LE PROCÈS DE LA PLUIE

Rapport sur les précipitations
acides et remèdes
envisagés par l'Ontario

Ontario

Ministère
de
l'Environnement

LE PROCÈS DE LA PLUIE

Rapport sur les précipitations
acides et remèdes
envisagés par l'Ontario

Octobre 1980

Ontario

Ministère
de
l'Environnement

Harry C. Parrott, D.D.S.,
Ministre

Graham W.S. Scott, c.r.,
Sous-ministre

Index	Page
EFFETS DES PLUIES ACIDES	
Un problème mondial	1
Effets actuels et éventuels en Ontario	2
Une pollution internationale	2
ASPECTS CHIMIQUES	
Éléments de chimie	3
Pluies acides et pH	3
DÉFINITION DU PROBLÈME	
Groupe consultatif sur la recherche Canada-É.-U.	6
Origine et intensité des rejets — SO ₂ et NO _x	6
Facteurs météorologiques	6
Études des retombées atmosphériques en Ontario	7
Localisation des sources de pollution	7
Centrales électriques aux États-Unis	8
Dépollution par Hydro Ontario et INCO Ltd	9
MESURES PRISES PAR L'ONTARIO	
Programmes de contrôle atmosphérique du ministère de l'Environnement	11
Efforts et stratégie en Ontario	12
Solutions palliatives et solutions vraies — Implications socio-économiques	12
MESURES CONCERNANT LES MILIEUX AQUATIQUE ET TERRESTRE	
Nature des effets aquatiques • Études des milieux aquatiques en Ontario	14
• Effets cumulatifs sur les milieux aquatiques	14
• Analyse de la faune et de la flore aquatiques	15
• Neutralisation artificielle des lacs	16
Effets sur les milieux terrestres et études	17
• Végétation, sols, forêts, bâtiments, structures	18
Effets sur la santé publique	18
Activités scientifiques fédérales/provinciales	18
Annexe "A" • Extraits des rapports du ministère sur les précipitations dans les régions de Muskoka/Haliburton et de Sudbury	20

Index des figures et illustrations	Page
Figure 1. Régions d'Amérique du Nord contenant des lacs sensibles aux précipitations acides	1
Figure 2. Régions de l'Ontario contenant des lacs sensibles aux précipitations acides	2
Figure 3. Échelle des pH	3
Figure 4. Ampleur et répartition des rejets de bioxyde de soufre (SO ₂) dans l'est du continent nord-américain	4
Figure 5. Ampleur et répartition des rejets d'oxydes d'azote (NO _x) dans l'est du continent nord-américain	5
Figure 6. Zones touchées par les pluies acides	20
Figure 7. Principales trajectoires des orages d'été au-dessus des zones de rejets de SO ₂ et de NO _x	21
Figure 8. Principales trajectoires des tempêtes d'hiver au-dessus des zones de rejets de SO ₂ et de NO _x	21
Figure 9. Emplacements des stations de contrôle des pluies acides en Ontario	22
Figure 10. Importance relative des rejets de centrales en 1974-1975 par régions: É.-U., Canada, Ontario	22
Figure 11. Évolution historique des rejets aux É.-U. — SO ₂ et NO _x	23
Figure 12. Prévision des rejets aux É.-U. — SO ₂ et NO _x	23
Figure 13. Production électrique brute d'Hydro Ontario — 1950-1990	24
Figure 14. Rejets de SO ₂ et de NO _x par les centrales à combustible fossile d'Hydro Ontario en 1979	24
Figure 15. Illustration d'un déversoir dans un bassin calibré	25
Figure 16. Courbe illustrant une "Dépression de pH au printemps" — lac Harp, Muskoka (Ontario)	26
Figure 17. Illustration des effets terrestres et aquatiques	27

EFFETS DES PLUIES ACIDES

Le phénomène des précipitations acides, plus connu sous le nom de pluies acides, est considéré par les scientifiques et les gouvernements comme l'un des problèmes de pollution de l'environnement des plus urgents, qui affecte d'immenses surfaces de l'est du continent nord-américain, de l'Europe de l'Ouest et de la Scandinavie.

En Amérique du Nord comme ailleurs, les pluies acides sont dues pour la plus grande part à la pollution par les acides sulfurique et nitrique. Ces acides se forment au cours d'une série complexe de transformations physico-chimiques des polluants. On ne connaît pas encore tous les détails des réactions chimiques impliquées, mais le problème a pour origine le déversement dans l'atmosphère de composés soufrés et azotés, produits de l'activité industrielle humaine et de l'usage des véhicules de transport modernes.

Ces composés polluants du soufre et de l'azote proviennent essentiellement de la combustion de combustibles fossiles tels que le charbon et le pétrole, des rejets atmosphériques des centrales électriques, de la fusion des minerais, du raffinage du pétrole, des fours et chaudières industriels et des véhicules de toutes sortes.

Les précipitations acides sont l'aboutissement d'un cycle en quatre étapes: rejets de composés sulfurés et azotés, transport atmosphérique à grande distance, transformations chimiques et, enfin, retombées des polluants soit par précipitation, soit par dépôt à sec.

Les composés sulfurés et azotés sont progressivement oxydés dans l'atmosphère en bioxyde de soufre (SO_2) et en oxydes d'azote (NO_x) et transportés par les vents et courants atmosphériques de hautes et basses altitudes. Selon les conditions météorologiques, ces polluants peuvent être transportés à des centaines ou des milliers de milles du point de déversement, ce qui laisse amplement le temps aux réactions chimiques de se produire. Les polluants finalement retombent sous forme de "précipitations" (pluie ou neige acidifiées) ou de "dépôts secs" (particules ou gaz) et affectent les sols, la végétation, en particulier les forêts et l'eau.

Cette retombée néfaste en pluie ou en neige acide ou, à un moindre degré, en particules sèches, est l'aboutissement du transport à grande distance de polluants atmosphériques et affecte beaucoup de régions du globe. Il arrive fréquemment que les régions productrices de cette pollution n'en sont pas affectées, soit parce que les retombées ont lieu à grande distance, soit parce que les lacs et sols locaux sont bien tamponnés par la présence d'une roche-mère alcaline ou par la formation de composés alcalins.

Il est maintenant bien connu que les précipitations acides ont des effets écologiques graves, en particulier sur les lacs, les rivières et les piscicultures, les structures et les bâtiments. À long terme, elles pourraient se révéler destructrices pour les forêts et la végétation en général.

Un problème préoccupant à l'échelle mondiale

L'aspect le plus préoccupant des pluies acides est qu'en définitive elles affectent la vie aquatique des lacs et des bassins hydrographiques des régions qui sont quartziteuses ou granitiques plutôt que calcaires. Ces lacs et rivières sont sensibles à l'acidité des apports du fait de leur très faible capacité de neutralisation ou capacité "tampon".

C'est le cas de beaucoup de lacs du bouclier précambrien, en particulier de ceux de Muskoka et d'Haliburton, ainsi que de nombreux autres lacs des régions touristiques du Nord, où l'on ne trouve que peu de calcaire naturel.

FIG. 1
Régions d'Amérique du Nord contenant des lacs sensibles aux précipitations acides

Source: James N. Galoway et Ellis B. Cowling, *Journal of the Air Pollution Control Association* 28 n° 3 (mars 1978)

Depuis le milieu des années 1950, des centaines de lacs de l'est du continent nord-américain (figure 1), de la Scandinavie et de certaines parties de l'Europe de l'ouest sont devenus tellement acides, du fait de leur faible capacité "tampon", que la faune et la flore aquatiques n'ont pu survivre. Les chercheurs du gouvernement de l'Ontario ont constaté que quelque 140 lacs de la province, surtout autour de Sudbury, ont vu disparaître leurs poissons, incapables de se reproduire dans des eaux trop acides. Plus de 200 lacs dans les Adirondacks de l'état de New York et des centaines de lacs dans le sud de la Norvège et de la Suède sont affectés de la même façon.

"Par "tampon", on entend la capacité qu'a une solution à neutraliser ou à stabiliser les apports en ions hydrogène libres responsables de l'acidité. Cette capacité caractérise les régions calcaires ou celles dont le sol a des propriétés alcalines.

De plus, on a constaté que, dans de nombreux lacs bien tamponnés, l'ensemble des alevins de l'année, précieux pour la pêche sportive, pouvait être totalement détruit au printemps par le pic d'acidité dû à la fonte rapide de la neige chargée des polluants accumulés pendant tout l'hiver.

Si beaucoup des effets des pluies acides sur le milieu aquatique sont bien documentés, on commence à peine à rassembler les données concernant d'autres effets éventuels. Il semble bien établi que, si la tendance actuelle à l'augmentation d'acidité se poursuit, il pourrait se produire un blocage ou une perturbation de la croissance des forêts et des récoltes.

Effets actuels et éventuels en Ontario

Si l'état d'acidité des lacs de Scandinavie et des Adirondacks est connu depuis plusieurs décennies, ce n'est que très récemment que l'on a pris conscience de la vulnérabilité de lacs canadiens très éloignés des zones industrielles.

Selon les spécialistes, si les déversements d'acides restent aux niveaux de 1980 ou les dépassent au cours des 10 ou 20 prochaines années, l'Ontario pourrait voir disparaître tout ou partie de la vie aquatique dans

FIG. 2
Zones de lacs sensibles aux précipitations acides

Code	Nombre total de lacs	Surface moyenne par lac (acres)	Pourcentage des lacs sensibles	Nombre de lacs sensibles	Surface totale de lacs sensibles (milliers carres)
1	40 589	58.9	50%	20 295	1 868
2	76 728	98.0	20%	15 346	2 350
3	64 133	130.0	20%	12 827	2 605
Totaux:	181 450			48 468	6.823

quelque 48,000 lacs sensibles, à moins que l'on ne prenne des mesures de dépollution efficaces des rejets dans l'atmosphère (figure 2). Un important programme d'évaluation de l'état des lacs sensibles est actuellement en cours en Ontario (Voir "Étude des milieux aquatiques en Ontario", page 14).

Des milliers de lacs au Québec et dans les provinces de l'Atlantique sont également sensibles à la pollution et nombre d'entre eux sont déjà touchés ou menacés, parce qu'ils se trouvent sur le trajet des polluants venant de l'intérieur du continent.

La gravité de la situation en Ontario et la nécessité de prendre rapidement des mesures de dépollution sont dues à la croissance de l'acidité des précipitations au cours des dernières décennies. L'acidité des pluies a augmenté au point que, dans la partie de l'Ontario située au sud du 50^e parallèle (suivant grossièrement la ligne de partage des eaux), le pH moyen des pluies est inférieur à 5.0. Dans bien des régions de la province, on observe régulièrement des pluies de pH compris entre 4.0 et 4.5 (Voir "Pluies acides et pH", page 3).

On trouvera en détail à la page 14 un exposé sur la nature des effets aquatiques et terrestres des précipitations acides et une liste des études entreprises et des mesures de dépollution des rejets adoptées actuellement par le gouvernement de l'Ontario. On y décrit également les effets des pluies acides sur la santé publique.

Une pollution internationale

Transport atmosphérique des polluants et précipitations acides sont étroitement liés. Le transport sur de longues distances de composés sulfurés et azotés favorise la transformation progressive du bioxyde de soufre et des oxydes d'azote en composés acides.

Les conditions atmosphériques qui règnent dans l'est du continent nord-américain favorisent les mouvements à grande échelle des polluants, tant au Canada qu'aux États-Unis, et leur transport au-delà de la frontière. Le mouvement des polluants est donc un problème régional.

L'Ontario a largement contribué à faire prendre conscience au public de l'existence des pluies acides et de leurs effets dans les deux pays.

En 1978, le ministre de l'Environnement de l'Ontario, M. Harry Parrott déclarait: "Cette internationalisation de la pollution demande, pour que l'on puisse y remédier à long terme, une étroite collaboration entre les pays. Il ne fait guère de doute que les pluies acides en Ontario ne seraient pas réduites sensiblement par la seule élimination des sources de pollution ontariennes, un fait qui montre l'importance pour l'Ontario d'une collaboration entre les États-Unis et le Canada".

