dans les mesures de réduction pour les systèmes d'entreposage du purin et des lagunes à l'échelle de la ferme, p. ex. utiliser des couvertures pour les réservoirs d'entreposage ou les tas de fumier ou utiliser du matériel capable de former une croûte.

SVEN SOMMER, du Département de recherche sur l'ingénierie agricole du Danemark, a parlé du NH_3 qui provient du fumier produit par le bétail et des techniques de réduction disponibles. Les émissions de NH_3 ne sont pas seulement sources de problèmes environnementaux (p. ex. l'eutrophisation), mais sont aussi responsables de la réduction de la valeur du fumier de bétail comme source de nutriments pour les cultures. Au Danemark, 80 % des émissions de NH_3 proviennent de la production animale et 8 % proviennent des engrais minéraux. Depuis 1980, la réduction dans l'utilisation des engrais a mené à la réduction des émissions de NH_3 .

Plusieurs techniques d'application du fumier, visant à réduire les émissions d'ammoniac, ont été évaluées, le système d'application anti-éclaboussure étant utilisé comme référence :

- Application anti-éclaboussure : sur les cultures et sur le sol, large couverture, infiltration réduite dans l'expérimentation, 17 % du N total appliqué a été perdu sous forme de NH_3 ;
- Application au boyau: le fumier est appliqué sur le sol sous le couvert des cultures. Les cultures absorbent le NH_3 (jusqu'à 25 % du NH_3 émis), l'infiltration dans le sol est améliorée ;
- Application de surface et incorporation : réduit la largeur de l'application ;
- Injection : l'infiltration est améliorée et le contact avec le sol est meilleur ;
- Changement des caractéristiques du purin : une diminution du pH va déplacer l'équilibre NH_4/NH_3 vers NH_4 , mais de grandes quantités d'acide sont requises ;
- Moment d'application : durant la nuit, il y a moins de vent, moins de turbulence et la température y est plus basse : ces facteurs contribuent à réduire les émissions de NH_3 .





4.0 ENJEUX ET PRÉOCCUPATIONS EN RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Les participants à l'atelier de travail sur la science de l'ammoniac gazeux ont été divisés en quatre groupes à la deuxième journée. Dans chaque groupe, il y avait des représentants de chacun des ministères et départements (AAFC, EC-SMC, et EC-SPE) et des scientifiques d'autres pays, ceci afin de faciliter la discussion sur les questions relatives au NH_3 . Les questions entraient dans les catégories suivantes : émissions, modélisation, processus atmosphériques et surveillance, plans économique et politique. Les questions considérées les plus pertinentes par les groupes ainsi qu'un résumé des réponses avancées sont présentés dans leurs grandes lignes. Il faut référer à l'appendice A pour la liste complète des questions.



4.1 Émissions

Savons-nous quelle est la part de NH_3 émise qui provient des différentes sources du système agricole par rapport aux autres sources ?

- L'information disponible sur l'importance relative des émissions et sur la complémentarité des données comprend des lacunes importantes. Il serait hautement bénéfique de déterminer l'impact sur les régions les plus à risque à l'égard de la santé humaine, des cultures, du cycle des éléments nutritifs et de la visibilité, puis de déterminer les pratiques qu'il est possible de modifier sur la base d'une analyse coût-bénéfice.
- Les niveaux de connaissance qui portent sur les aspects du système diffèrent, notamment en ce qui a trait à la stabulation, à l'entreposage du fumier et aux applications de fumier/engrais sur le terrain.
- Les niveaux de base de NH_3 (naturel et du milieu ambiant) sont requis pour déterminer les points chauds au pays.
- Les équipements et installations de mesures doivent fournir des bilans d'azote pour valider les taux d'émissions. Présentement, ce sont les facteurs d'émissions européens qui sont appliqués aux données du Canada. Cependant, il y a aussi lieu de valider si cette stratégie est adéquate d'une part et d'identifier les facteurs d'émissions qui doivent être améliorés d'autre part.

Savons-nous comment réduire les émissions de NH_3 qui proviennent de ces sources ?
Savons-nous comment appliquer les mesures de réduction ?

- Il y a peu d'information concernant l'impact des pratiques de gestion sur les émissions de NH_3 (p. ex. les différences entre les diètes).
- Les stratégies de réduction qui ont été appliquées ailleurs qu'au Canada (p. ex. Europe) devraient être évaluées pour la situation qui prévaut au Canada (dans ses considérations pratiques et économiques) avant d'être mises en application. De plus, les sources provenant des secteurs autres qu'agricole devraient être prises en considération (p. ex. le transport) en matière d'établissement de mesures de réduction. D'un secteur à l'autre, les techniques de réduction diffèrent.
- L'application des techniques de réduction varie en fonction des régions et requiert la collaboration des organismes de réglementation et des personnes chargées de la mise en application.



4.2 Modélisation

Est-ce que nous en savons assez sur le devenir du NH_3 pour comprendre l'échelle d'influence de ses sources d'émission ? Les modèles mis au point à partir de ces connaissances sont-ils fiables ?

- Il y a des efforts de modélisation en cours qui portent sur le comportement de l'ammoniac. Cependant, alors que son comportement chimique est relativement bien compris pour la saison estivale, il l'est moins bien pour la saison hivernale. C'est pourquoi il faut améliorer les connaissances sur le comportement du NH_3 en fonction des variabilités régionales et saisonnières.
- Les connaissances sur le transport du NH_3 à longue et à courte distances sont satisfaisantes.
- La chimie de l'interface atmosphère/sol n'est pas bien comprise. D'autres efforts de modélisation sont requis.
- Trois questions importantes : dans quelle mesure les pratiques de réduction seront-elles efficaces et quel est le coût-efficacité relatif dans les différentes régions du pays ? Où les réductions produiront-elles le plus d'impact ?
- Nous n'avons présentement pas la capacité de mettre en relation modèles de qualité de l'air et systèmes agricoles.

Est-il possible de vérifier si les modèles sont fiables ?

- L'information sur les résolutions spatiale et temporelle des émissions a besoin d'être améliorée de même que les données disponibles qui peuvent être utilisées pour la validation des modèles de qualité de l'air (données de routine à long terme et intensives à court terme).
- Les sources d'ammoniac et les puits peuvent être vérifiés avec la technologie disponible (mesures des flux), mais en général, étendre les réseaux de surveillance peut être requis pour valider la précision des modèles.

Est-il possible de procéder à des inventaires nationaux capables de refléter de façon fiable les pratiques agricoles à la grandeur du pays ?

- Les facteurs d'émissions actuels peuvent ne pas être le reflet précis des pratiques agricoles actuelles; une importante collecte de données est requise afin d'avoir un inventaire plus exact. Les données les moins exactes sont celles qui portent sur les systèmes de stabulation, les pratiques d'alimentation et sur la distribution des animaux.
- Les émissions peuvent présenter des différences entre le Canada et l'Europe, différences attribuables à divers facteurs. L'applicabilité de ces facteurs d'émissions au Canada doit être testée et faire l'objet de vérification.





4.3 Surveillance et processus atmosphériques

En savons-nous suffisamment sur la façon dont le NH_3 influence la formation des MP ambiantes et quelle influence peuvent exercer les scénarios de réduction des émissions de NH_3 sur l'acidité des aérosols et des précipitations au Canada ?

- Nous avons des connaissances sur la formation des MP et savons où se trouvent nos lacunes, mais nous avons aussi une bonne idée sur les façons de les combler. Le processus sur lequel nous en savons le moins est celui qui porte sur les tendances saisonnières et sur le comportement du NH_3 aux températures sous zéro.
- Il est assez difficile de dire comment les scénarios de réduction affecteront l'acidité étant donné que les données de surveillance d'inventaire des émissions et du milieu ambiant sont relativement faibles comparativement aux modèles sur la qualité de l'air.
- Les connaissances sur les retombées sèches sont moins bien avancées; cela nécessite encore du travail.

