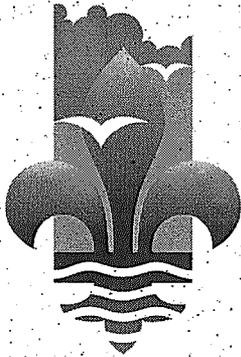


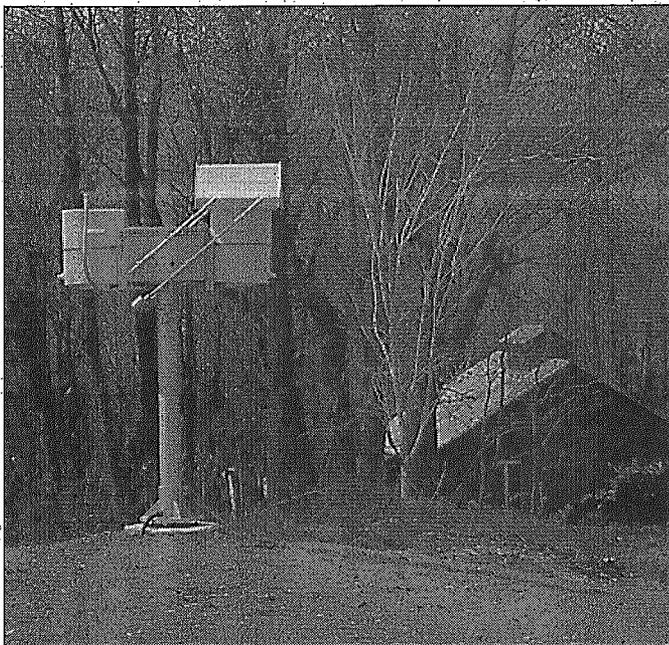


précipitations acides



ENVIRONNEMENT
ET FAUNE
QUÉBEC

Les précipitations acides
au Québec :
état de la situation
(1996)



GOUVERNEMENT DU QUÉBEC

MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA FAUNE

**PRÉCIPITATIONS ACIDES AU QUÉBEC :
ÉTAT DE LA SITUATION (1996)**

MARS 1996

Dépôt légal - Bibliothèque nationale du Québec, 1996
Bibliothèque nationale du Canada
ISBN 2-550-25937-8

Envirodoq EN960193

PA-52

ÉQUIPE DE RÉDACTION

Coordination:

Richard Leduc, Ph.D.
Direction du milieu atmosphérique
Ministère de l'Environnement et de la faune du
Québec

Collaboration:

**Ministère de l'Environnement
et de la Faune du Québec:**

Gilles Boulet, M.Sc.
Pierre Walsh, M.Sc.
Direction du milieu atmosphérique

Chamrith Chhem, M.Sc.
Direction des politiques du secteur industriel

Jacques Dupont, M.Sc.
Direction des écosystèmes aquatiques

Ministère des Ressources naturelles:

Raynald Paquin, M.Sc.
Rock Ouimet, M.Sc.
Direction de la recherche

RÉSUMÉ

Le phénomène des précipitations acides constitue encore un problème de pollution majeur pour lequel le Québec a instauré des politiques de contrôle de ses émissions. Ainsi, les émissions totales de SO_2 sont passées de 1,1 million de tonnes (Mt) en 1980 à 375 000 tonnes en 1991.

Au Québec méridional, les dépôts humides de sulfates varient de 11 à 31 kg/ha/an et ceux des nitrates vont de 7 à 25 kg/ha/an. Le pH annuel moyen des précipitations est de l'ordre de 4,35, ce qui correspond à une précipitation 18 fois plus acide qu'une précipitation en équilibre avec le CO_2 atmosphérique. De 1990 à 1993, environ 100 700 km² de territoire recevaient un dépôt annuel de sulfates supérieur au dépôt cible de 20 kg/ha/an, valeur permettant la protection d'écosystèmes modérément sensibles. De 1985 à 1993, on constate, pour l'ensemble du Québec méridional, une réduction de la teneur en sulfates dans les eaux de précipitation. Cependant, l'acidité des précipitations demeure à un niveau très préoccupant puisque 68 % des précipitations hebdomadaires ont un pH inférieur à 4,6. En 2003, malgré les programmes de réduction prévus, on s'attend à ce que tout le sud du Québec (c'est-à-dire au sud du lac St-Jean et de l'Abitibi) reçoive des dépôts de sulfates supérieurs à 12 à 15 kg/ha/an.