A cause de cet aspect international de la pollution atmosphérique, la question des pluies acides crée de nombreux problèmes de réglementation nationale et internationale, car les normes antipollution varient d'une administration à une autre, d'un pays à un autre. C'est ainsi qu'une réglementation lâche sur les rejets de polluants en un point du continent peut avoir un impact direct sur les richesses naturelles en un autre point du continent. Le Canada et les États-Unis étudient donc à l'heure actuelle les moyens d'intégrer et de coordonner les programmes d'études et de réglementation et tentent de passer un accord formel sur les

mesures à prendre pour la réduction de la pollution.

Un premier pas important vers un traité entre les deux pays a été fait le 5 août 1980. Ce jour-là, le ministre canadien de l'Environnement, M. John Roberts, et le secrétaire d'Etat américain, M. Edward Muskie ont signé à Washington une convention déclarant l'intention des deux pays de lutter contre les

pluies acides et de résoudre les problèmes internationaux de la pollution atmosphérique. L'accord prévoit la création de cinq groupes de travail dont la tâche sera de préparer le terrain d'un traité sur la qualité de l'air à négocier en 1982 au plus tard. Ce traité imposera l'application stricte de normes antipollution.

Éléments de chimie

L'acidité de la pluie n'est pas entièrement due à la pollution. La pluie "propre" ou "normale" est légèrement acidifiée par l'absorption de petites quantités du bioxyde de carbone qui est présent dans l'atmosphère. Dissout dans l'eau, le CO_2 forme un acide faible appelé "acide carbonique", similaire à celui présent dans le soda et dans les boissons carbonatées. En outre, la pluie est également acidifiée par des sources de pollution atmosphérique naturelles telles que les feux de forêts et les volcans.

Toutefois, les pluies acides du nord-est du continent nord-américain sont souvent beaucoup plus acides que la pluie normale, du fait des énormes rejets de composés sulfurés et azotés par l'homme.

On estime que, dans la plus grande partie de l'Ontario, les

déversements actuels de bioxyde de soufre sont à l'origine des deux tiers environ de l'acidité dans les précipitations et que les oxydes d'azote sont responsables d'environ un tiers de cette acidité.

Le rythme de transformation des oxydes en acides et le mode de formation des acides dans l'atmosphère au cours du temps font encore l'objet de recherches intensives. L'oxydation peut se produire suivant plusieurs modes ou mécanismes compliqués. Le mode de formation dépend de nombreux facteurs tels que la concentration en métaux lourds dans les particules atmosphériques, l'insolation, l'humidité et la quantité d'ammoniac présent. Par exemple, les métaux des particules atmosphériques, tels le manganèse et le fer, catalysent ou accélèrent la transformation du bioxyde de soufre en ses produits

d'oxydation, en acide sulfurique et en sulfates.

Le mode de retombée des acides avec les pluies ou la neige est appelé "précipitation". Et il existe un autre mode de retombée, celui du "dépôt sec", au cours duquel les particules (telles que les cendres volantes) ou les gaz (tels que le bioxyde de soufre ou l'oxyde nitrique) se déposent sur des surfaces ou sont absorbés par elles. Ces particules ou ces gaz ne sont pas toujours acides lorsqu'ils se déposent. Toutefois, ils peuvent être transformés en acide après contact avec de l'eau de pluie, de la rosée ou des brouillards. Les mécanismes exacts du dépôt sec et ses effets sur les sols, forêts, récoltes et édifices ne sont pas entièrement connus. Il faudra bien des recherches pour pouvoir éclaircir complètement le problème des précipitations et des dépôts acides.

Pluies acides et pH

Les chimistes caractérisent l'acidité ou l'alcalinité d'une solution au moyen d'un paramètre appelé "pH", qui est en fait le logarithme de la concentration en ions hydrogène de la solution, selon une échelle comprise entre 0 et 14 (figure 3). Sur cette échelle, une solution chimiquement neutre a un pH de 7, donc au milieu de l'échelle. Plus la solution est acide, plus le pH est faible. Une diminution de pH d'une unité correspond à une augmentation de la concentration en ions hydrogène d'un facteur 10; cela représente une acidité 10 fois supérieure. Une diminution de pH de 2 unités correspond à une augmentation de la concentration en ions hydrogène d'un facteur 100. Ainsi, une solution de pH 4 est 10 fois plus acide qu'une solution de pH 5, tandis qu'une solution de pH 3 est

100 fois plus acide.

Le pH des pluies normales ou "propres" dans l'est du continent nord-américain est d'environ 5.6, du fait du bioxyde de carbone naturellement présent dans l'atmosphère.

Dans le sud de l'Ontario, dans les régions des lacs Muskoka et Kawartha, on mesure des pH de pluie entre 4.5 et 4.0. La pluie y est donc beaucoup plus acide qu'une pluie "propre". On considère que la faune et la flore aquatiques d'un lac sont en danger lorsque le pH du lac se situe entre 5.5 et 5.0.

On s'inquiète beaucoup du fait que si ces concentrations acides se maintiennent pendant de longues périodes, les écosystèmes aquatiques et terrestre en seront gravement affectés. Les effets de l'acidité subsisteront en effet pendant des années et peuvent même devenir irréversibles.

FIG. 3
Echelle des pH

FIG. 4

Principales zones de rejets de SO₂ dans l'est du continent nord-américain

Ampleur et répartition des rejets de bioxyde de soufre (SO₂) dans l'est du continent nord-américain

Zone géographique	Grammes seconde				
1 Est et ouest de Pittsburg, vallée de l'Ohio		5 Vallée centrale et inférieure de l'Ohio		9 Indianapolis (Indiana)	23 507.3
Virginie-Occ dentale	75 586.0	Virginie-Occ dentale (Clarksburg)	33 863.8	10 Mobile (sud de l'Alabama)	23 352.5
2 Sudbury (Ontario)	43 617.8	6 Est et ouest de Cincinnati, nord du Kentucky	33 514.4	11 Chicago (Illinois)	22 173.7
3 Ouest du Kentucky, Louisville, sud de l'Indiana	41 462.5	7 New York, New Jersey	29 868.1	12 Ouest du Kentucky	21 281.2
4 Toledo (Ohio), Detroit (Michigan)	40 117.7	8 Ouest de l'Illinois, est du Missouri	29 514.9	13 Rouyn-Noranda (Québec)	16 336.0

Une zone géographique est définie par un carré de 160 km par 160 km.

Source Les taux de rejets aux E-U sont tirés de la base de données SURE II et correspondent à la période 1977-1978 pour les sources ponctuelles et à la période 1973-1977 pour les sources diffuses. Les données canadiennes proviennent d'Environnement Canada et représentent les estimations des rejets en 1978 par les grandes sources ponctuelles de SO₂ et en 1974 par les autres sources, ponctuelles et diffuses.

FIG. 5
Ampleur et répartition des rejets d'oxydes d'azote (NO_x)

Principales zones de rejets de NO_x dans l'est du continent nord-américain

Zone géographique	Grammes seconde		
1 New York - New Jersey	52 024.1	6 Cleveland (Ohio) ouest de la Pennsylvanie	15 541.0
2 Chicago (Illinois)	30 867.0	7 Ouest du Kentucky, sud de l'Indiana	12 161.2
3 Toledo (Ohio) - Detroit (Michigan)	25 303.9	8 Est du Missouri, ouest de l'Illinois	11 783.9
4 Est et ouest de Pittsburgh - vallée centrale et supérieure de l'Ohio	23 132.7	9 Toronto (Ontario)	11 078.1
5 Cincinnati (Ohio) - nord du Kentucky	16 536.6	10 Sud de la Louisiane	10 117.8

Une zone géographique est définie par un carré de 160 km par 160 km

Source: Les taux de rejets aux E-U sont tirés de la base de données SURE II et correspondent à la période 1977-1978 pour les sources ponctuelles et à la période 1973-1977 pour les sources diffuses. Les données canadiennes proviennent d'Environnement Canada et représentent les estimations des rejets en 1978 par les grandes sources ponctuelles de SO_2 et en 1974 par les autres sources, ponctuelles et diffuses

DEFINITION DU PROBLÈME

Groupe consultatif sur la recherche Canada-É.-U. (Transport à distance de polluants atmosphériques)

Le "Canada-United States Research Consultation Group on the Long-Range Transport of Air Pollutants (LRTAP)" a été créé en 1978 par les deux gouvernements afin de coordonner les études et les programmes de recherche et d'accélérer l'échange d'informations scientifiques.

Dans un rapport préliminaire d'octobre 1979, le groupe souligne que la nocivité des polluants transportés sur de longues distances est due à l'accumulation de composés faiblement concentrés au cours d'une longue période et aux effets synergiques ou additifs des divers composés en présence. Par contre, dans le cas de la pollution locale, les dommages ou effets nocifs ou désagréables sont dus habituellement à de fortes concentrations dans l'air ambiant pendant une courte période. Les normes courantes de qualité de l'air ne permettent pas de mesurer les effets cumulatifs à long terme, plus subtils.

Origine et intensité des rejets*

Le récent rapport du groupe donne, pour 1975, des estimations des rejets de bioxyde de soufre et d'oxydes d'azote dans les deux pays, accompagnées de cartes montrant la répartition géographique des points de rejets (figures 4 et 5).

Le rapport s'intéresse surtout à l'est du continent nord-américain, qui comprend les principaux centres industriels des deux pays et dans lequel se trouvent la plupart des écosystèmes aquatiques sensibles aux précipitations acides. Par exemple, les trois quarts des rejets totaux de SO₂ et les deux tiers des rejets totaux de NO_x au Canada ont lieu à l'est de la frontière Manitoba/Saskatchewan.

Les déversements annuels de bioxyde de soufre (SO₂) étaient estimés à 5.5 millions de tonnes au Canada et à 28.5 millions de tonnes aux États-Unis. Le rapport prévoit de modestes augmentations des rejets de SO₂ à la fin du siècle, malgré les mesures de dépollution. Toutefois, ces prévisions deviendraient caduques si le gouvernement des États-Unis décidait de convertir certaines grandes centrales électriques du pétrole/gaz au charbon, sans équipement de dépollution adéquat.

Les déversements annuels d'oxydes d'azote (NO_x) ont été estimés à 2.1 millions de tonnes au Canada et à 24.4 millions de tonnes aux États-Unis. On prévoit d'importantes augmentations de ces rejets si l'utilisation des combustibles fossiles continue de croître, en particulier aux États-Unis beaucoup plus peuplés.

Les tendances qui apparaissent dans les chiffres montrent que les oxydes d'azote vont contribuer de plus en plus à acidifier les précipitations. Les méthodes et techniques actuelles de lutte contre la pollution peuvent réduire le total des rejets de SO₂. On met

actuellement au point des techniques nouvelles de réduction des rejets de NO_x par des sources fixes.**

Le rapport conclut que les deux tiers environ des composés sulfurés rejetés dans l'atmosphère dans l'est du continent nord-américain s'y déposent et que le reste quitte les régions de rejet, en particulier vers l'est. Dans l'est du Canada, les deux tiers environ du soufre se déposent au cours de précipitations et le reste se dépose au cours de périodes sèches.

Le rapport ne cherche pas à relier les précipitations ou leurs effets en des points spécifiques à des sources particulières, car ses conclusions reposent largement sur l'étude de modèles d'atmosphère. Il est très important maintenant de procéder à des mesures des retombées, ce qui sera fait lors des rapports ultérieurs. Certaines études s'attachent actuellement à mieux comprendre le comportement des composés azotés et sulfurés dans l'atmosphère.

Facteurs météorologiques

Ce sont le climat et les vents dominants qui décident essentiellement de l'ampleur des échanges de polluants entre les États-Unis et le Canada. C'est pourquoi les deux pays travaillent à améliorer leurs techniques de prévisions météorologiques au moyen de modèles pour mieux évaluer la relation entre sources de pollution et points de retombée.