Est-ce que le réseau de surveillance en place est adéquat pour mesurer efficacement le NH_3 et pour déterminer l'impact des mesures de gestion des risques sur les niveaux de NH_3 dans des régions spécifiques du pays ?

- Il existe un haut degré de variabilité spatiale dans le réseau de surveillance de telle sorte que l'implantation de stations fixes peut ne pas convenir. Les stations devront être implantées près des sources d'émissions et dans la direction du vent afin d'évaluer les effets sur de grandes distances (limitation sulfates par opposition aux nitrates); il y a lieu de réévaluer les principes de design du réseau.
- La surveillance devrait être dépendante de l'échelle si l'on veut mesurer des gradients majeurs de concentrations, en insistant sur les régions peuplées pour connaître les risques d'exposition. L'étude des gradients horizontal et vertical pourraient se révéler importantes.
- Se baser sur un inventaire de données amélioré peut aider à guider les décisions qui concernent le réseau de surveillance. De plus, l'impact du transport à courte distance par rapport à celui à longue distance peut aider à déterminer l'emplacement de stations de surveillance spécifiques.

4.4 Aspects politique et économique

Quels sont les impacts des émissions sur la santé ?

- Les particules d'ammonium représentent un enjeu pour la santé; nous sommes presque sûrs des effets de l'ammoniac gazeux, mais nous n'avons pas d'information quantitative sur les effets des particules d'ammonium sur la santé humaine.
- La recherche directe sur la santé peut être considérée comme un peu en dehors du mandat des deux ministères, EC et AAC, cependant, ces deux ministères devraient tenir compte de ce domaine de recherche, car il pourrait servir à influencer les décisions à long terme en matière de recherche (liens requis avec Santé Canada);





Quelles sont les effets en périphérie des sources d'émissions de NH_3 dans l'environnement ?

- Les gaz acides jouent un rôle important dans les effets en périphérie des sources, comme l'eutrophisation des plans d'eau, la biodiversité, les émissions des gaz à effet de serre, les effets sur la végétation et la visibilité.

Quelles sont les coûts économiques (ou bénéfiques) des mesures de réduction ?

- Aucune recherche n'a été effectuée sur les coûts économiques des mesures de réduction de NH_3 , de sorte qu'une importante lacune existe en cette matière, particulièrement en ce qui a trait aux bénéfices.



4.5 Priorités en matière de projets de recherche potentiels

Dans cette section, il est question des domaines de recherche à explorer pour compléter les réponses aux questions scientifiques qui ont été soulevées au cours de l'atelier de travail de mars 2003. La recherche sur l'ammoniac atmosphérique doit être envisagée à long terme si l'on veut comprendre l'étendue des problèmes et les aborder de manière appropriée. En attendant, les scientifiques appuient l'action immédiate requise du côté politique en déterminant les priorités en recherche. Ces priorités concernent la recherche sur les inventaires d'émissions, la surveillance et les processus atmosphériques, la modélisation et les considérations politico-économiques. Les priorités en matière de recherche à court et à long termes apparaissent dans la liste qui suit, exception faite des projets en modélisation atmosphérique, dont on envisage l'atteinte des buts à plus long terme encore.

1. Inventaire des émissions

Les émissions d'ammoniac résultent essentiellement de l'usage et de la transformation des substances qui contiennent de l'azote; c'est pourquoi le secteur agro-alimentaire constitue la source majeure des émissions de NH_3 . Une fois que nous aurons une meilleure compréhension du NH_3 comme gaz précurseur des MP, notamment en relation avec le secteur agro-alimentaire, nous entamerons l'étape qui consistera à extrapoler cette information à toute autre source d'ammoniac. Les résultats qui proviennent de plusieurs pays en matière d'émissions doivent être validés pour les conditions climatiques du Canada.

Actions à court terme (< 3 ans)

- déterminer les facteurs d'émissions pour chaque pratique agricole, activité et population animale ;
- déterminer les régions susceptibles de modifier leurs pratiques qui peuvent changer les émissions de NH_3 ;
- conjuguer les efforts de recherche se rapportant au cycle de l'azote et à la conservation de masse ;
- saisir les occasions de comparer les inventaires d'émissions provenant de l'étranger avec les procédures canadiennes ;
- comparer les émissions qui proviennent de nos systèmes de culture avec les systèmes européens.

Actions à long terme (3-10 ans)

- connaître l'importance relative des autres sources de NH_3 (p. ex. transport) ;
- déterminer les changements potentiels dans les émissions de NH_3 et leurs effets sur la qualité de l'air ;
- étudier des façons d'améliorer l'efficacité des fertilisants azotés pour réduire les émissions de NH_3 et les gaz à effet de serre ;
- centrer les efforts de recherche dans les régions en se basant sur des études exploratoires;
- pour avoir une vue d'ensemble des études, les appréhender comme un tout et non comme une simple somme de parties ;



2. Processus atmosphériques et surveillance

Quand les polluants qui contiennent du NH_3 sont émis, ils interagissent avec les autres composantes de l'atmosphère. De telles réactions sont en cause dans le transport, la transformation et la production des MP. Les scientifiques comprennent mieux les phénomènes de fréquence d'apparition, d'étendue et de distribution des MP dans le temps et dans l'espace pour le Canada. Il apparaît essentiel de déterminer les émissions et les points chauds (hot spots ou secteurs à forte incidence) pour appuyer adéquatement les décideurs politiques.

À court terme (< 3 ans)

- Augmentation de la surveillance stratégique avec considération des sources exposées aux vents dominants ;
- Évaluation de l'impact de la saison et de la température sur les potentialités de l'ammoniac à former des MP ;
- Amélioration du réseau de surveillance de l'ammoniac (emplacement et nombre de stations) ;
- Surveillance de la spéciation des MP pour comprendre l'impact des émissions de NH_3 sur la composition des MP dans les points chauds et les régions avoisinantes ; importance de surveiller les co-polluants et leurs interactions avec les émissions de NH_3 ;
- Intérêt de comprendre le rôle du NH_3 en tant que précurseur de N_2O ;
- Besoin de recherche pour connaître les effets du climat sur la conversion du NH_3 en MP dans l'atmosphère ;
- Rappports avec la visibilité : comment la composition du NH_4 dans les MP est-elle reliée au changement de visibilité ;
- Comment le NH_3 s'incorpore aux nuages ou aux précipitations ;
- Comment la réduction des émissions d'autres gaz précurseurs (NO_x , SO_x) agit-elle sur la réduction des émissions de NH_3 dans l'atmosphère.

À long terme (3-10 ans)

- Évaluer les gains relatifs de réduction des niveaux de MP en réduisant les émissions de NH_3 , et comparer la réduction par rapport à d'autres émissions (p. ex. les MP primaires) ;
- Comprendre le phénomène du transport transfrontalier ;
- Besoin de comprendre le taux de retombée pour modéliser correctement la qualité de l'air et pour comprendre les changements de biodiversité.

3. Aspects politiques et économiques

Le manque d'information scientifique en ce qui a trait à l'étendue des émissions, les réactions et la distribution de l'ammoniac et des MP atmosphériques limite l'aide que peuvent apporter les scientifiques en matière de politiques. Établir le lien entre l'économie et la gestion écosystémique contribuera au développement de meilleures pratiques de gestion.

À court terme (< 3 ans)

- Des programmes en éducation et en communication devraient être élaborés.