Sur le plan biologique, l'acidification des eaux de surface est responsable de dommages directs et indirects aux organismes aquatiques. Ces dommages vont du stress biologique à la disparition complète des populations de poissons dans les lacs acides. On observe une baisse de 25 % du nombre d'espèces de poissons lors de la baisse de pH de 6,0 à 5,5 unités. L'évolution du pH de 5,5 à 5,0 unités entraîne quant à elle une baisse additionnelle de 50 % du nombre d'espèces de poissons, tandis que les 25 % d'espèces résiduelles disparaissent complètement avec un pH de 4,5. Pour les espèces les moins sensibles à l'acidité, la reproduction est compromise à partir d'un pH de 5,0.

L'extrapolation des résultats obtenus sur le terrain pour les lacs de plus de 1 ha au sud de 51°N indique qu'il y aurait un minimum de 29 000 lacs acides ($\text{pH} \leq 5,5$) et plus de 81 000 lacs acides et de transition ($5,5 < \text{pH} \leq 6,0$). Les réductions annoncées permettront de réduire les dépôts annuels mais pas de manière suffisante pour respecter les charges critiques de 12 à 15 kg/ha/an de sulfates, valeurs qui impliqueraient une récupération de la plupart des lacs à bas pH qui ont été acidifiés depuis le début du siècle. Toutefois, une grande partie du sud du territoire québécois devrait recevoir des dépôts de valeur égale ou inférieure à ces charges. Les réductions permettront de récupérer 64 % des 29 000 lacs acides et de ramener le pH à plus de 6,0 pour 40 000 autres.

En milieu forestier, on a constaté une relation directe entre l'acidité et les concentrations de sulfates et de nitrates des précipitations. A Duchesnay, entre 1988 et 1994, la concentration de SO_4 dans les précipitations a découvert a diminué de 20 % mais les dépôts annuels moyens sont demeurés élevés (27,7 kg/ha) et n'ont que faiblement diminué, principalement en raison des variations importantes de la pluviométrie pour la période étudiée. La concentration de nitrates dans les précipitations à découvert n'a pas diminué significativement depuis 1988 et le dépôt annuel moyen est de 22,9 kg/ha. Les précipitations acides augmentent l'apport d'anions mobiles (SO_4^{2-} , NO_3^-) dans les écosystèmes forestiers. Dans les érablières dépérissantes des Appalaches, on a démontré que les carences foliaires sont associées à un déséquilibre entre le calcium, le potassium et le magnésium et entre le calcium et l'acidité échangeable du sol; ce déséquilibre pourrait être causé par les dépôts acides. Un programme de fertilisation a montré que l'application de cations basiques a causé une réduction de la proportion d'arbres montrant des symptômes de dépérissement actif et que les effets bénéfiques de la fertilisation se poursuivaient au moins 4 ans après le traitement. Par ailleurs, on note que les effets des dépôts acides sur les sols cultivés au Québec seraient négligeables.

Les aérosols acides, précurseurs des précipitations acides, ont des effets directs sur la santé. Les effets des aérosols acides ont été mis en évidence par des études cliniques et épidémiologiques humaines ainsi que par des expériences sur des animaux de laboratoire. Certaines études épidémiologiques canadiennes ont en effet déjà démontré des relations entre les concentrations de sulfates et les taux d'admission dans les hôpitaux ainsi qu'entre les aérosols acides et la fonction pulmonaire chez des adolescents. L'exposition de la population québécoise demeure cependant mal connue.

Finalement, aucune étude ni suivi gouvernemental n'ont été entrepris pour évaluer, au Québec, les dommages aux biens matériels (édifices, structures, monuments, etc.) causés par les précipitations acides.