Le rapport du groupe Canada-É.-U. montre que le flux net du soufre est sud-nord à travers la frontière canadienne. En moyenne sur une année, trois à quatre fois plus de soufre passe des États-Unis au Canada que du Canada aux États-Unis. Selon le rapport, la quantité de soufre émis aux États-Unis et parvenant au Canada est équivalente au total des rejets canadiens en volume, soit environ 5.5 millions de tonnes (figures 7 et 8).

Les estimations fournies par le rapport reposent largement sur l'étude de modèles d'atmosphère, méthode d'analyse constamment améliorée dans sa conception et dans sa précision. Entre-temps, on a implanté dans tout l'est du continent un matériel de contrôle et des instruments destinés à mesurer et à analyser l'acidité spécifique des pluies locales afin de mieux localiser les sources de pollution.

Les travaux de surveillance, de recherche et d'étude de modèles informatiques, effectués dans les deux pays sont particulièrement utiles pour les programmes de réduction des rejets de soufre par des sources fixes.

En dehors des rejets de combustion des centrales électriques et des industries, les véhicules de transport constituent la plus grande source de rejets d'oxydes d'azote. Ces rejets sont donc plus difficiles à réglementer et requièrent une réglementation stricte et des normes serrées de conception des moteurs à combustion interne.

Une fois que l'on connaît les sources ponctuelles ou diffuses de pollution et les données météorologiques pertinentes et que l'on dispose de points de mesures des retombées et de leurs effets, les données obtenues peuvent servir à établir des stratégies de réduction de la pollution. On peut déterminer celles des sources de

* Les tonnages indiqués dans le rapport sont exprimés en tonnes courtes ou "standards".

** Voir le résumé de recherche "Controlling Nitrogen Oxides", U.S. EPA Office of Research and Development (EPA-600/8-80-004), publié en février 1980.

pollution qui ont un effet sur une zone sensible spécifique, ainsi que la contribution de chaque source à cet effet. Il est possible alors d'établir quelles zones sensibles bénéficieraient d'une réduction de la pollution en provenance de ces sources.

Études des retombées atmosphériques en Ontario

Au printemps de 1980, on a créé dans la province deux nouveaux réseaux de 45 stations de contrôle pour mesurer les retombées et identifier les sources de pluies acides (figure 9).

Ces stations de contrôle sont particulièrement importantes dans le cadre des recherches en cours en Ontario pour déterminer les quantités de précipitations acides (pluies et neige) et les retombées de particules sèches dans les zones sensibles et dans les autres parties de la province et pour mesurer leurs effets sur l'environnement.

Ce programme permettra également de mieux cerner la contribution relative des diverses sources continentales à cette pollution. Les réseaux de contrôle, appelés "Atmospheric Deposition Studies" du ministère de l'Environnement de l'Ontario, sont l'un des nombreux moyens d'enquêtes scientifiques utilisés actuellement dans le cadre des études des précipitations acides en Ontario (APIOS).

Ces deux nouveaux réseaux viennent compléter le réseau actuel, à l'échelle de l'Ontario, qui comprend plus de 1,400 instruments, et qui constitue l'indice de pollution atmosphérique et le système d'alerte. Ce système permet au ministère de l'Environnement d'agir sur les niveaux de pollution atmosphérique en imposant une réduction des rejets de SO_2 et de particules dans l'atmosphère (page 11).

S'ils sont complémentaires, ces deux réseaux fournissent des renseignements de types différents. L'un d'eux est destiné à échantillonner les précipitations et les retombées de particules au jour le jour. L'autre est un réseau d'échantillonnage "cumulé" des précipitations et retombées de particules portant sur un mois. Les deux réseaux recueillent les précipitations humides et sèches. Tous les échantillons recueillis sont analysés par les laboratoires du ministère à Toronto grâce à un matériel spécial qui permet de détecter les faibles niveaux de contamination atmosphérique.

Réseau "journalier"

Le réseau "journalier" se trouve limité aux voisinages de London, de Dorset et de Kingston, chaque centre comportant cinq points de prélèvement ou de surveillance groupés dans un rayon de cinquante à cent kilomètres. Dorset fait partie du réseau parce que d'importantes études sur les pluies acides y sont actuellement en cours. Les centres de London et de Kingston ont pour but de renseigner sur la contribution des principales sources du nord-est du continent aux précipitations acides locales.

Ce réseau utilise un matériel extrêmement sensible en chacun des 15 points de surveillance pour la mesure des polluants atmosphériques. Les instruments sont conçus spécifiquement pour échantillonner les composés sulfurés et azotés, particuliers et gazeux, pendant une période de vingt-quatre heures.

Combinées aux données météorologiques correspondantes, telles que les observations à la surface et en altitude, les données journalières, obtenues par ces centres, facilitent l'identification des grandes sources continentales de pollution qui contribuent aux précipitations acides en Ontario. Les données météorologiques requises parviennent directement au ministère grâce à une liaison informatisée avec le Service de l'environnement atmosphérique d'Environnement Canada.

Réseau "mensuel"

Le réseau "mensuel" est constitué de 30 stations réparties depuis la région de Windsor jusqu'à la région de Kenora, dans le nord-ouest, et la Baie James, dans le nord-est; le long de la rivière des Outaouais, vers le sud, et vers l'ouest en divers points dispersés du sud de l'Ontario.

Chacune de ces stations de contrôle est équipée de collecteurs automatiques pour mesurer les précipitations et les retombées cumulées. Les échantillons sont recueillis chaque mois pour les analyses de laboratoire. En outre, 20 de ces stations sont équipées d'instruments permettant d'obtenir des échantillons mensuels de sulfates, nitrates et ammonium particuliers et de SO_2 gazeux dans leur voisinage immédiat.

Ensemble, les deux réseaux de contrôle permettent aux spécialistes d'obtenir les renseignements nécessaires sur l'étendue et l'intensité des précipitations acides dans toutes les régions de la province.

En appliquant ces données aux renseignements recueillis lors de ses études axées essentiellement sur les régions vulnérables de Muskoka/Haliburton et de Sudbury, le ministère de l'Environnement de l'Ontario espère pouvoir extrapoler à des régions très dispersées de la province les résultats obtenus concernant le rythme de détérioration des lacs par les pluies acides.

Localisation des sources

Les centrales électriques et les industries responsables des principaux rejets de SO_2 et de NO_x dans chaque pays sont citées dans le rapport du groupe Canada/É.-U. d'octobre 1979. Ces secteurs polluants et les quantités estimatives de leurs rejets mettent en évidence les différentes combinaisons de sources polluantes de chaque pays et montrent aussi où imposer des mesures de dépollution.

Rejets de SO_2

Les centrales électriques constituent la plus grosse source humaine de SO_2 aux États-Unis (environ les deux tiers des rejets), déversant 18.6 millions de tonnes de SO_2 par an dans l'atmosphère. Au Canada, les centrales électriques ne rejettent au total qu'environ 0.7 million de tonnes de SO_2 . Quant à l'Ontario, les rejets par cette industrie sont inférieurs à 0.5 million de tonnes.

L'industrie des métaux non ferreux constitue la plus grosse source de SO_2 du Canada, avec 2.4 millions de tonnes, ou plus de 40% du total canadien. Aux États-Unis, cette industrie rejette 2.8 millions de tonnes de SO_2 . L'industrie ontarienne déverse environ la moitié du total canadien; la principale source ontarienne est le complexe métallurgique et minier de la région de Sudbury.

Rejets de NOx

Environ la moitié des rejets d'oxydes d'azote en Amérique du Nord provient des transports: voitures, camions, trains et avions. L'autre moitié est due aux centrales électriques et à diverses sources de combustion.

Aux États-Unis, les centrales électriques sont responsables d'environ un tiers de tous les rejets d'oxydes d'azote, soit 6.8 millions de tonnes par an, contre seulement 0.2 million de tonnes par an au Canada. Ces chiffres reflètent la capacité relative supérieure de production d'énergie hydro-électrique et nucléaire du Canada par rapport aux États-Unis (dépendant plus du charbon). Près de 20% des rejets totaux de NOx au Canada, soit 0.06 million de tonnes, sont attribuables aux centrales électriques ontariennes.

Dans les deux pays, les rejets de NOx par l'industrie des métaux non ferreux sont négligeables.

Centrales électriques aux États-Unis

Selon les rapports du groupe Canada/É.-U., les rejets de bioxyde de soufre sont particulièrement concentrés dans la vallée supérieure de l'Ohio (est de l'Ohio, nord de la Virginie-Occidentale et ouest de la Pennsylvanie) où un certain nombre de centrales importantes utilisent du charbon à haute teneur en soufre, pratiquement sans contrôle des rejets de SO₂ (figure 10).

Les rejets de soufre aux États-Unis par les centrales électriques ont pratiquement quadruplé au cours des vingt-cinq dernières années (figure 11).

Du fait du rôle accru réservé au charbon comme source d'énergie aux États-Unis, il est indispensable de réduire les rejets de SO₂ et de NOx tant par les centrales actuelles que par les quelque trois cents nouvelles centrales qui seront construites aux États-Unis au cours des années 1980 et 1990.

Les lois adoptées aux États-Unis en 1972 exigeaient l'installation de systèmes de dépollution dans toute centrale au charbon construite après 1975. Adoptée en 1979, une autre loi exige aussi dépoussiérage et dépollution pour les combustibles à faible teneur en soufre. Toutefois, ces dispositions ne s'appliquent pas aux centrales existantes. L'urgence de mesures importantes de réduction des rejets par les centrales vieillissantes a été soulignée par l'administrateur de l'agence pour la protection de l'environnement (EPA), M. Douglas M. Costle, à l'occasion d'un discours devant la "National Association of Regulatory Utility Commissioners" réunie à Atlanta, Georgie, en décembre 1979.

Lors d'une allocution devant la "Air pollution Control Association", à Montréal, en juin 1980, M. Costle a déclaré:

"Nous savons tous que nombre d'usines vieillissantes, en particulier les centrales électriques, sont peu ou pas du tout dépolluées. Les nouvelles installations, par contre, seront "propres". En fait, si nous pouvions attendre 30 ou 40 ans, les rejets polluants diminueraient inévitablement à mesure que les vieilles usines seraient remplacées par de nouvelles. Il faut que tout le monde sache bien que, du point de vue de l'environnement, nous ne pouvons pas nous permettre d'attendre aussi longtemps. Aujourd'hui, les calendriers d'arrêt des vieilles usines sont prolongés et non raccourcis. Entre-temps, la base industrielle continue de croître et avec elle l'ampleur des précipitations acides."

Selon les prévisions de pollution atmosphérique de l'EPA, les rejets d'oxydes d'azote aux États-Unis auront augmenté d'environ 50% en l'an 2000. Actuellement, les rejets de NOx aux États-Unis sont voisins des rejets de SO₂ et devraient les dépasser (figure 12).

La combustion du charbon produit davantage de NOx que celle du pétrole ou du gaz. Selon un rapport de recherche de l'EPA, publié en février 1980, les sources fixes compteront pour 70% des rejets de NOx aux États-Unis en 1985, une augmentation très importante par rapport au pourcentage actuel. L'EPA attribue cette augmentation excessive à l'utilisation croissante du charbon dans les centrales électriques et les usines.

L'aide de \$10 milliards proposée par le Président Carter pour aider à convertir certaines centrales électriques du pétrole ou du gaz à d'autres combustibles, en particulier au charbon, accentuera encore le problème des pluies acides en Nouvelle-Angleterre et dans l'est du Canada. En vertu de cette proposition, le gouvernement fournirait une aide de \$3.6 milliards en subventions, portant sur dix ans, pour convertir au charbon 80 centrales électriques spécifiquement désignées et \$6 milliards supplémentaires pour aider les compagnies d'électricité à réduire leur utilisation de pétrole et de gaz. Enfin, les \$400 millions restants seraient affectés à la réduction des rejets polluants qui favoriseraient les pluies acides.