À long terme (3-10 ans)

- Promouvoir l'usage d'un plan environnemental agricole et l'usage de pratiques de gestion qui visent à réduire les risques agricoles qui sont bénéfiques pour la santé de l'air et de l'atmosphère, et particulièrement dans les régions confrontées aux problèmes d'émissions ;
- Mettre au point des pratiques utiles de gestion qui visent à réduire les émissions de sources agricoles, incluant les MP et l'ammoniac gazeux ;
- Développer et utiliser des indicateurs agro-environnementaux pour suivre la performance de la gestion environnementale du secteur agricole dans les régions où il y a des émissions dans l'atmosphère ;
- Concevoir des mesures pour permettre au secteur agricole d'obtenir la reconnaissance et les bénéfices du marché à l'égard de ses efforts en matière de gestion environnementale, y compris un programme de certification.



5.0 CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

Cet atelier a été l'occasion pour les participants de se questionner sur les besoins en gestion des risques de l'ammoniac gazeux et des MP selon la LPCE et les standards pancanadiens. Les participants ont mis l'accent sur la nécessité d'en savoir plus sur les émissions d'ammoniac et de mieux comprendre les processus et transformations en cause dans la formation des MP dans l'atmosphère. La coopération internationale et le réseautage entre collègues à cet atelier ont favorisé le partage des connaissances et ont permis de jeter les assises des relations futures. EC et AAC continueront de collaborer et de supporter l'approche coordonnée fédérale en ce qui a trait aux émissions qui proviennent du secteur agricole. EC et AAC se sont engagés à travailler avec les parties prenantes sur la gestion des risques de l'ammoniac gazeux.



La prochaine plus importante étape est d'élargir le cercle des intéressés à la discussion aux autres niveaux de gouvernement (provincial et municipal), institutions et parties prenantes de manière à amorcer un processus équilibré de gestion des risques appuyé sur des fondements scientifiques. Il est important que toutes les parties prenantes s'engagent tôt dans ce processus de gestion des risques sur les émissions de l'ammoniac gazeux pour l'aide effective qu'elles peuvent y apporter, aide tout autant profitable à elles qu'à tous les Canadiens.





APPENDICE A

ENJEUX	STATUT (1-5, OU EM)*	BESOIN DE RECHERCHE POUR RÉPONDRE AUX ENJEUX (INCLUANT LE DESIGN POSSIBLE, LES RESSOURCES, L'EXPERTISE ET LA LOCALISATION)	
		COURT TERME (<3 ANS)	MOYEN ET LONG TERMES (3 À 10 ANS)
<p>1. Émissions :</p> <ul style="list-style-type: none"> Savons-nous combien de NH₃ est libéré des différents systèmes agricoles (bâtiments d'élevage, entreposage des fumiers, épandage des fumiers au sol, application de fertilisants au sol) et quelle est leur importance par rapport à d'autres sources? Savons-nous comment réduire les émissions de NH₃ en provenance de ces sources? Savons-nous comment appliquer les mesures de réduction ? 		<ol style="list-style-type: none"> 	<ol style="list-style-type: none">
<p>2. Modélisation:</p> <ul style="list-style-type: none"> En savons-nous assez sur le devenir du NH₃ (sur les processus variés liés au transport et aux retombées) pour comprendre l'échelle d'influence des sources d'émission du NH₃ (p. ex. transport local, régional ou à grande distance)? En savons-nous assez pour élaborer des modèles fiables et pour utiliser des intrants d'émission appropriés qui permettent de prévoir les émissions de NH₃ de même que leur potentiel de réduction? Peut-on vérifier la fiabilité des modèles (p.ex. en utilisant des mesures dans l'atmosphère)? Peut-on générer des inventaires nationaux qui reflètent fidèlement les pratiques à la ferme pour tout le pays? 		<ol style="list-style-type: none"> 	<ol style="list-style-type: none">
<p>3. Processus atmosphériques et surveillance:</p> <ul style="list-style-type: none"> En savons-nous assez sur le rôle du NH₃ dans la formation des MP ambiantes (p. ex. croissance des particules, masse des particules et sa relation avec d'autres précurseurs de MP) et comment les scénarios de réduction de NH₃ peuvent influencer l'acidité des aérosols et des précipitations à travers le pays? Est-ce qu'il y a en place un réseau de surveillance adéquat pour mesurer le NH₃ efficacement et pour déterminer l'impact de mesures de gestion des risques sur les niveaux de NH₃ (et la formation de MP) dans des régions spécifiques du pays? 		<ol style="list-style-type: none"> 	<ol style="list-style-type: none">
<p>4. Aspects politique et économique :</p> <ul style="list-style-type: none"> Quels sont les impacts des émissions d'ammoniac sur la santé? Quels sont les effets en périphérie des sources d'émissions de NH₃ ? Quels sont les coûts (ou bénéfiques) économiques des mesures de réduction? 		<ol style="list-style-type: none"> 	<ol style="list-style-type: none">

*1 = nous en savons si peu que cet objectif n'est pas atteignable, même avec davantage de recherche; 5 = nous en savons suffisamment que plus aucune recherche n'est nécessaire; EM = en-dehors de notre mandat



APPENDICE B

**ATELIER DE TRAVAIL SUR LA SCIENCE DE L'AMMONIAC
LES 3 ET 4 MARS, 2003 • DOWNSVIEW, ONTARIO
LISTE DES PARTICIPANTS**

ENVIRONNEMENT CANADA		AGRICULTURE ET AGRO-ALIMENTAIRE CANADA	
NOM	EMPLACEMENT	NOM	VILLE
Keith Puckett	SMC-Downsview	Bonnie Ball Coelho	London
Shao-Meng Li	SMC-Downsview	Shabtai Bittman	Agassiz
Paul Makar	SMC-Downsview	Allan Campbell	Charlottetown
Mike Moran	SMC-Downsview		
Dave MacTavish	SMC-Downsview	Chi Chang	Lethbridge
Robert Vet	SMC-Downsview	Christian de Kimpe	Ottawa
Cristian Mihele	SMC-Downsview	Ray Desjardins	Ottawa
Leiming Zhang	SMC-Downsview	Barry Grace	Summerland
Jason O'Brien	SMC-Downsview		
All Wiebe	SMC-Downsview	Cindy Grant	Brandon
Chul-Un Ro	SMC-Downsview		
Kurt Anlauf	SMC-Downsview	Henry Janzen	Lethbridge
Amy Leithead	SMC-Downsview	Karen Koenig	Lethbridge
Katherine Hayden	SMC-Downsview	Robert Koruluk	Ottawa
Amy Leithead	SMC-Downsview	Daniel Masse	Lennoxville
Jan Bottenheim	SMC-Downsview	Sean McGinn	Lethbridge
Maris Lusic	SMC-Downsview		
Fred Conway	SMC-Downsview	Dale McKeague	Ottawa
Carrie Lillyman	SMC-Downsview		
Heather Morrison	SMC-Downsview	Elizabeth Pattey	Ottawa
Susan Charles	Direction des données sur la pollution, RCN		
John Ayres	Direction des données sur la pollution, RCN	Naveen Patni	Ottawa
Christian Pilon	Programme fédéral sur le smog, RCN	Isabelle Proulx	Ottawa
Tracey Inkpen	Programme fédéral sur le smog, RCN		
Lisa Graham	Centre de technologie environnementale, RCN	Philippe Rochette	Sainte-Foy
Wayne Belzer	Région du Pacifique et du Yukon	Gilles Rousselle	Sainte-Foy
Roxanne Vingarzen	Région du Pacifique et du Yukon	Fernando Selles	Swift Current
Laurie Bates	SMC – Région des Prairies et du Nord	Ted Vanlunen	Charlottetown
Heather Auld	SMC – Région de l'Ontario		
Hong Lin	SMC – Région de l'Ontario		
Fred Hopper	SMC – Région de l'Ontario		
Steve Beauchamp	SMC – Région de l'Atlantique		
		INTERNATIONAL	
		NOM	EMPLACEMENT
		Willem Asman	Institut danois d'Agriculture
		Lowry Harper	Département d'agriculture des États-Unis (USDA)
		Sven Sommer	Département du génie rural Centre de Recherche Bygholm, Danemark
		David Chadwick	Institute of Grassland and Environmental Research, UK



APPENDICE B (Cont...) Travaux d'Environnement Canada liés à l'ammoniac

ÉLÉMENT	PROJET	STATUT
Connaissances et information :	Liste des substances d'intérêt prioritaire, Rapport d'évaluation - Particules inhalables de 10 microns ou moins, Environnement Canada, Santé Canada	Achevé (2000)
Compréhension des processus (chimie des émissions, dispersion et transport, retombée)	Normes nationales de qualité de l'air ambiant Objectifs concernant les matières particulaires : Document d'évaluation scientifique (DES), Santé Canada, Environnement Canada Contribution des précurseurs aux particules fines présentes dans l'air ambiant au Canada Rapport du Service météorologique du Canada (SMC), Environnement Canada Les substances nutritives et leur impact sur l'environnement canadien, Gouvernement du Canada, Janvier 2001	Achevé (1999) Achevé (2001) Achevé (2001)
Modélisation et inventaires	Étude expérimentale sur la visibilité régionale (REVEAL) REVEAL II Étude sur l'ammoniac dans la Vallée du Bas Fraser Initiative sur l'écosystème du Bassin de Georgia Pacifique 2001 L'ammoniac rejeté dans l'air au Canada provenant de toutes les sources, 1995, Division des données sur la pollution, Environnement Canada L'inventaire des émissions atmosphériques d'ammoniac d'Environnement Canada L'inventaire des émissions d'ammoniac dans la Vallée du Bas Fraser L'inventaire national des rejets de polluants	Achevé (1993) Achevé (1994) Achevé (1997) En cours Achevé (2003) Achevé (2001) Achevé (1980, 1993, 1995) Achevé (1999) En cours
Mesure de la performance :	Les données du Réseau canadien d'échantillonnage des précipitations et de l'air (RCEPA) Réseau national de surveillance de la pollution atmosphérique (NSPA)	En cours En cours
Surveillance, indicateurs	Programme canadien de mesure des aérosols acides Programme de mesure des aérosols et de la visibilité de Guelph Concentrations de nutriments dans l'atmosphère du Bassin du Ruisseau Elk Initiative de recherche sur les substances toxiques Étude exploratoire sur l'azote	Achevé (1996) Achevé Achevé (2000) Achevé (2001) En cours
Connaissances et information Compréhension des processus, dispersion et transport, retombée)	Développement d'un prototype de filtre dénué d'accumulation des tourbillons REA, échantillonneur conditionnel pour mesurer les phases particulaires et gazeuses pendant la volatilisation de l'ammoniac Développement de techniques de terrain pour suivre les émissions d'ammoniac	En attente (Elizabeth Pattey) Achevé (Sean McGinn) Référence : McGinn S. M. et H. H. Janzen. 1998. <i>Ammonia sources in agriculture and their measurements.</i> Can. J. Soil Sci. 78: 139-148.
Modélisation et inventaires	PRDE Étude B Émissions d'ammoniac de sols amendés en fumier	Achevé (Sean McGinn) Référence : McGinn, S. M. et R. Pradhan. 1997. <i>Ammonia emissions from manure-amended soils.</i>



APPENDICE B (Cont...) Travaux d'Environnement Canada liés à l'ammoniac

ELEMENT	PROJECT	STATUS
		<i>Rapport final au Programme de Recherche et de Développement de l'Énergie. pp. 29</i>
	Mesure des émissions d'ammoniac provenant des installations pour l'élevage intensif à partir d'une diode accordable à chemin ouvert	Achévé (Sean McGinn) Référence : Bertram, T. Flesch, S. M. McGinn, H., T. Coates, P. Dzikowski et P. Llewellyn. 2001. <i>Measurement of ammonia emissions from intensive livestock facilities by open path tunable diode laser</i> . Rapport final à Environnement Alberta. pp 62.
	Volatilisation d'ammoniac et dynamique de l'azote du sol suivant une application automnale de lisier de porc sur résidus des cultures de canola	Achévé (Philippe Rochette et coll.) Référence : Rochette, P. M. H. Chantigny, D. A. Angers, N. Bertrand et D. Côté. 2001. <i>Ammonia Volatilization and Soil Nitrogen Dynamics Following Fall Application of Pig Slurry on Canola Crop Residues</i> . Can. J. Soil Sci. 81 : 515-523.
	Volatilisation d'ammoniac suivant une application sur un sol loameux de lisier de porc frais et composté en anaérobie	Achévé (Martin Champigny et coll.) Référence : Chantigny, M. H., P. Rochette, D. A. Angers, D. Massé et D. Côté. 2003. <i>Ammonia Volatilization and Selected Soil Characteristics Following Application of Anaerobically Digested Pig Slurry</i> . Soumis au Soil Sci. Soc. Am. J.



APPENDICE B (Cont...) Travaux d'Environnement Canada liés à l'ammoniac

ELEMENT	PROJECT	STATUS
	<p>Volatilisation d'ammoniac suivant une application d'une variété de lisiers de porc sur un sol loameux et un sol sableux sous culture de phléole des prés (<i>Phleum pratense</i> L.). Devenir agronomique et environnemental de lisier de porc marqué au N15 appliqué au printemps sur un sol argileux et un sol sableux cultivés en maïs.</p> <p>Mesure des émissions d'ammoniac de fertilisants d'urée et de nitrate d'ammonium appliqués à une culture fourragère.</p> <p>Mesure des niveaux d'ammoniac dans une installation de production porcine avec des systèmes de gestion des fumiers sous formes liquide et solide.</p> <p>Mesure des niveaux d'ammoniac dans l'entreposage de fumier liquide avec et sans traitements d'additifs</p> <p>Taux de retombée d'ammoniac et ses facteurs de contrôle dans le sol et les eaux de surface dans un secteur contenant du CLO concentré</p> <p>Mécanismes d'entrée du NH₃ dans les agro-écosystèmes près des exploitations d'élevage</p>	<p>En cours (Martin Champigny) En attente (Martin Champigny)</p> <p>Achevé (John MacLeod)</p> <p>Achevé (John MacLeod)</p> <p>En cours (Dan Humik et Allan Campbell)</p> <p>Achevé (Chi Chang et Xiyiing Hao)</p> <p>En attente (Chi Chang et Xiyiing Hao)</p>
Stratégies de réduction	<p>Développement d'un protocole scientifique pour l'évaluation d'additifs au fumier, incluant l'effet sur les niveaux d'émission d'ammoniac</p> <p>Fond de développement de l'industrie du bœuf Canada-Alberta (CABIDF) Étude B Stratégies pour réduire les odeurs du fumier de bœuf dans les parcs d'engraissement et durant l'épandage au terrain.</p> <p>Projet des fermes modèles (2002-2006) : réduction des émissions de méthane attribuables au bétail, incluant une composante ammoniac</p> <p>Quantification des gaz à effet de serre et d'ammoniac produits par un troupeau de vaches laitières et recommandations de techniques de réduction</p> <p>Évaluation des technologies d'oxydation ou de captage du méthane, de l'ammoniac et d'autres gaz provenant de bâtiments d'élevage et d'entrepôts de fumier.</p> <p>Un nouveau design de case de parturition adapté aux températures ambiantes élevées.</p>	<p>En cours (Daniel Massé)</p> <p>Achevé (Sean McGinn) Références : McGinn S. M., et H.H. Janzen. 1998. <i>Ammonia sources in agriculture and their measurements.</i> Can. J. Soil Sci. 78 : 139-148.</p> <p>Achevé (Sean McGinn) Références : McGinn S. M., et Pradhan. 1997. <i>Ammonia emissions from manure-amended soils. Final Report to Energy Research and Development Program.</i> pp 29.</p> <p>En cours (Daniel Massé)</p> <p>En cours (Daniel Massé)</p> <p>En cours (Daniel Massé)</p> <p>En cours (Daniel Massé)</p>