À cause des possibilités importantes de dommages sur son territoire, le Canada s'oppose à la conversion au charbon des centrales électriques qui ne sont pas concernées par les règlements de dépollution fédéraux américains. Du point de vue de l'Ontario, ces conversions aggraveraient considérablement le problème de pluies acides dû à la disposition de la loi

Principales sources humaines de SO₂ et NOx (millions de tonnes courtes par an)*

Rejets de soufre (SO₂)

Total		Centrales électriques		Fusion de métaux non ferreux		Autres industries	
É.-U.	Can.	É.-U.	Can.	É.-U.	Can.	É.-U.	Can.
28.5	5.5	18.6	0.7	2.8	2.4	7.1	2.4
34.0		19.3		5.2		9.5	

Rejets d'azote (NOx)

Total		Centrales électriques		Transports		Autres types de combustion	
É.-U.	Can.	É.-U.	Can.	É.-U.	Can.	É.-U.	Can.
24.4	2.1	6.8	0.2	10.9	1.3	6.7	0.6
26.5		7.0		12.2		7.3	

*Source des estimations (1975): rapport d'octobre 1979 du Canada-U.S. Research Consultation Group.

américaine intitulée "U.S. Clean Air Act" qui dispense les usines actuelles des exigences de la loi. La conversion de ces centrales vieillissantes au charbon augmenterait de 16% les rejets de SO₂ dans l'ensemble des États-Unis.

Le 8 avril 1980, à Dallas, au Texas, le premier ministre de l'Ontario, M. William G. Davis, déclarait ce qui suit:

"Nous ne considérons pas que le recours massif au charbon, selon des techniques anciennes, constitue un moyen acceptable pour réduire l'utilisation du pétrole et du gaz naturel par les centrales électriques. C'est pourquoi, nous sommes extrêmement inquiets de la décision prise par votre gouvernement fédéral de faire adopter des règlements destinés à faciliter la conversion au charbon de 107 centrales électriques, sans dépollution adéquate."*

Les pluies acides résultant de l'adoption de ce programme accentueront sérieusement l'un des plus graves problèmes auquel doit faire face l'environnement sur notre continent.

Sans vouloir chercher à imposer nos lois, ni nos méthodes à un autre pays, nous estimons cependant que les États-Unis doivent s'efforcer de diversifier davantage leurs approvisionnements en énergie, de rechercher des sources de remplacement qui, au total, auront un effet moins grave sur l'environnement qu'un recours persistant aux combustibles fossiles, en particulier qu'une conversion massive au charbon.

Nous avons déjà fait connaître notre position à ce sujet à votre gouvernement national et nous continuerons d'exprimer notre grave préoccupation.

La plupart des centrales désignées spécifiquement pour être converties au charbon se trouvent situées dans le nord-est et constituent un énorme danger pour des milliers de rivières et de lacs canadiens."

Programmes de dépollution d'Hydro Ontario et d'INCO

Les centrales d'Hydro Ontario produisent de l'électricité pour la province en utilisant, en proportions à peu près égales, énergie nucléaire, combustibles fossiles et énergie hydraulique. Chaque mode de production compte pour environ un tiers de la production totale d'électricité (figure 13).

À compter de 1970, la production d'électricité à partir du charbon a augmenté sensiblement dans la province, ce qui a provoqué un accroissement des rejets de SO₂ ainsi que de NO_x par les centrales d'Hydro Ontario. Ces rejets devraient atteindre un plafond en 1981-1982, puis diminuer à mesure que l'énergie nucléaire prendra une place de plus en plus grande dans la production totale d'énergie par Hydro Ontario. Les rejets combinés actuels de SO₂ et de NO_x par les centrales d'Hydro Ontario atteignent au total 0.5 million de tonnes. En 1979, ces rejets représentaient environ 30% des déversements de SO₂ et 20% des déversements de NO_x en Ontario (figure 14).

La production de SO₂ par kWh à partir du charbon a diminué régulièrement au cours de cette période grâce à l'utilisation de charbon plus propre et à une augmentation du rendement.

Un facteur important pour limiter les rejets de SO₂ par Hydro Ontario est l'habitude prise par cette société d'exiger de ses fournisseurs du charbon lavé. Cette habitude seule permet de réduire les niveaux de soufre de 15 à 20%. Une autre pratique générale d'Hydro Ontario est d'encourager l'utilisation de combustibles à faible teneur en soufre et de mélanger du charbon bitumineux de l'ouest du Canada, à faible teneur en soufre, au charbon fourni par les États-Unis, afin de réduire les rejets de SO₂ dans l'atmosphère. En outre, la plupart des centrales au charbon d'Hydro Ontario sont régies par les programmes antipollution du ministère de l'Environnement de l'Ontario axés sur la qualité locale de l'air et sur la prévention d'une pollution atmosphérique excessive grâce à l'indice de pollution atmosphérique (API) et au programme d'alerte du gouvernement provincial.

Il existe d'autres modes de production d'électricité taisant appel à d'autres moyens tels que l'énergie nucléaire, l'accroissement de la capacité de production hydro-électrique grâce à un réseau à l'échelle nationale, l'utilisation des déchets comme combustible d'appoint ou en combinaison ou l'énergie solaire ou éolienne. L'Ontario étudie les possibilités de remplacer jusqu'à 40% des combustibles utilisés actuellement dans les fours à ciment par des déchets, tandis que le ministère de l'Énergie évalue d'autres utilisations possibles des déchets comme source d'énergie.

Ces sources d'énergie ne sont pas applicables aux procédés de fusion des minerais, mais nous disposons maintenant des techniques d'hydro-métallurgie et d'autres techniques modernes de réduction de la pollution.

Fusion de métaux non ferreux — Sudbury

INCO Limited, le plus gros producteur de nickel du monde, est aussi la plus grosse source de SO₂ du continent avec son complexe métallurgique et minier de Sudbury qui traite des minerais à forte teneur en soufre. Cette société a rejeté 3.9% (1.32 million de tonnes courtes) du SO₂ déversé en 1975 sur l'ensemble du continent nord-américain, selon le rapport du groupe Canada-E.-U.

Les rejets de NO_x par INCO sont négligeables et la société est responsable de 2.2% des déversements totaux combinés (aux États-Unis et au Canada) de SO₂ et de NO_x, les principaux précurseurs des pluies acides.

Depuis 1969, INCO a réduit les rejets totaux de SO₂ par ses installations de Sudbury de plus de 40% grâce à la production d'acide sulfurique. Cette diminution, combinée à la dispersion des fumées par cheminée très haute depuis 1972, a permis une amélioration considérable de la qualité de l'air dans la région de Sudbury, à ce moment-là l'objectif principal.

Dès le début, la dispersion par très haute cheminée a été toutefois considérée comme une mesure provisoire pour limiter la pollution et non comme l'étape ultime des efforts de réduction de la pollution aux installations de Sudbury.

Comme première étape d'une réduction des rejets actuels de SO₂ dans la province, le ministre de l'Environnement de l'Ontario, M. Harry Parrott, a annoncé, le 1^{er} mai 1980, l'intention du gouvernement de fixer de nouvelles normes de dépollution à INCO. Le programme proposé vise à réduire les rejets de SO₂ par

*Les 107 centrales électriques qui devaient bénéficier d'une aide fédérale pour leur conversion au charbon ont été par la suite ramenées à 80.

INCO, des 3,600 tonnes par jour autorisées précédemment à 2,500 tonnes par jour, dans un premier temps, puis à 1,950 tonnes par jour pendant 1983. Le nouvel ordre de dépollution des rejets impose également à la société la réalisation avant décembre 1981 d'une étude des méthodes qu'elle envisage pour réduire encore ses rejets de SO_2 après 1982.

Dans le cadre du programme de dépollution du ministère de l'Environnement de l'Ontario pour le complexe de Sudbury, on a créé un groupe d'étude Ontario-Canada pour évaluer toutes les possibilités techniques de réduction de la pollution atmosphérique, ainsi que les implications socio-économiques que cela comporte, tant pour INCO que pour Falconbridge Nickel Mines, afin d'amener les rejets aux niveaux minimaux. Le comité de travail de ce groupe mixte est constitué de représentants des ministères de l'Environnement de l'Ontario et du Canada, du ministère des

Richesses naturelles de l'Ontario, du ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources du Canada et de représentants indépendants de la communauté scientifique.

Trois rapports préparés par Environnement Ontario et publiés le 27 mai 1980 présentent de récentes analyses sur le terrain des précipitations acides affectant les régions de Muskoka-Haliburton et de Sudbury. Le groupe d'étude se base sur ces rapports importants qui évaluent les effets des rejets du complexe de Sudbury sur la région voisine ainsi que sur la région des lacs Muskoka-Haliburton et montrent la nécessité de l'adoption d'un programme de dépollution international pour résoudre le problème du transport à distance des contaminants.

On trouvera des résumés des trois rapports et de leurs résultats à l'annexe A (page 20).

En juillet 1980, 2 000 propriétaires de chalets assistaient au plus grand événement "maison ouverte" d'Environnement Ontario au laboratoire régional du ministère près de Dorset dans le but de visiter le laboratoire, examiner l'équipement régional et interroger les spécialistes au sujet des effets des pluies acides sur les lacs de la région de Muskoka/Haliburton.

MESURES PRISES PAR L'ONTARIO

Programme de contrôle atmosphérique du ministère de l'Environnement

Depuis 1968, c'est le ministère de l'Environnement de l'Ontario qui a la tâche de contrôler la qualité de l'air de la province, d'identifier les sources de pollution et de réduire les rejets pour protéger l'environnement. Le ministère s'assure également que les nouvelles installations, sources potentielles de pollution (qu'elles soient industrielles, productrices d'électricité ou minières), sont dotées de moyens de dépollution adéquats avant leur mise en service.

Agrandi d'année en année, le réseau provincial de contrôle de la qualité de l'air, mis sur pied par le gouvernement de l'Ontario à partir de 1968, comprend maintenant plus de 1,400 instruments mesurant les concentrations de 30 contaminants, en particulier du SO_2 et des NO_x . Ce réseau, couplé à des unités de contrôle mobiles spéciales, permet à l'Environnement Ontario de détecter la plupart des composés chimiques présents à l'état de trace dans l'atmosphère. Ce système de contrôle permet donc au ministère de suivre la progression de sa lutte contre la pollution atmosphérique.

Dans le cadre du programme antipollution atmosphérique du ministère, l'industrie de la province a dépensé ou va dépenser plus de \$1 milliard pour dépolluer ses rejets atmosphériques. Ces mesures antipollution ont déjà permis d'améliorer nettement la qualité de l'air dans les villes ontariennes.

Depuis 1970, les concentrations de SO_2 au centre-ville de Toronto ont diminué d'environ 90 pour cent. Passant de 0.071 ppm en moyenne à 0.008 ppm en 1979. Les concentrations d'oxyde de carbone sont passées de 2.5 ppm en moyenne en 1970 à 1.5 ppm en 1979, soit une réduction de 40 pour cent. Les niveaux de particules en suspension ont diminué de 50 pour cent à Toronto et d'au moins 50 pour cent dans la plupart des collectivités.

L'amélioration de la qualité de l'air est due essentiellement à la réduction des rejets de polluants, en particulier des rejets de SO_2 dans la communauté urbaine de Toronto, qui sont passés de 227,000 tonnes en 1972 à 153,000 tonnes en 1978.

Dans les autres centres industriels de l'Ontario, tels que Hamilton, Windsor, London, Ottawa et Cornwall, les concentrations de SO_2 ont été réduites de 30 à 60 pour cent et plus.

Dans l'ensemble de la province, les programmes de réduction communautaires des rejets de SO ont permis de faire passer ces derniers de près de 3 millions de tonnes en 1972 à 2.2 millions de tonnes en 1977*, soit une diminution de 27 pour cent en dépit de la croissance de la population et des industries. Il y a donc une nette réduction de la production totale de SO_2 , tout à fait indépendante des améliorations localisées dues à des cheminées plus élevées et à une dilution accrue dans l'atmosphère.

Cette réduction vraie des rejets de polluants est également due au fait que l'Ontario impose une autorisation préalable des organismes de réglementation à la construction ou à l'agrandissement d'installations industrielles.

En outre, les émissions d'oxydes d'azote par les véhicules automobiles ont nettement diminué. C'est le gouvernement canadien qui, en 1973, a adopté des règlements antipollution visant les oxydes d'azote émis par les automobiles. Les dispositifs antipollution utilisés ont permis de réduire les rejets d'oxydes d'azote par les véhicules d'environ 30 pour cent (de 4.5 grammes/mille à 3 grammes/mille). Toutefois, la diminution graduelle des rejets polluants, due au remplacement progressif du parc de véhicules par de nouveaux modèles équipés de dispositifs antipollution, s'est vue jusqu'à un certain point annulée par l'augmentation du nombre de véhicules en service. C'est pourquoi, la réduction globale des rejets d'oxydes d'azote entre 1973 et 1979 a atteint 11 pour cent (de 175,000 tonnes/an en 1973 à 155,000 tonnes/an en 1979).

Enfin, le système de transports publics de Toronto, qui dessert plus d'un quart de la population de la province, est largement électrifié, constitué de tramways, du métro et d'autobus électriques non polluants.

Jusqu'à présent, Environnement Ontario luttait contre les rejets de SO_2 et de NO_x polluants à cause de leurs effets locaux et sociaux. Le ministère n'envisageait pas ces polluants en tant que constituants des précipitations acides, maintenant considérées comme un problème à long terme et dont les effets se manifestent à l'échelle continentale et même mondiale. L'accumulation du SO_2 et des NO_x peut être dommageable, même si leurs concentrations ne dépassent pas les normes admises de qualité de l'air.

On a commencé à prendre conscience de la gravité du problème des pluies acides en Ontario lorsqu'Environnement Ontario, en collaboration avec les ministères du Logement et des Richesses naturelles, a entrepris de contrôler l'impact de la construction de maisons de campagne sur les rives des lacs des régions touristiques de Muskoka/Haliburton en 1975, dans le cadre des études sur la résistance des rives des lacs. En étudiant les apports aux lacs en provenance de toutes les sources possibles, en particulier l'apport atmosphérique, on a constaté que ce dernier était, en moyenne, beaucoup plus acidifiant que prévu.

*En 1979, les rejets de SO_2 étaient descendus à environ 1.65 million de tonnes, chiffre estimatif accusant une diminution de plus de 40 pour cent par rapport à 1972. Toutefois, on utilise le chiffre de 1977 parce qu'INCO Limited, la source ponctuelle de SO_2 la plus importante de l'Ontario, a fermé du 17 juillet au 27 août 1978 et a dû arrêter la production entre le 15 septembre 1978 et le 4 juin 1979 du fait d'un conflit du travail de 8 1/2 mois. Depuis la reprise de la production en juin 1979, INCO a maintenu ses rejets à environ 2,600 tonnes par jour (0.95 million de tonnes par an), du fait surtout d'une réduction de la demande. La tonderie de nickel de Falconbridge a également fermé ses portes entre le 1er juillet et le 21 août 1978. On trouvera les données concernant ces périodes à l'annexe "A" dans les rapports préparés par Environnement Ontario. Ces rapports donnent les résultats des analyses sur le terrain des précipitations acides dans les régions de Sudbury et de Muskoka/Haliburton.

Efforts et stratégie en Ontario

Pour l'exercice 1980-1981, l'Ontario a affecté environ \$5 millions aux projets d'étude des pluies acides par les divers ministères et organismes.

Environnement Ontario, le chef de file, a obtenu environ \$3.5 millions pour ses programmes 1980-1981.

Au cours de l'exercice terminé le 31 mars 1980, Environnement Ontario a dépensé \$2 millions en recherches pour mesurer les précipitations acides et pour mettre au point une stratégie de réduction des rejets.

Les projets et études scientifiques en cours en Ontario sont présentés aux sections intitulées "Effets et études sur les milieux aquatique et terrestre" (page 14-18).

Les efforts de l'Ontario et sa stratégie pour accélérer les mesures de dépollution et favoriser la signature d'un accord formel de coordination des politiques entre les États-Unis et le Canada ont été présentés par le ministre de l'Environnement, M. Harry Parrott, lors d'une réunion des ministres et fonctionnaires de l'environnement du Canada et des États-Unis, et 18 janvier 1980.

"En Ontario, nous avons pris les mesures qui permettront au gouvernement d'obtenir les données et renseignements dont il a besoin pour adopter une bonne stratégie de réduction de la pollution:

- Nous poursuivons le travail d'identification et d'évaluation des apports acides aux lacs ontariens sensibles à une acidification.
- Nous affinons nos techniques de prédiction par modèles pour mieux évaluer les effets sociaux et économiques des diverses stratégies de lutte.
- Nous évaluons actuellement les diverses mesures provisoires à notre disposition pour protéger les lacs sensibles.

Nous estimons, comme beaucoup d'autres, que nous devons mettre au point des techniques de dépollution fiables et les appliquer, pour commencer, aux sources existantes et en projet les plus dommageables pour l'environnement. Parallèlement à ces recherches, nous étudions actuellement d'autres moyens de réduire la pollution:

- (1) charbon à faible teneur en soufre
- (2) hydrométallurgie
- (3) gazéification du charbon
- (4) lavage du charbon pour éliminer une partie du soufre
- (5) usines de transformation d'acide: extraction du SO_2 et sa transformation en acide sulfurique utilisable à diverses fins."

Le Dr Parrott a déclaré que le problème ne se présentait pas de la même façon des deux côtés de la frontière et que les moyens de lutte devaient être adaptés aux types de sources dans les deux pays. Cela provient des conditions différentes dans chaque pays, qui requièrent des solutions différentes.

"Les pluies acides, qui atteignent déjà des niveaux alarmants et destructeurs sur de grandes étendues, restent un problème grave selon nos spécialistes, à moins que nous ne prenions des mesures de dépollution immédiates.

Je suis persuadé que, pour pouvoir s'attaquer sérieusement au problème des pluies acides, les divers gouvernements doivent être prêts à évaluer les rejets des usines existantes qui, pour beaucoup, ont été construites à un moment où gouvernements, industries et public ignoraient les questions d'environnement. Nous devons en outre réévaluer les lois risquant de perpétuer le problème du fait de dispositions qui exemptent les sources existantes des normes antipollution, au détriment de nouveaux projets plus sûrs pour l'environnement.

Pour ne pas prendre de retard au cours de la période cruciale de la dépollution, qui devra être mise en oeuvre au cours dix prochaines années, et il s'agit ici de sauver des milliers de lacs vulnérables en Ontario, les mesures internationales devront être axées sur la dépollution des sources existantes tout autant que sur la recherche et sur la prévention.

Il est impératif que les États-Unis et le Canada finissent par s'accorder sur ce qu'il faut faire. Mais un accord doit être négocié en se basant sur les points forts des deux pays. L'Ontario vise à obtenir rapidement un accord international. Mais cet accord doit être suffisamment souple pour pouvoir tirer parti, au fur et à mesure, des connaissances acquises par la recherche. Cela est particulièrement important dans le domaine des nouvelles techniques de dépollution.

Sachant que les deux pays sont dotés de structures constitutionnelles et administratives différentes et que les problèmes se présentent de façon différente des deux côtés de la frontière, les solutions seront nécessairement différentes pour chaque pays. Quelles que soient les stratégies adoptées pour atteindre notre but commun, elles doivent être appliquées rigoureusement par les deux gouvernements.

Je souligne encore une fois que la province d'Ontario est prête à appliquer les mesures de contrôle nécessaires de concert avec les autres gouvernements. Nous sommes aussi prêts à agir seuls pour mener la lutte contre les pluies acides."

Solutions palliatives et solutions vraies — Implications socio-économiques

La résolution des problèmes dus aux précipitations acides pose un certain dilemme à la société. D'un côté, il est possible que les mesures nécessaires soient prises trop tard ou soient insuffisantes. De l'autre, des mesures prises trop rapidement risquent d'être trop coûteuses, perturbatrices pour l'économie ou inefficaces.

Rien ne permet de vérifier les estimations de l'ampleur des dommages et des effets des précipitations acides, ni les coûts de dépollution des sources intérieures ou extérieures à la province.

Pour ces raisons, le Dr Parrott a souligné que, bien que l'Ontario ait décidé de mettre en oeuvre des mesures provisoires de dépollution, de façon à ne pas perdre un temps précieux, il lui faut d'abord s'assurer que ces mesures à long terme, coûteuses, auront l'effet désiré.

"À long terme, nous devons soupeser l'efficacité des diverses méthodes de dépollution face au problème qui se présente. Le coût de ces techniques se chiffre en milliards de dollars et nous ne pouvons pas les adopter sans être d'abord sûrs qu'elles seront efficaces."

L'Ontario affine actuellement ses modèles prévisionnels et ses études des précipitations pour pouvoir évaluer convenablement les effets économiques et sociaux des diverses stratégies. En même temps, la province s'attaque à la mise au point de techniques de contrôle plus efficaces.

Pour pouvoir évaluer les avantages des mesures de dépollution ainsi que les coûts des programmes de contrôle, la province a mis sur pied un comité sur l'impact socio-économique des précipitations acides, dont les membres représentent les ministères ontariens de l'Environnement (chef de file), des Richesses naturelles, de l'Industrie et du Tourisme, de l'Énergie, de l'Agriculture et de l'Alimentation, et du Trésor et de l'Économie.

L'une des questions économiques cruciales concerne l'importance du personnel, du financement et des efforts requis par la lutte contre les précipitations acides. Selon certains, les gouvernements et les responsables de la pollution doivent arrêter immédiatement cette dernière, à tout prix. Toutefois, les citoyens et la société dans son ensemble tirent des avantages essentiels des centrales électriques, des fonderies, des usines et des véhicules de transport, tous responsables des pluies acides. Pour continuer de bénéficier de ces avantages et du confort assuré par ces biens et services et, en même temps, protéger l'environnement, il faut être prêt à en payer le prix.

Niveaux réalistes de dépollution des rejets

La dépollution totale des sources serait, bien sûr, la solution au problème; mais il faut accepter le fait que la société nord-américaine continuera d'utiliser de grandes quantités de combustibles fossiles pendant de nombreuses années, malgré les nouvelles possibilités offertes par les énergies nucléaire, solaire et éolienne. En outre, il est très improbable que l'on puisse réduire à zéro les rejets de SO_2 et de NO_x . De ce fait, les programmes de dépollution appliqués aux sources nouvelles et existantes doivent définir des niveaux spécifiques de dépollution, techniquement réalistes, qui soient suffisants pour protéger l'environnement. Nous devons déterminer quantitativement le degré de pollution acide que peut supporter sans problème l'environnement, de façon à pouvoir définir les niveaux de dépollution minimaux.

Les problèmes techniques et économiques sont extrêmement différents selon que l'on cherche à atteindre une dépollution de 50%, de 80%, de 90% ou de 95% des sources. Définir des niveaux de dépollution minimaux demande des recherches intensives.

De ce fait, les études entreprises en Ontario pour

déterminer les effets des précipitations sur les écosystèmes aquatique et terrestre ont pour but d'établir quelle est l'ampleur des problèmes dans la province et quels sont les rythmes d'altération de la qualité de l'eau et les autres effets. Cette information est essentielle pour préparer et mettre en oeuvre le programme de dépollution.

Une autre question importante étudiée par le comité sur l'impact socio-économique est celle du tourisme et de la pêche sportive, industries importantes pour l'Ontario et pour le Canada. Si les recettes liées aux activités touristiques ne mesurent pas directement l'avantage d'une réduction des précipitations acides, il est certain qu'elles sont capitales pour les économies régionales. A moins de réduire les précipitations acides, ces dernières pourraient attester gravement le tourisme en détruisant la pêche sportive.