APPENDICE B (Cont...) Travaux d'Environnement Canada liés à l'ammoniac

ELEMENT	PROJECT	STATUS
	Effet de l'inhibiteur de l'uréase NBPT (n-(n-butyl) triamide thiophosphorique ou Agrotain) sur les pertes volatiles d'ammoniac des surfaces d'application d'urée et d'urée-nitrate d'ammonium.	<p>Achévé (Cindy Grant et coll.) Références : Grant C. A., S. Jia, K. R. Brown et L. D. Bailey. 1996. <i>Volatile losses of NH₃ from surface applied urea and urea ammonium nitrate with and without the urease inhibitor NBPT.</i> Can. J. Soil Sci. 76 : 417-419.</p> <p>Rawluk C. D. L., C. A. Grant et G. J. Racz. 2001. <i>Ammonia volatilization from soils fertilized with urea and varying rates of urease inhibitor NBPT.</i> Can. J. Soil Sci. 81 : 239-246.</p> <p>Rawluk C. D. L. 2000. <i>Effect of soil texture, temperature and irrigation on the performance of urea fertilizers amended with the urease inhibitor n-(n-butyl) thiophosphoric triamide.</i> Thèse MSc., University of Manitoba. 127 p.</p>
Mesure de la performance	Méthodes innovatrices pour réduire les émissions d'ammoniac de fumier laitiers épandus sur une pelouse de graminées	Achévé (L. Van Vliet et S. Bittman)
Suivi et indicateur	Développement d'un agro-indicateur d'ammoniac gazeux	En cours (Shabtai Bittman)



RÉFÉRENCES:

- Ackermann, I.J., Hass, H., Memmesheimer, M., Ziegenbein, C., and Ebel, A., *Parameterization of the sulfate-nitrate-ammonia aerosol system in the long-range transport model EURAD*, *Meteorol. Atmos. Phys.*, **57**, 101-114, 1995.
- Agriculture and Agri-Food Canada, *Canadian Fertilizer Consumption, Shipments and Trade, 1995/96*, Farm Input Markets Unit, Farm Income Policy and Programs Directorate, Agriculture and Agri-Food Canada, 1997.
- Agriculture and Agri-Food Canada and Statistics Canada, *Farm Inputs Management Survey, 1995: A Survey of Manure, Commercial Fertilizer and Commercial Pesticide Management Practices on Canadian farms*, Minister of Industry, Ottawa, Ontario, 1996.
- Alfara et al., *Characterization of Organic Aerosols in the Lower Fraser Valley During the PACIFIC 2001 Using Two Aerodyne Aerosol Mass Spectrometers*, (in press).
- Altshuller, A.P., *Atmospheric particle sulfur and sulfur dioxide relationships at urban and nonurban locations*, *Atm. Env.*, **18**, pp 1421-1431, 1984.
- Ansari, A.G., and Pandis, S.N., *Prediction of multicomponent inorganic atmospheric aerosol behavior*, *Atm. Env.*, **33**, 745-757, 1999.
- Asman, W.A.H., *Ammonia emission in Europe: updated emission and emission variations, Report 228471008*, National Institute of Public Health and Environmental Protection, Bilthoven, The Netherlands, pp. 88, 1992.
- Asman, W.A.H., *Parameterization of below-cloud scavenging of highly soluble gases under convective conditions*, *Atmospheric Environment* **29**, 1359-1368, 1995.
- Asman, W.A.H., *Factors influencing local dry deposition of gases with special reference to ammonia*, *Atmospheric Environment* **32**, 415-421, 1998.
- Asman, W.A.H., *Modelling the atmospheric transport and deposition of ammonia and ammonium: an overview with special reference to Denmark*, *Atmospheric Environment* **35**, 1969-1983, 2001.
- Asman, W.A.H., *Die Modellierung lokaler Ammoniak-Depositionen im Umfeld von Stallgebäuden (Modelling local ammonia deposition near livestock buildings, in German)*, Emissionen der Tierhaltung. Grundlagen, Wirkungen, Minderungsmaßnahmen. KTBL-Schrift 406, KTBL-Schriften-Vertrieb im Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster, Germany, 295-319, 2002.
- Asman, W.A.H., *Tropospheric chemistry and composition/Ammonia and ammonium*, Holton, J.R., Pyle, J.A., Curry, J.A. (eds.) *Encyclopedia of atmospheric sciences*. Academic Press, London U.K., Vol. **6**, 2365-2376, 2002.
- Asman, W.A.H. Sutton, M.A., Schjoerring, J.K., *Ammonia: emission, atmospheric transport and deposition*, *New Phytol.* **139**, 27-48, 1998.
- Asman, W.A.H., Drukker, B., Janssen, A.J., *Modelled historical concentrations of ammonia and ammonium in Europe*, *Atmospheric Environment* **22**, 725-735, 1988.
- Asman, W.A.H., Harrison, R.M., Ottley, C.J., *Estimation of the net air-sea flux of ammonia over the southern bight of the North Sea*, *Atmospheric Environment* **28**, 3647-3654, 1994.
- Asman, W.A.H., Janssen, A.J., *A long-range transport model for ammonia and ammonium for Europe*, *Atmospheric Environment* **21**, 2099-2119, 1987.
- Asman, W.A.H., Pinksterboer, E.F., Maas, J.F.M., Erisman, J.W., Wajjers-Ypelaan, A., Slanina J., Horst, T.W., *Gradients of the ammonia concentration in a nature reserve: model results and measurements*, *Atmospheric Environment* **23**, 2259-2265, 1989.
- Asman, W.A.H., Sutton, M.A., and Schjoerring, J.K., *Ammonia: emission, atmospheric transport and deposition*, *New Phytol.*, **139**, 27-48, 1998.
- Asman, W.A.H., van Jaarsveld, J.A., *A variable-resolution transport model applied for NH_x in Europe*, *Atmospheric Environment* **26A**, 445-464, 1992.
- Barthelme, R.J. and Pryor, S.C., *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, 345-353, 1998.
- Bassett, M. and Seinfeld, J.H., *Atmospheric equilibrium of sulfate and nitrate aerosols*, *Atm. Env.*, **17**, 2237-2252, 1983.
- Battye, R., W. Battye, C. Overcash, and S. Fudge, *Development and Selection of Ammonia Emission Factors, Final Report, Prepared for U.S. Environmental Protection Agency by EC/R Incorporated*, Durham, North Carolina, 1994.
- Bertram, H.; Flesch, T.; McGinn, S.M.; Coates, T.; Dzikowski, P.; Llewellyn, P., *Measurement of ammonia emissions from intensive livestock facilities by open path tunable diode laser*, *Alberta Environment Report*. **62** pp, 2000.
- Binkowski, F.S., and Shankar, U., *Regional particulate matter model: Part 1, Model description and preliminary results*, *J. Geophys. Res.*, **100**, 26, 191-209, 1995.
- Bittman, S.; van Vliet, L.; Kowalenko, C.G.; McGinn, S.; Patni, N.; Forge, T.; Hunt, D.E.; Bounaix, F.; Friesen, A., *Surface-Banding with Assisted Infiltration- New Low Disturbance Technique for Applying Slurry on Land*, *Proceedings paper at the IGER N workshop held at Exeter in the UK on Sept. 22-24, 2003.*