Si le coût des divers programmes de dépollution ou d'assainissement peut, la plupart du temps, être chiffré, les conséquences sociales et environnementales de ces programmes ne peuvent souvent se mesurer qu'en unités physiques intangibles ou font l'objet d'estimations contestables. Néanmoins, une compilation systématique des conséquences sociales et environnementales de chaque programme réalisable de dépollution ou d'assainissement faciliterait grandement la décision concernant les moyens à affecter à la résolution du problème.

Partage équitable des coûts et des avantages

La distribution des effets des pluies acides et le partage des coûts et des avantages d'une dépollution constituent également des questions économiques importantes. Les problèmes de partage équitable devront être résolus par des négociations entre les provinces, états et gouvernements fédéraux. Pour cela, les négociateurs devront disposer d'informations claires sur les diverses possibilités et sur l'importance des coûts et avantages impliqués.

Enfin, la décision politique requiert une large consultation du public et un débat approfondi de la question. Le public doit être informé de ces questions et les gouvernements doivent obtenir et diffuser l'information pertinente.

Un rapport de mai 1980 sur les pluies acides, réalisé par le bureau du programme TADPA d'Environnement Canada, se termine ainsi:

"On ne dispose pas actuellement, et cela pour plusieurs années, de preuve directe permettant de montrer, sans équivoque, que l'écosystème nord-américain subit actuellement des atteintes graves à cause du transport à distance des polluants atmosphériques et des précipitations acides. Ces effets sont cumulatifs et difficiles à mettre en évidence; l'obtention d'un effet net après un temps suffisamment long pourrait bien signifier que la dégradation est devenue irréversible"

ACTIVITES SCIENTIFIQUES AQUATIQUES ET TERRESTRES

Études des milieux aquatiques en Ontario

Les études des milieux aquatiques en cours en Ontario ont pour but d'établir l'ampleur des problèmes dans la province et le rythme d'altération de la qualité de l'eau, information vitale pour préparer et appliquer le programme de dépollution.

Une étude du milieu aquatique commence par la mesure aussi précise que possible de tous les matériaux atmosphériques déposés dans chaque bassin hydrographique. On utilise divers types de collecteurs pour obtenir cette information. Certains d'entre eux ne recueillent que l'eau de pluie et sont dotés d'un dispositif sensible à l'humidité, qui ne s'ouvre qu'en cas de pluie. D'autres sont ouverts en tout temps pour recueillir la pluie et les particules et gaz atmosphériques (les dépôts secs). D'autres encore servent à mesurer les chutes de neige. Dans tous les cas, on mesure la quantité totale d'eau, les acides, les minéraux et les autres substances recueillies. Au total, on mesure dans l'eau de pluie et de neige environ 20 composés.

En même temps, on recueille les données météorologiques qui permettent de calculer les taux d'évaporation, de mesurer les précipitations saisonnières et les vents dominants et de tracer les trajectoires des orages et tempêtes.

Tous les cours d'eau aboutissant aux lacs étudiés ou en partant sont équipés d'un barrage. Ce dernier comporte un déversoir calibré permettant d'enregistrer en continu le débit du cours d'eau. En outre, on prélève des échantillons d'eau qui sont chimiquement analysés. Avec ce système, toutes les entrées et sorties sont donc soigneusement et précisément mesurées (figure 15).

À l'aide d'ordinateurs, on analyse les données de débit et de concentration de divers composés chimiques pour déterminer les quantités d'acides et d'autres composés qui entrent dans les lacs et qui en sortent. On met en évidence l'influence des arbres et des sols sur la composition chimique de l'eau en comparant la qualité de l'eau de ruissellement à celle de la pluie et de la neige. On mesure en outre directement la nature chimique des sols. Les données obtenues montrent s'il y a altération de la qualité de l'eau et à quel rythme cela se produit et quels types de modifications se produisent; elles permettent l'extrapolation des tendances à moyen et à long terme.

Les lacs étudiés constituent de bons contrôles de l'efficacité des programmes de lutte antipollution à mesure que la quantité d'acides atmosphériques diminue.

Effets cumulatifs sur les milieux aquatiques

La quantité d'acide précipitée lors d'une pluie est très petite, mais ses effets cumulatifs à long terme et les effets du pic d'acidité sur la vie aquatique dus à la fonte des neiges préoccupent les spécialistes.

Dans les régions à sols alcalins ou calcaires, comme dans le cas des Grands Lacs, la charge totale annuelle des pluies en acides ne pose pas de problème puisque l'acidité peut être neutralisée indéfiniment. Si ces lacs ne sont pas menacés globalement, par contre la vie aquatique dans les frayères riveraines et dans les tributaires, beaucoup moins profonds, peut être gravement affectée au printemps par le "pic acide" dû aux "eaux de fonte" (figure 16). Cela se produit, par exemple, dans les zones de frayères riveraines et dans les cours d'eau du lac Huron, bien que ce lac ait un pH annuel moyen alcalin, d'environ 8.2.

La neutralisation des pluies acides provoque la dissolution de matériaux du sol et des roches. Si la pluie acide tombe sur du calcaire, l'eau de ruissellement contient du sulfate et du nitrate de calcium, substances tout à fait inoffensives.

Les roches précambriennes peuvent également neutraliser lentement les pluies acides, mais au lieu de libérer du calcium, elles libèrent des sels d'aluminium, de manganèse, de fer et d'autres métaux, qui peuvent atteindre des concentrations toxiques pour la faune et la flore aquatiques.

Dans les zones de roches précambriennes aux sols peu épais, situation courante dans le nord de l'Ontario, la capacité tampon n'est pas suffisante pour neutraliser même de petites quantités d'acide atteignant le sol. De ce fait, l'eau de ruissellement est acide.

Cet effet se manifeste à des moments différents dans les cours d'eau se jetant dans le même lac, parce que le processus d'acidification de l'eau de ruissellement est très inégal. Par exemple, une faible pluie acide peut être complètement neutralisée alors que, en cas d'une forte pluie dans le même bassin, l'eau de ruissellement ne pourra pas être complètement neutralisée et l'on enregistrera un pic d'acidité descendant le cours d'eau jusqu'au lac. Peu après le passage du pic, le pH du cours d'eau sera revenu à une valeur normale. Par contre, les organismes aquatiques vivant dans le cours d'eau auront subi un choc chimique très grave.

Les acides précipités avec la neige s'accumulent au cours de l'hiver. Lorsque la neige fond, il se produit une libération relativement rapide d'une grande quantité d'acides dans les eaux de fonte. Les sols sont encore généralement gelés et les possibilités de neutralisation des acides sont donc très faibles. Il en résulte une chute du pH connue sous le nom de "dépression du printemps".

Pendant plusieurs semaines, les cours d'eau peuvent devenir extrêmement acides. Leurs eaux, combinées à la neige et à la glace fondantes du lac lui-même, acidifient toute la couche supérieure du lac. Lorsque les eaux du lac se mélangent et que l'eau acide entre en contact avec les sédiments, elle finit par être neutralisée. Le lac est généralement revenu à des pH normaux en juin ou en juillet au plus tard.

Certains organismes aquatiques, en particulier les nouveaux alevins des poissons de pêche sportive (c'est-à-dire truites, achigans, dorés), ne survivent pas au choc de l'eau franchement acide ou de l'eau légèrement acide contenant de fortes concentrations de métaux. De ce fait, tant dans les lacs soumis au choc acide que dans les lacs entièrement acidifiés, il se produit une perturbation majeure ou même la destruction complète du système biologique.

La "dépression du printemps" est le phénomène le plus nuisible qui soit pour un lac, mais son intensité varie d'une année à l'autre selon les conditions atmosphériques du printemps.

Les gros poissons survivent en général et il est rare de voir flotter des poissons morts dans les lacs. Les alevins des espèces sensibles peuvent être détruits une année et présenter un taux de survie élevé l'année suivante. De ce fait, les populations de poissons dans les lacs soumis au choc acide sont caractérisées par l'absence de poissons de certains âges, alors que des poissons plus jeunes et plus vieux sont présents. Il peut également se produire une augmentation des concentrations de mercure dans les poissons qui survivent. Progressivement, les pluies acides dégradent davantage le lac et son bassin et la dépression de pH du printemps finit par être grave chaque année. Les alevins des espèces sensibles sont alors systématiquement détruits et les populations existantes disparaissent progressivement. Plusieurs décennies peuvent se passer entre les premières atteintes et la disparition définitive des poissons.

Si les pluies acides se poursuivent, la capacité de neutralisation immédiate des roches, des sols et des sédiments diminue progressivement et les cours d'eau et lacs finissent par devenir acides toute l'année. Il peut falloir de nombreuses décennies pour qu'un lac soit complètement acidifié.

Lorsque le pH d'eau d'un lac se situe en permanence en dessous de 5,0, il est peu d'espèces d'animaux ou de plantes aquatiques qui puissent survivre.

Il est raisonnable de penser que l'acidification d'un lac est réversible si l'on élimine les apports acides ou si on les réduit à des niveaux très faibles. On ignore le temps qu'il faut pour que cela se produise. Dans les zones précambriennes, seule la surface des roches entre en contact avec l'eau de pluie et de ruissellement, si bien qu'elle est constamment mise à nu par les

agents atmosphériques. Si l'apport d'eau acide disparaît, la roche mise à nu rétablira, dans les eaux de ruissellement, le pH qui existait avant le début des pluies acides. Le retour aux conditions normales demandera un certain nombre d'années, mais il n'est pas possible d'être plus précis. Si tous les organismes aquatiques ont disparu d'un lac acidifié suffisamment longtemps, il faudra procéder à une repopulation de ce lac.

Analyse de la faune et de la flore aquatiques

Les effets des pluies acides sur la vie aquatique constituent pour le moment le plus gros problème de ces pluies. Il faut donc procéder à des mesures très détaillées sur les algues, le zooplancton et les poissons des lacs étudiés. On procède à des numérations du zooplancton et à une détermination des espèces présentes. Les prélèvements sont examinés microscopiquement par les laboratoires d'Environnement Ontario pour déterminer le type d'alimentation de ces animaux. Ces renseignements sont importants si l'on veut adapter les techniques piscicoles pour aider les populations de poissons à survivre aux pluies acides. Même si la qualité de l'eau est acceptable pour certaines espèces de poissons, une perturbation grave de la chaîne alimentaire peut mettre en danger la survie de ces poissons.

Des filets sont disposés dans les lacs étudiés pour capturer le poisson vivant. Chaque poisson est alors mesuré et pesé et l'on détermine son espèce et son sexe. Il est ensuite marqué et remis à l'eau. Lors d'une opération de piégeage ultérieure, le nombre de poissons recapturés permet d'établir avec précision le nombre total de toutes les espèces de poissons présentes dans le lac. Cette méthode de mesure, très longue, demande de manipuler des milliers de poissons. C'est cependant la seule façon de mettre en évidence les variations subtiles des populations piscicoles.

On combine alors les résultats des études chimiques et biologiques pour estimer les altérations de l'écosystème, établir les raisons des altérations observées et, surtout, tracer des courbes indiquant les altérations probables qui se produiront à l'avenir et déterminer la réduction minimale des apports acides, nécessaire à la protection de l'environnement.

Six lacs sont actuellement étudiés de cette façon intensive dans la région de Muskoka-Haliburton. Quinze autres lacs sont également étudiés, de façon moins intensive. On prévoit d'étudier d'autres lacs à certaines fins spécifiques.

Près de Dorset en Ontario, un laboratoire provisoire, qui avait fonctionné pendant plusieurs années, vient d'être remplacé par des installations permanentes pour l'étude des lacs. Le nouveau laboratoire joue le rôle de quartier général de la province, coordonnant et intégrant toutes les études de transport à distance des polluants.

Les lacs étudiés se trouvent dans l'une des zones les plus sensibles qui soient affectées par les précipitations acides. Une grande partie des renseignements obtenus par ces études peuvent être extrapolés ou appliqués à d'autres lacs sensibles affectés à un rythme

Le personnel d'Environnement Ontario recueille les contenants de l'appareil collectionneur à "double recipient" destiné à recueillir les retombées humides et sèches de polluants acides. On prélève mensuellement des échantillons à plus de 30 stations dans toute la province aux fins d'analyse en laboratoire.

moins grand ou ayant une intensité moins grande que dans la zone d'étude principale.

On sait que l'alcalinité des eaux d'un lac constitue le facteur le plus important pour déterminer la sensibilité du lac ou sa capacité à neutraliser les eaux acides. Concomitamment aux études intensives des lacs, on rassemble actuellement les données d'alcalinité concernant un grand nombre de lacs de l'ensemble de la province.

La province de l'Ontario comporte environ 250,000 lacs. Même si l'on procède à des mesures d'alcalinité dans plusieurs milliers de lacs, il y aura toujours plusieurs milliers d'autres lacs pour lesquels on ne disposera pas de ces données. Toutefois, les résultats des études montrent le type d'altérations que l'on peut attendre pour un lac dont on mesure l'alcalinité. Il est donc possible d'estimer avec une précision raisonnable les dommages totaux pour l'ensemble des lacs, alors même qu'on ne dispose que d'une petite quantité de données chimiques et géologiques.

Neutralisation artificielle des lacs

Les pluies acides n'altèrent la vie aquatique des lacs et des cours d'eau que lorsque les sols et la roche ont une capacité de neutralisation très faible. Pourquoi alors ne pas déverser dans les lacs et dans les cours d'eau une substance neutralisante, ne serait-ce que durant la période nécessaire à la mise en vigueur du programme de dépollution?

La principale méthode de neutralisation artificielle des masses d'eau sensibles est le déversement de chaux morte ou de calcaire dans les lacs touchés pour leur rendre leur capacité tampon.

Pour beaucoup de spécialistes, cette méthode de traitement coûteuse ne peut être que temporaire. Dans le cadre d'un programme général, couvrant une grande surface ou des lacs importants, cette méthode n'est pas économiquement réalisable et son succès n'est pas assuré.

La quantité de chaux ou de calcaire requise est d'environ 50 lb par acre et par année, ce qui représente plusieurs tonnes par lac, même petit.

Depuis 1973, quatre lacs acidifiés de la région de Sudbury sont traités à la chaux et au calcaire par Environnement Ontario dans le cadre de l'étude de l'environnement de Sudbury entreprise par le ministère. Situés à environ dix milles de la grande cheminée d'INCO, trois de ces lacs, petits (moins de 200 acres), étaient complètement acidifiés et avaient de fortes concentrations de métaux, en particulier de cuivre et de nickel. Les additions de chaux et de calcaire ont permis de ramener le pH à des valeurs normales. Cependant, si les concentrations de métaux ont diminué (les métaux précipitent lorsque le pH devient neutre), elles demeurent encore toxiques pour les poissons. Ces derniers sont très sensibles aux variations de la composition chimique de l'eau et la neutralisation n'a pas suffi en elle-même pour que les lacs redevenaient propices à la vie aquatique. Heureusement, les problèmes de concentrations de cuivre et de nickel n'existent que dans un petit nombre de lacs, à quelques milles de Sudbury.

Le quatrième lac étudié a une surface de 750 acres et se trouve à environ 20 milles au nord de Sudbury. Le

Effets biologiques des eaux à pH bas sur les poissons	
pH	Effets
6.5 ou moins	Au bout d'un certain temps, il se produit une réduction sensible de la capacité d'éclosion des oeufs et de la croissance de la truite de ruisseau — <i>Menendez, 1976</i>
6.0	Combiné à des concentrations élevées de CO ₂ , les pH inférieurs à 6.0 peuvent être nocifs pour certaines espèces de truites — <i>Lloyd et Jordan, 1964</i>
5.5-6.0	La truite arc-en-ciel est absente. On rencontre de petites populations d'un nombre relativement faible d'espèces de poissons. Le frai des "têtes de boule" (<i>Pimephales promelas</i>) diminue. Les mollusques sont rares — <i>EPA, 1972</i>
5.5	On peut s'attendre à une baisse des prises de salmonidés — <i>Jensen et Snekvik, 1972</i>
5.0-5.5	Populations de poissons très réduites; milieu non léthal si le CO ₂ n'est pas trop élevé. Peut être léthal pour les oeufs et les larves. Empêche le frai des têtes-de-boule. Léthal pour certains éphéméridés. Diversité réduite des espèces bactériennes — <i>EPA, 1972, Scheider et al, 1975</i>
5.0	Extrême limite du tolérable pour la plupart des poissons — <i>Doudoroff et Katz, 1950, McKee et Wolf, 1963.</i>
4.5-5.0	Aucune population viable ne peut être maintenue. Léthal pour les oeufs et les alevins de salmonidés. Faune benthique restreinte — <i>EPA, 1972.</i>
4.5	Inhibition de la reproduction des "flagfish"; activité générale des adultes réduite — <i>EPA, 1972.</i>
4.0-4.5	Population de poissons limitée — seules, quelques espèces survivent (brochets). Flore restreinte. <i>EPA, 1972.</i>
Ministère de l'Environnement de l'Ontario, contrôle extensif des lacs dans la région de Sudbury, 1974-1976, ministère de l'Environnement (Ontario), 1978, page 20. Références indiquées en italiques.	

pH avait baissé, mais le lac comportait encore quelques poissons et les concentrations en métaux lourds restaient faibles. Le pH a pu être ramené à la normale en deux ans environ, grâce au déversement de près de 50 tonnes de chaux et de calcaire pulvérisés. Bien que l'on ait pas terminé toutes les études sur ce lac, en particulier celles qui concernent la pêche, il semble bien que ce traitement permettra de réensemencer le lac. C'est pourquoi, devant les résultats obtenus par certaines expériences, les biologistes envisagent les programmes de neutralisation de façon plus optimiste.

Un premier résultat favorable, tant en Ontario qu'en Suède, montre que les concentrations de mercure dans les poissons n'augmentent pas si les eaux de lac ont été neutralisées, même si les précipitations et le ruissellement acides se poursuivent dans le bassin. Il s'agit là d'une constatation très importante pour la protection des lacs offrant de la pêche sportive.

L'État de New York et la Suède procèdent également à des programmes de neutralisation expérimentale. Il

semble que cette technique permette de protéger les poissons de certains lacs sensibles.

Si l'on tient compte des quantités de matériaux, des coûts et des autres détails de gestion impliqués, on peut dire que l'addition de chaux et de calcaire pour protéger toute la zone sensible de l'Ontario n'est guère réalisable. En outre, l'effet neutralisant disparaît habituellement en trois ou quatre ans. Toutefois, il est possible qu'un programme de neutralisation permette de protéger des piscicultures importantes ou des lacs présentant une importance historique ou économique particulière. Si l'addition de chaux et de calcaire peut remédier, à court terme, à un problème local de pluies acides et permettre de "gagner du temps", elle n'offre cependant pas de solution générale.

Effets sur les milieux terrestres

Les précipitations acides peuvent avoir des effets graves et étendus sur les écosystèmes terrestres dans certaines régions du globe, en particulier dans l'est du Canada (y compris l'Ontario), le nord-est des États-Unis et le sud de la Suède et de la Norvège.

Ces effets ont surtout été observés dans des conditions de laboratoire et à des pH, ou concentrations acides, très inférieurs à ceux généralement observés dans la nature.

Lors d'expérience recourant à des précipitations acides simulées, on a constaté un certain nombre d'effets néfastes sur la végétation. Sur les sols, il se produit un lessivage des cations basiques tels que le magnésium et le calcium, la mobilisation ou la libération de métaux du sol, tels que l'aluminium et le fer, et l'altération d'activités biologiques telles que la nitrification. Quant à la végétation, les effets observés comprennent l'érosion cuticulaire ou de la surface des feuilles, des lésions des feuilles, le lessivage des éléments nutritifs et une réduction de la fixation de l'azote. Les précipitations acides ont parfois un effet paradoxal sur la végétation, car les composés azotés peuvent jouer le rôle d'engrais et stimuler la croissance des plantes.

Les effets néfastes observés lors de l'exposition expérimentale de sols ou de plantes à des précipitations acides sont difficiles à extrapoler à la nature. À l'heure actuelle, il n'y a pas de preuve directe d'effets terrestres notables de la présence de substances acides dans les précipitations, telles que mesurées actuellement à l'échelle régionale. Les solutions utilisées en laboratoire sont en général plus acides que celles rencontrées dans la réalité.

En ce qui concerne la productivité forestière, il est possible qu'un lessivage excessif des éléments nutritifs du sol ralentisse la croissance des arbres, ce qui serait désastreux pour l'industrie forestière canadienne. Toutefois, les études menées jusqu'à présent en Ontario ne relèvent aucune altération de la croissance des arbres et ne permettent pas de penser qu'un problème de cette nature puisse se poser à long terme.

On a signalé, dans certaines parties du sud de la Suède, une diminution de la croissance forestière. Toutefois, il est difficile d'attribuer ces pertes de pro-

duction aux précipitations acides seules. D'autres variables environnementales (telles que le climat, un chagement d'utilisation des terres, l'emplacement, l'âge des arbres, le génotype, la concurrence entre espèces végétales) diluent l'effet qui pourrait être dû spécifiquement aux précipitations acides.

Le recyclage des éléments nutritifs constitue un phénomène naturel permanent. Le lessivage des bases des sols forestiers est compensé par la chute des feuilles et par l'altération de la roche-mère par les racines. Ces facteurs et d'autres rendent difficile la détection des effets des précipitations acides sur les forêts et il existe peu de données historiques sur lesquelles baser les études actuelles.

Dans les régions agricoles, on ne s'attend guère à ce que les précipitations acides présentent un danger aussi grand que celui que l'on envisage généralement pour les forêts, du fait de l'addition continue de chaux et d'engrais au sol dans le cadre d'une culture intensive.

Enfin, s'il n'est pas possible de mesurer sur le terrain les effets des précipitations acides sur la végétation, du fait de leur nature subtile, les recherches de laboratoire ont montré qu'ils pouvaient être graves. En raison de la menace à long terme que posent les précipitations acides pour les écosystèmes terrestres, en particulier pour l'industrie forestière, vitale en Ontario, on procède actuellement à la mise en place d'un programme de contrôle, de surveillance et d'expériences dans la province.

Études des effets terrestres

Les études sur les effets terrestres en Ontario comprennent:

- Détermination de l'état actuel (ou données de base) des sols de l'ensemble de l'Ontario. Ces données constitueront un système de référence pour les caractéristiques physiques et chimiques des sols des diverses régions de l'Ontario, auquel on pourra comparer les mesures ultérieures pour suivre l'évolution éventuelle des sols.
- Détermination des sols les plus vulnérables aux précipitations acides et leur emplacement en Ontario.
- Détermination de l'influence des systèmes terrestres sur les précipitations acides incidentes et sur l'altération des caractéristiques chimiques des pluies au cours de leur ruissellement dans l'ensemble des bassins, jusqu'aux rivières et lacs récepteurs.
- Détermination des effets expérimentaux à court terme sur les sols et sur la végétation, en utilisant des apports acides importants pour réduire la durée de manifestation des effets; détermination des effets à long terme éventuels sur les systèmes forestiers naturels.
- Détermination des mesures protectrices ou palliatives pour les zones terrestres les plus sensibles.

Édifices et structures

Il est net que les pluies acides sont responsables, depuis le début du siècle, de l'altération rapide des édifices anciens, des monuments et des statues qui font partie du patrimoine culturel humain. On peut citer en particulier le Panthéon à Athènes, la Place St-Marc à Venise et d'autres monuments des grandes capitales européennes. La pollution croissante accélère aussi la détérioration des structures métalliques et des maçonneries modernes de toutes sortes et attaque les surfaces peintes.

Une étude en cours sur les pierres tombales des cimetières militaires des États-Unis permettra aux chercheurs de mieux comprendre les effets des pluies acides sur les monuments et statues en pierre.

Effets sur la santé publique

Il est toujours difficile de montrer qu'il existe une relation entre les pluies acides et la santé publique. Jusqu'à présent, aucun effet n'a pu être scientifiquement décrit.