- Boundries et al., *Chemical and Physical Processes Controlling the Distribution of Aerosols in the Lower Fraser Valley, Canada, During the PACIFIC 2001 Field Campaign* (in press) 2003.
- Bouwman, A.F., Lee, D.S., Asman, W.A.H., Dentener, F.J., van der Hoek, K.W., Oliver, J.G.J., *A global high-resolution emission inventory for ammonia*, *Global Biogeochemical Cycles* **11**, 561-587, 1997.
- Brook et al., *Towards an Understanding of the Fine Particle Variations in the LfV: Integration of Chemical, Physical and Meteorological Observations* (in press) 2003.
- Buijsman, E., Maas, J.F.M., Asman, W.A.H., *Anthropogenic NH₃ emissions in Europe*, *Atmospheric Environment* **21**, 1009-1022, 1987.
- Chan, C.K., Flagan, R.C., and Seinfeld, J.H., *Water activities of NH₄NO₃/(NH₄)₂SO₄ solutions*, *Atm. Env.*, **26(A)**, 1661-1673, 1992.
- Chantigny, M.H.; Angers, D.A.; Rochette, P., *Fate of carbon and nitrogen from animal manure and crop residues in wet and cold soils*, *Soil Biol. Biochem.* **34**:509-517, 2002.
- Chantigny, M.H.; Rochette, P.; Angers, D.A.; Massé, D.; Côté, D., *Ammonia volatilization and selected soil characteristics following application of anaerobically digested pig slurry* (submitted *Soil Sci. Soc. Am. J.*), 2003.
- Cheng et al., *Characterizations of cis-Pinonic Acid and n-Fatty Acids on Fine Aerosols in the Lower Fraser Valley During Pacific 2001 Air Quality Study* (accepted)
- Clegg, S.L., Brimblecomb, P. and Wexler, A.S., *A thermodynamic model of the system H⁺ - NH₄⁺ - Na⁺ - SO₄²⁻ - NO₃⁻ - Cl⁻ - H₂O at 298.15 K*, *J. Phys. Chem.*, **102**, 2155-2171, 1998a.
- Clegg, S.L., Brimblecomb, P. and Wexler, A.S., *A thermodynamic model of the system H⁺ - NH₄⁺ - Na⁺ - SO₄²⁻ - NO₃⁻ - Cl⁻ - H₂O at tropospheric temperatures*, *J. Phys. Chem.*, **102**, 2137-2154, 1998b.
- Coste, J.H., and Courtier, G.B., *Sulphuric acid as a disperse phase in town air*, *Trans. Faraday Soc.*, **32**, 1198-1202, 1936.
- D'Ans, J., *Zur Kenntnis der Suren Sulfate VII, Sulfate und Pyrosulfate des Natrium, Kalium und Ammonium*, *Z. Allg. Anorg. Ch.* **80**, 235-245, 1913. *Trans: On the knowledge of acidic sulphate VII, Acid sulphate and pyro-sulphate of sodium, potassium and ammonium*, *Journal for Inorganic and General Chemistry*, **80**, 235-245, 1913.
- Dentener, F.J., Crutzen, P.J., *A three-dimensional model of the global ammonia cycle*, *J. Atmos. Chem.* **19**, 331-369, 1994.
- Department of Agriculture, *The System of Soil Classification for Canada*, Queen's Printer, Ottawa, Ontario, 1970.
- Dickson, R.J., and Oliver, W.R., *Emissions models for regional air quality studies*, *Environ. Sci. Tech.*, **25**, 1533-1535, 1991.
- Dzikowski, P.; Bertram, H.; Flesch, T.; McGinn, S.M.; Arendt, A.; Coates, T., *Measuring ammonia emissions from liquid hog manure storage lagoons and land application*, *AARI DF Final Report #980817*. 62 pp, 1999.
- EMEP Task Force on Emissions Inventories, *Joint EMEP/CORINAIR Atmospheric Emission Inventory Guidebook*, First Edition, Volume 2, European Environment Agency, Copenhagen, Denmark, 1996.
- Erismann, J.W., van Pul, A., Wyers, P., *Parameterization of the dry deposition mechanisms for the quantification of atmospheric input to ecosystems*, *Atmospheric Environment* **22**, 1153-1160, 1994.
- Erismann, J.W., Vermetten, A.W.M., Asman, W.A.H., Waijers-Ypelaan, A., Slanina, J., *Vertical behaviour of gases and aerosols: the behaviour of ammonia and related components in the lower atmosphere*, *Atmospheric Environment* **22**, 1153-1160, 1988.
- Fan et al., *Measurement of Organic and Elemental Carbon Associated with PM_{2.5} during Pacific 2001 Study Using an Integrated Organic Gas and Particle Sampler* (under review) 2003.
- Federal-Provincial-Territorial Framework Agreement on Agricultural and Agri-Food Policy for the Twenty-First Century. Available on-line at http://www.agr.gc.ca/cb/apf/index_e.php?section=info&group=accord&page=accord
- Fletcher, C., Fowler, D., Sutton, M.A., Cape, J.N., *Modelling of ammonia and sulphur dioxide exchange over moorland vegetation*, *Quart. J. Roy. Met. Soc.* **125**, 2611-2641, 1999.
- Fuchs, N.A., and Sutugin, A.G., *Highly dispersed aerosols*, *Topics in Current Aerosol Research*, Vol. 2, G.M. Hidy and J.R. Brock, Editors, New York: Pergamon Press, 1-60, 1971.
- Génermont, S., Cellier, P., *A mechanistic model for estimating ammonia volatilization from slurry applied to bare soil*, *Agric. Forest Meteorol.* **99**, 145-167, 1998.
- Gong, S.L., Barrie, L.A., Blanchet, J.-P., Lohmann, U., von Salzen, K., Lesins, G., Jian, J., Lin, H., Girard, E., Leitch, R., Leighton, H., and Chylek, P., *Introduction of CAM - the Canadian Aerosol Module*, *J. Aerosol Sci.*, **29**, Suppl. 1., S1207-1208, 1998.
- Gordon, R.; Patterson, G.; Harz, T.; Rodd, B.; MacLeod, J., *Soil aeration for dairy manure spreading on forage: Effects on ammonia volatilization and yield*, *Can. J. Soil Sci.* **80**:319-326, 2000.
- Grant, C.A.; Jia, S.; Brown, K.R.; Bailey, L.D., *Volatile losses of NH₃ from surface-applied urea and urea ammonium nitrate with and without the urease inhibitors NBPT or ammonium thiosulphate*, *Can. J. Soil Sci.* **76**:417-419, 1996.