Les études épidémiologiques ont montré qu'il existait une certaine relation entre la gravité des affections et le degré de pollution atmosphérique, tel que mesuré par la concentration de particules en suspension, en particulier des sulfates, et celle du bioxyde de soufre dans les milieux industriels et urbains.

On sait que des "épisodes" de pollution atmosphérique excessive ont autrefois, dans d'autres parties du monde, provoqué une aggravation des troubles ou une augmentation de la mortalité chez les gens souffrant de problèmes respiratoires. Lors de ces épisodes, les conditions météorologiques provoquaient une stagnation de l'atmosphère plusieurs jours durant, avec comme conséquence l'accumulation progressive des polluants atmosphériques, de façon analogue au "smog" qui recouvre certaines grandes villes industrielles.

En Ontario, l'indice de pollution atmosphérique (API) mis au point par la Direction des ressources atmosphériques d'Environnement Ontario sert de référence d'intervention dans le cadre d'un système d'alerte, pour limiter ou prévenir une pollution atmosphérique excessive, néfaste pour la santé publique.

On a suggéré que l'acidification des approvisionnements en eau pourrait provoquer une augmentation des concentrations des divers métaux libérés par les roches, le sol ou les tuyauteries, avec des effets néfastes pour la santé. Il est peu probable que cela se produise, car la qualité de l'eau est surveillée dans les usines de traitement, conformément à des normes fixées.

En ce qui concerne l'eau potable alimentant les maisons de campagne, on recommande, après une absence, de laisser couler l'eau pendant plusieurs minutes pour éliminer toute concentration métallique excessive.

Activités scientifiques fédérales/provinciales

Pour plus de renseignements sur les activités scientifiques fédérales/provinciales actuelles et sur les programmes du groupe de travail, se mettre en rapport avec:

Le coordonnateur
Étude des précipitations acides en Ontario (APIOS)
Division des ressources
Ministère de l'Environnement de l'Ontario
ou
Direction des services de l'information
Ministère de l'Environnement de l'Ontario
135 ouest, avenue St-Clair
Toronto (Ontario)
M4V 1P5

À la disposition des scientifiques...

"A Bibliography:
The Long-Range Transport of Air Pollutants and Acidic Precipitation"
Préparée conjointement par le ministère ontarien de l'Environnement de l'Ontario et par le Service de l'environnement atmosphérique d'Environnement Canada. Cette bibliographie technique de 95 pages fournit la liste des communications scientifiques sur le transport à distance des polluants atmosphériques par auteurs et par sujets. Elle est offerte à raison de \$5 l'exemplaire. Les commandes postales sont acceptées, accompagnées d'un chèque à l'ordre d'une des personnes suivantes:
"Trésorier de l'Ontario",
et adressées à:
Centre des Publications, ministère des Services gouvernementaux,
5e étage, 880 rue Bay,
Toronto (Ontario) M7A 1N8
ou
"Receveur général du Canada",
et adressées à:
Bureau du programme TADPA,
Service de l'environnement atmosphérique,
Environnement Canada,
4905, rue Dufferin,
Downsview (Ontario) M3H 5T4

On peut également obtenir cette bibliographie en s'adressant à la Librairie du gouvernement de l'Ontario (Ontario Government Bookstore), 880 rue Bay, Toronto.

Annexe "A"

Trois rapports du ministère de l'Environnement de l'Ontario concernant les analyses sur le terrain des précipitations (pluie et neige) dans les régions de Muskoka-Haliburton et de Sudbury, publiés le 27 mai 1980.

1. "Acidic Precipitation in South-Central Ontario: Analysis of Source Regions Using Air Parcel Trajectories".

Reposant sur des mesures directes de pluie et de neige entre 1976 et 1979, cette étude montre que 90 pour cent des précipitations acides viennent de sources situées au sud des régions de Muskoka-Haliburton et que 10 pour cent proviennent de sources situées au nord de ces régions. Les sources du nord sont responsables d'environ 9 pour cent des acides, de 7 pour cent des sulfates et de 8 pour cent des nitrates. Les sources du sud et du sud-ouest sont responsables de 80 pour cent des acides, de 75 pour cent des sulfates et de 65 pour cent des nitrates. Le reste, soit 11 pour cent des acides, 18 pour cent des sulfates et 27 pour cent des nitrates, vient du sud-est.

2. "Bulk Deposition in the Sudbury and Muskoka-Haliburton Areas of Ontario During the Shutdown of INCO Ltd. in Sudbury".

Cette étude des retombées globales compare les mesures effectuées sur les précipitations et les dépôts secs. Les études sur le terrain ont été effectuées avant et durant l'arrêt prolongé de neuf mois des installa-

tions d'INCO Ltd à Sudbury en 1978. On a constaté que les apports acides dans les lacs n'avaient accusé aucun changement notable dans les régions de Sudbury ou de Muskoka-Haliburton pendant cette fermeture d'INCO. On peut en conclure que c'est le transport à grande distance de polluants venant du sud qui domine dans la région de Muskoka-Haliburton. Le complexe métallurgique de Sudbury a un effet majeur sur les retombées de cuivre et de nickel à proximité de Sudbury et un effet mineur sur les retombées acides au voisinage de Sudbury. Néanmoins, les polluants acides dus à la super-cheminée d'INCO ont sans aucun doute un effet dans d'autres parties de l'est du Canada et aux États-Unis.

3. "An Analysis of the Impact of INCO Emissions on Precipitation Quality in the Sudbury Area".

Cette étude confirme la contribution des rejets d'été d'INCO aux précipitations totales dans la région de Sudbury, en fonction du système météorologique traversant la région. En ce qui concerne les acides, le soufre et un certain nombre de métaux, la contribution d'INCO dans cette région représente environ 10 pour cent du total lors du passage de fronts chauds et deux fois ce pourcentage lors du passage de fronts froids. Environ 40 pour cent des retombées de cuivre et de nickel dans la région de Sudbury peuvent être attribuées à INCO Ltd, indépendamment des conditions atmosphériques.

FIG. 6 Zones touchées par les pluies acides

1955-56

1975-76

Lignes isoplèthes indiquant le pH annuel moyen des précipitations dans l'est du continent nord-américain (modification de Likens et al. 1979).

Principales zones de rejets de SO₂ et de NO_x dans l'est du continent nord-américain

Zone géographique Grammes/seconde

1 Est et ouest de Pittsburgh vallée supérieure et centrale de l'Ohio	98,718 7	6 Cincinnati (Ohio) nord du Kentucky	50 051 1	11 Indianapolis (Indiana)	30 200 9
2 New York New Jersey	81,892 2	7 Cleveland (Ohio) ouest de la Pennsylvanie	47 997 7	12 Ouest du Kentucky	25 849 3
3 Toledo (Ohio) Detroit (Michigan)	65,421 6	8 Sudbury (Ontario)	43 915 3	13 Mobile (sud de l'Alabama)	24 138 5
4 Ouest du Kentucky sud de l'Indiana	53 623 7	9 Vallée inférieure et centrale de l'Ohio Clarksburg (Virginie)	42 401 3	14 Toronto (Ontario)	18 584 7
5 Chicago (Illinois)	53,040 7	10 Est du Missouri ouest de l'Illinois	41 298 8	15 Rouyn-Noranda (Québec)	16 402 2
				16 Sud de la Louisiane	14 596 8

Principales trajectoires des orages au-dessus des grandes zones de rejets de SO₂ et de NO_x

FIG. 7 ÉTÉ

FIG. 8 HIVER

Une zone géographique est définie par un carré de 160 km par 160 km.

Source: Les taux de rejets aux E.-U. sont tirés de la base de données SURE et correspondent à la période 1977-1978 pour les sources ponctuelles et à la période 1973-1977 pour les sources diffuses. Les données canadiennes proviennent d'Environnement Canada et représentent les estimations des rejets en 1978 par les grandes sources ponctuelles de SO₂ et en 1974 par les autres sources ponctuelles et diffuses. Trajectoires de perturbations atmosphériques par J. Kurtz, météorologiste, ministère ontarien de l'Environnement; d'après 40 ans de données du Bureau météorologique des E.-U.

FIG. 9
Emplacements des stations de contrôle des pluies acides en Ontario*

1 Attawapiscat	33 Merlin
2 Moosonee*	34 Colchester
3 Lac Pickle	35 Waterloo
4 Ear Falls	Remarque
5 Zones des lacs étudiés*	* Stations proposées
6 Nakina	
7 Moonbeam	
8 Gowganda	
9 Ramsey	
10 Hanmer	
11 Bear Island	
12 Mattawa	
13 Lively	
14 Burwash	
15 Killarney	
16 McKellar	
17 Dorset	
18 Whitney	
19 Wilberforce	
20 Kalaider	
21 Smiths Falls	
22 Dalhousie Mills	
23 Campbellford	
24 Uxbridge	
25 Dorion	
26 Lac Shallow	
27 Milton	
28 Palmerston	
29 Lac Golden	
30 Pt. Stanley	
31 Alvinston	
32 Wilkesport	

*Stations mensuelles, contrôlées tous les mois

FIG. 10
Importance relative des rejets de centrales en 1974-75 par régions

Source: "Acid Precipitation, An Emission Perspective" CTS-07165-1, service de la protection de l'environnement, Hydro Ontario

FIG. 11
Évolution historique des rejets aux É.-U.

Sources: "Acid Precipitation: An Emission Perspective" CTS-07165-1, service de la protection de l'environnement Hydro Ontario

FIG. 12
Prévision des rejets aux É.-U.

Source: "Acid Precipitation: An Emission Perspective" CTS-07165-1, service de la protection de l'environnement Hydro Ontario, d'après des prévisions d'octobre 1979 du ministère de l'Énergie des É.-U.

FIG. 13

Production électrique brute d'Hydro Ontario — 1950-1990

Source: "Acid Precipitation: An Emission Perspective" CTS-07165-1, service de la protection de l'environnement, Hydro Ontario.

FIG. 14

Rejets de SO_2 et de NO_x en 1979 par Hydro Ontario

Centrales à combustible fossile	SO_2 (Mg/AN)	NO_x * (Mg/AN)
Windsor	31	10
Thunder Bay	10,033	1,059
R.L. Hearn	10,191	4,291
Lakeview	91,347	13,785
Lambton	160,249	12,864
Nanticoke	155,078	28,650
Lennox	10,012	992
Totaux	436,941 (480,000)**	61,651 (68,000)**

* NO_x exprimé en NO équivalent ** Tonnes courtes/an
1980 Les niveaux prévus seront légèrement inférieurs

FIG. 15
Déversoir dans un bassin hydrographique calibré

Un barrage est installé en travers de tous les cours d'eau qui arrivent ou quittent les lacs étudiés afin d'enregistrer en continu le débit d'eau à travers le déversoir.

Un ingénieur du ministère de l'Environnement prend un échantillon d'eau près d'un barrage sur un cours d'eau d'Haliburton. La construction sur la rive est appelée "puits de mesure" et abrite un enregistreur automatique de niveau d'eau qui permet de mesurer le débit du cours d'eau en continu.

La recherche et l'analyse sont effectuées au laboratoire principal d'Environnement Ontario à Rexdale, l'un des plus perfectionnées en Amérique du Nord.

FIG. 16

Courbe illustrant une "dépression de pH au printemps"

Cette courbe illustrant la "dépression du printemps" correspond à l'un des six cours d'eau qui se déversent dans le lac Harp, un des lacs étudiés dans la région de Muskoka. On voit que, à mesure que s'accroît la fonte des neiges, le pH du cours d'eau diminue, produisant un "choc" chimique grave sur la faune aquatique.

FIG. 17
Illustration des effets terrestres et aquatiques

ANNOTATIONS

Rédaction: Direction des services d'information
Ministère de l'Environnement
Directeur: R.J. Frewin
Coordonnateur de la rédaction:
A.J. Raymond

Conseillers: Groupe d'étude des précipitations acides
techniques: en Ontario (APIOS)

Impression: Farquharson Associates