- Hanel, G., *The properties of atmospheric aerosol particles as functions of the relative humidity at thermodynamic equilibrium with the surrounding moist air*, Adv. Geophys., **19**, 73-188, 1976.
- Hansson, H.-C., Rood, M.J., Koloutsou-Vakakis, S., Hameri, K., Orsini, D., and Wiedensohler, A., *NaCl aerosol particle hygroscopicity dependence on mixing with organic compounds*, J. Atmos. Chem., **31**, 3, 321-347, 1998.
- Harrison, R.M., Kitto, A.-M.N., *Estimation of the rate constant for the reaction of acid sulphate aerosol with NH₃ gas from atmospheric measurements*, J. Atmos. Chem. **15**, 133-143, 1992.
- Hayden et al., *Gaseous Chemical Characterization of the Lower Fraser Valley Airshed During Pacific*, 2001 (accepted).
- Heitzenberg, J., *Fine particles in the global troposphere: a review*, Tellus, **41B**, 149-160, 1989.
- Houyoux, M.R., Vukovich, J.M., Coats, Jr., C.J. and Wheeler, N.J.M., *Emission inventory development and processing for the Seasonal Model for Regional Air Quality (SMRAQ) project*, J. Geophys. Res., **105**, 9079-9090, 2000.
- Hutchings, N.J., Sommer, S.G., Andersen, J.M., Asman, W.A.H., *Modelling the Danish ammonia emission*, Atmospheric Environment, **35**, 1959-1968, 2001.
- Jacobson, M.Z., *Fundamentals of Atmospheric Modeling*, Cambridge University Press, New York, pp. 656, 1999a.
- Jacobson, M.Z., *Studying the effects of calcium and magnesium on size-distributed nitrate and ammonium with EQUILSOLV II*, Atm. Env., **33**, 3635-3649, 1999b.
- Jacobson, M.Z., Tabazadeh, A., Turco, R.P., *Simulating equilibrium within aerosols and nonequilibrium between gases and aerosols*, J. Geophys. Res., **101**, 9079-9091, 1996.
- Jaeger-Voirol, A., and Mirabel, P., *Heteromolecular nucleation in the sulfuric acid-water system*, Atmos. Environ., **23**, 2053-2057, 1989.
- Janssen, A.J., Asman, W.A.H., *Effective removal parameters in long-range transport models*, Atmospheric Environment **22**, 359-367, 1988.
- Janzen, H.H.; McGinn, S.M., *Volatile loss of nitrogen during decomposition of legume green manure*. Soil Biol. Biochem. **23**:291-297, 1991.
- Junge, C.E. and Ryan, T.G., *Study of the SO₂ oxidation in solution and its role in atmospheric chemistry*, Q. J. R. Meteorol. Soc., **84**, 46-55, 1958.
- Kaplan, N., DeWaters, J.E., Ryan, R., and Novak, J.H., *Development of emissions inventories for evaluation of Eulerian acid deposition models*, Environ. Progress, **14**, 17-24, 1995.
- Kim, Y.P., Seinfeld, J.H., and Saxena, P., *Atmospheric Gas-Aerosol Equilibrium I. Thermodynamic Model*, Aero. Sci. Tech., **19**, 157-181, 1993.
- Kunelius, H.T.; MacLeod, J.A.; McRae, K.B. 1987, *Effect of urea and ammonium nitrate on yields and nitrogen concentration of Timothy and Bromegrass and loss of ammonia from urea surface applications*, Can. J. Plant Sci. **67**:185-192.
- Kusik, C.L. and Meissner, H.P., *Electrolyte activity coefficients in inorganic processing*, A.I.Ch.E. Symp., **173**, 14-20, 1978.
- Laj, P., Facchini, M.C., Orsi, G., Berner, A., Krusiz, C., Wobrock, W., and Hallberg, A., *Experimental evidence for in-cloud production of aerosol sulphate*, Atmos. Environ., **31**, 16, 2503-2515, 1997.
- Lazaridis, M., Skouloudis, K. and Skouloudis, A., *Computer simulation of the transport, formation and dynamics of atmospheric sulfate particles*, Water Air Soil Pollut., **112**, 1-2, 171-186, 1999.
- Lee, D.S., Dollard, G.J., Derwent, R.G., and S. Pepler, *Observations on gaseous and aerosol components of the atmosphere and their relationships*, Water Air Soil Pollut., **113**, 1-4, 175-203, 1999.
- Li, A *Concerted Effort to Understand the Ambient Particulate Matter in the Lower Fraser Valley: The Pacific 2001 Air Quality Study* (in press) 2003.
- MacLeod, J.A.; Grimmett, D.L., *A technique for the determination of NH₃ concentration in soils*, Can. J. Soil Sci., 1997.
- Makar, P.A., Wiebe, H.A., Staebler, R.M., Li, S.M., and Anlauf, K., *Measurement and modelling of particle nitrate formation*, J. Geophys. Res., **103**, D11, 13,095-13,110, 1998.
- McGinn, S.M.; Janzen, H.H., *Ammonia sources in agriculture and their measurement*, Can. J. Soil Sci. **78**:139-148, 1998.
- McGinn, S.M.; Janzen, H.H.; Coates, T., *Atmospheric ammonia, volatile fatty acids, and other odorants near beef feedlots*, J. Environ. Qual. **32**:1173-1182, 2003.
- McGinn, S.M.; Koenig, K.M.; Coates, T., *Effect of Diet on Odorant Emissions from Cattle Manure*. Can. J. Anim. Sci. **82**:435-444, 2003.
- McGinn, S.M.; Pradhan, R., *Ammonia emissions from manure-amended soils, Energy Resource and Development Report*, Ottawa, March. 39 pp, 1997.
- McLaren et al., *Nighttime Chemistry at a Rural Site in the Lower Fraser Valley* (accepted) 2003.
- Meng, Z., Dadub, D., Seinfeld, J.H., *Size-resolved and chemically resolved model of atmospheric aerosol dynamics*, J. Geophys. Res., **103**, 3419-3435, 1998.



- Metzger, S., Dentener, F., Kroll, M., Jenken, A., Lelieveld, J., *Gas/aerosol partitioning II: Global modeling results*, J. Geophys. Res. (in press), 2002b.
- Metzger, S., Dentener, F., Pandis, S., Lelieveld, J., *Gas/aerosol partitioning I: A computationally efficient model*, J. Geophys. Res. (in press), 2002a.
- Moran, M.D. and P.A. Makar, *The nature of the source emissions. In: Precursor Contributions to Ambient Fine Particulate Matter in Canada*, MSC Report, Catalogue No. En56-167/2001E, May, Meteorological Service of Canada, Environment Canada, Downsview, Ontario, 33-84, 2001.
- Moran, M.D., Dastoor, A.P., Gong, S.-L., Gong, W., and Makar, P.A., *Conceptual design for the AES unified regional air quality modelling system (AURAMS)*, Air Quality Modelling and Integration Division, Air Quality Measurement and Analysis Division, Air Quality Research Branch, Atmospheric Environment Service, Downsview, Ontario, 1998.
- Moran, M.D., Scholtz, M.T., Slama, C.F., Dorkalam, A. Taylor, A., Ting, N.S., Davies, D., Makar, P.A., and Venkatesh, S. *An overview of CEPS1.0: Version 1.0 of the Canadian Emissions Processing System for regional-scale air quality models*. Proc. 7th AWMA Emission Inventory Symp., Oct. 28-30, Research Triangle Park, North Carolina, Air & Waste Management Association, Pittsburgh, 1997.
- Mozurkewich et al., *Aerosol Particle Size Distributions in the Lower Fraser Valley: Evidence for Particle Nucleation and Growth* (accepted) 2003.
- Nenes, A., Pandis, S.N., Pilinis, C. *ISORROPIA: A new thermodynamic equilibrium model for multiphase multicomponent inorganic aerosols*, Aquatic Geochemistry 4, 123-152, 1998.
- Nenes, A., Pilinis, C., and Pandis, S.N., *Continued development and testing of a new thermodynamic aerosol module for urban and regional air quality models*, Atm. Env., **33**, 1553-1560, 1999.
- Nenes, A., Pilinis, C., and Pandis, S.N., *ISORROPIA: a new thermodynamic equilibrium model for multiphase multicomponent marine aerosols*, Aquatic Geochem., **4**, 123-152, 1998.
- O'Neil et al., *Optical coherency of Sunphotometry, sky radiometry and lidar measurements during the early phase of Pacific 2001* (accepted) 2003.
- Pain, B.F., T.H. Misselbrook, S.C. Jarvis, B.J. Chambers, K.A. Smith, V.R. Phillips, R.W. Sneath, and T.G.M. Demmers, *Inventory of Ammonia Emission from UK Agriculture*, 1996, MAFF Contract WA0630, 1996.
- Patni, N.K.; Juui, P.Y., *Nitrogen concentration variability in dairy-cattle slurry stored in farm tanks*, Trans ASAE **34**:609-615, 1991.
- Pilinis, C., and Seinfeld, J.H., *Continued development of a general equilibrium model for inorganic multicomponent atmospheric aerosols*, Atm. Env., **32**, 2453-2466, 1987.
- Pilinis, C., Seinfeld, J.H., and Seigneur, C., *Mathematical modeling of the dynamics of multicomponent atmospheric aerosols*, Atm. Env., **21**, 943-955, 1987.
- Pirjola, L., Kulmala, M., Wilck, M., Bischoff, A., Stratmann, F., and Eckhard, O., *Formation of sulphuric acid aerosols and cloud condensation nuclei: An expression for significant nucleation and model comparison*, J. Aerosol Sci., **30**, 8, 1079-1095, 1999.
- Pitzer, K.S., and Kim, J.J., *Thermodynamics of electrolytes 4. Activity and osmotic coefficients for mixed electrolytes*, J. Am. Chem. Soc., **96**, 5791-5707, 1974.
- Pryor et al., *Spatial and temporal variability of high resolution reduced nitrogen concentrations in the Fraser Valley* (accepted) 2003.
- Rawluk, C.D.L.; Grant, C.A.; Racz, G.J., *Ammonia volatilization from soils fertilized with urea and varying rates of urease inhibitor NBPT*, Can. J. Soil Sci. **81**:239-246, 2001.
- Rochette, P.; Chantigny, M.H.; Angers, D.A.; Bertrand, N.; Cote, D., *Ammonia volatilization and soil nitrogen dynamics following fall application of pig slurry on canola crop residues*, Can. J. Soil Sci. **81**:515-523, 2001.
- Russell, A.G., and Cass, G.R., *Verification of a mathematical model for aerosol nitrate and nitric acid formation and its use for control measure evaluation*, Atm. Env., **20**, 2011-2025, 1986.
- Russell, A.G., McRae, G.J., Cass, G.R., *Mathematical modeling of the formation and transport of ammonium nitrate aerosol*, Atm. Env., **17**, 949-964, 1983.
- Russell, L.M., Pandis, S.N., and Seinfeld, J.H., *Aerosol production and growth in the marine boundary layer*, J. Geophys. Res., **99**, 20,989-21,003, 1994.
- Saxena, P., Seigneur, C., and Peterson, T.W., *Modeling of multiphase atmospheric aerosols*, Atm. Env., **17**, 1315-1329, 1983.
- Saxena, P., Seigneur, C., Hudischewskj, A.B. and Seinfeld, J.H., *A comparative study of equilibrium approaches to the chemical characterizations of secondary aerosols*, Atm. Env., **20**, 1471-1484, 1986.
- Scholtz, M.T., Taylor, A., Ivanoff, A., Moran, M.D., Davies, D., Makar, P.A., Venkatesh, S., Cheung, P., and Barton, J., *Application of the Canadian Emissions Processing System, Version 1.0 (CEPS1.0): four case studies*, Proc. 9th AWMA Emission Inventory Symp., AWMA Book VIP-93, Oct. 26-28, Raleigh, North Carolina, Air & Waste Management Association, Pittsburgh, 456-468, 1999.
- Seinfeld, J.H., and Pandis, S.N., *Atmospheric chemistry and physics: From air pollution to climate change*, New York: John Wiley & Sons, Inc., 1326 pp., 1998.



- Shantz et al., *Observations of Particulate Matter at Golden Ears Provincial Park* (accepted) 2003.
- Snyder and Strawbridge, *Meteorological Summary of the Pacific 2001 Air Quality Field Study* (in press) 2003.
- Statistics Canada 1997, *Agricultural Profile of Canada*, Catalogue No. 93-356-XPB. Agriculture Division, Statistics Canada, Ottawa, Ontario, 1996.
- Statistics Canada, *Livestock Statistics*, Catalogue No. 23-603-UPE, Agriculture Division, Statistics Canada, Ottawa, Ontario, 1999.
- Stokes, R.H. and Robinson, R.A., *Interactions in aqueous nonelectrolyte solutions. I. Solute-solvent equilibria*, J. Phys. Chem., **70**, 21 26-2130, 1966.
- Strawbridge and Snyder, *Daytime and nighttime aircraft lidar measurements showing evidence of particulate matter transport into the northeastern valleys of the Lower Fraser Valley, B.C.* (in press) 2003.
- Strawbridge and Snyder, *Planetary boundary layer height determination during Pacific 2001 using the advantage of a scanning lidar instrument* (in press) 2003.
- Sutton, M.A., Asman, W.A.H., Ellermann, T., van Jaarsveld, J.A., Acker, K., Aneja, V., Duyzer, J., Horvath, L., Paramonov, S., Mitosinkova, M., Sim Tang, Y., Achermann, B., Gauger, T., Bartnicki, J., Neftel, A., Erismann, J.W., *Establishing the link between ammonia emission control and measurements of reduced nitrogen concentrations and deposition*. Environ. Monit. Assess. **82**, 149-185, 2003.
- Sutton, M.A., Schjoerring, J.K., Wyers, G.P., *Plant-atmosphere exchange of ammonia*. Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series A 351, 261-278, 1995.
- Tang, I.N. and Munkelwitz, H.R., *Water activities, densities, and refractive indices of aqueous sulfates and sodium nitrate droplets of atmospheric importance*, J. Geophys. Res., **99**, 18801-18808, 1994.
- United Nations Economic Commission for Europe, *Draft Annex: Control Techniques for Emissions of Reduced Nitrogen Compounds, Draft Protocol to the 1979 Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution to Abate Acidification, Eutrophication and Ground-Level Ozone*, 1998.
- Venkatram, A., Karamchandani, P.K., and Misra, P.K., *Testing a comprehensive acid deposition model*, Atmos. Environ., **22**, 4, 737-748, 1988.
- Wexler, A.S., Lurmann, F.W., and Seinfeld, J.H., *Modeling urban and regional aerosols - I. Model development*, Atmos. Environ., **28**, 531-546, 1994.
- Whiticar et al., *Planetary boundary layer height determination during Pacific 2001 using the advantage of a scanning lidar instrument* (under review) 2003.
- Winkler, P., *Observations on acid particles and droplets in the atmosphere in Chemistry of Particles, Fogs and Rain*, Butterworth Acid Precip. Series, v2, pp 161-196, 1984.
- Zdanovskii, A.B., *New methods for calculating solubilities of electrolytes in multi-component systems*, Zhur. Fiz. Kim., **22**, 1475-1485, 1948.
- Zhang, Y., Seigneur, C., Seinfeld, J.H., Jacobson, M., Clegg, S.L., and Binkowski, F.S., *A comparative review of inorganic aerosol thermodynamic equilibrium modules: similarities, differences and their likely causes*, Atm. Env., **34**, 117-137, 2000.
- Zhu, T.; Pattey, E.; Desjardins, R.L., *Relaxed eddy-accumulation technique measuring ammonia volatilization*, Environ. Sci. Technol. **34**:199-203, 2000.