TABLE DES MATIÈRES

ÉQUIPE DE RÉDACTION	iii
RÉSUMÉ	v
LISTE DES TABLEAUX	x
LISTE DES FIGURES	x
1. INTRODUCTION	1
2. LES SOURCES D'ÉMISSION	3
2.1 Interventions gouvernementales	3
2.2 Émissions de dioxyde de soufre au Québec	3
2.3 Perspectives des émissions de SO ₂ au Québec, au Canada et aux États-Unis	5
2.4 Émissions d'oxydes d'azote au Québec	6
3. LA SURVEILLANCE DE LA QUALITÉ DES PRÉCIPITATIONS AU QUÉBEC	7
3.1 Réseaux de mesure	7
3.2 Répartition spatiale des dépôts humides annuels de substances acidifiantes	7
3.3 Évolution temporelle des précipitations acides au Québec	10
3.4 Projection des dépôts acides au début du siècle prochain	15
4. LES IMPACTS DES PRÉCIPITATIONS ACIDES SUR LE MILIEU AQUATIQUE	21
4.1 Situation actuelle au Québec	21
4.1.1 Qualité des eaux de surface	21
4.1.2 Effets de l'acidité sur les organismes aquatiques	25
4.2 Réversibilité de l'acidification	26
4.3 Chaulage des eaux de surface	26
4.4 Effets des réductions des émissions de SO ₂	26
5. LES IMPACTS DES PRÉCIPITATIONS ACIDES SUR LES ÉCOSYSTEMES FORESTIERS	31
5.1 Impacts sur le couvert forestier	31
5.1.1 Acidité	31
5.1.2 Sulfates	31
5.1.3 Nitrates	34
5.1.4 Lessivage	36
5.2 Impacts indirects sur l'écosystème forestier par le sol	36
5.3 Dépérissement des érablières	37
5.4 Lutte contre le dépérissement	37
6. LES AUTRES IMPACTS	41
6.1 Impacts sur la santé	41
6.2 Impacts sur les matériaux	42
6.3 Impacts sur l'agriculture	43
7. CONCLUSION	45
8. RÉFÉRENCES	47

LISTE DES TABLEAUX

1. Évolution des émissions de SO ₂ au Québec (en tonnes métriques)	4
2. Évolution des émissions de SO ₂ au Québec et au Canada (en tonnes métriques)	5
3. Émissions d'oxydes d'azote en 1985 (en tonnes métriques)	6
4. Variation de l'acidité des précipitations et des concentrations de sulfates et nitrates dans les eaux de solution de deux écosystèmes forestiers	32
5. Variation des précipitations et des dépôts annuels de sulfates et de nitrates dans deux écosystèmes forestiers	35

LISTE DES FIGURES

1. Réseau d'échantillonnage des précipitations du Québec	8
2. Réseau de mesure des polluants atmosphériques en milieux forestier et agricole du Québec	9
3. Dépôt humide annuel moyen de SO ₄ (kg/ha/an)	11
4. Dépôt humide annuel moyen de NO ₃ (kg/ha/an)	12
5. pH annuel moyen des précipitations. Période 1990-1993	13
6. Évolution des concentrations hebdomadaires de SO ₄ (tendance en pour cent /année) dans les précipitations entre les années 1985 et 1993	14
7. Évolution des concentrations annuelles moyennes de SO ₄ dans les précipitations à Mont-Brun en Abitibi et évolution des émissions annuelles de SO ₂ de Minéraux Noranda	16
8. Régions définies pour le suivi des indicateurs de performance environnementale	17
9. Variation annuelle	
a) indicateur des sulfates	18
b) indicateur du pH	18
10. Dépôts humides de sulfates prévus en 2003	20
11. Variabilité spatiale de l'alcalinité totale dans les lacs du Bouclier canadien	22
12. Variabilité spatiale du pH dans les lacs du Bouclier canadien	23
13. Variabilité spatiale des sulfates dans les lacs du Bouclier canadien et superposition des concentrations moyennes annuelles de SO ₄ dans les précipitations	24
14. Dépassement de la charge critique en sulfates prévu pour 2003	28
15. Extension des zones de lacs acides de 1986 à 1990 et après 2003	29
16. Relation entre l'acidité des précipitations à découvert et les concentrations des nitrates et des sulfates	33
17. Étendue du dépérissement des érablières au Québec	
a) sud-est du Québec inventorié en 1985 et 1986	38
b) sud-ouest du Québec inventorié en 1987	39
18. Relation entre le taux de dépérissement, le statut nutritif foliaire en potassium et la croissance radiale des cinq dernières années de l'érable à sucre dans le sud-est du Québec	40

1. INTRODUCTION

Depuis la fin des années 1970, le phénomène des précipitations acides a préoccupé la population et les gouvernements de manière grandissante. Divers programmes de réduction des émissions à l'origine du phénomène ont été instaurés. Les gouvernements ont engagé d'importantes sommes d'argent afin de comprendre et d'évaluer l'ampleur du phénomène; l'industrie s'est aussi adaptée et des gains considérables ont été obtenus, surtout au Québec.

Une quinzaine d'années environ se sont maintenant écoulées depuis la mise en place du réseau de surveillance de la qualité des précipitations au Québec. De nombreuses études sur les impacts des précipitations acides sur le milieu aquatique ont été réalisées et on dispose maintenant d'informations permettant de mieux quantifier le problème. De même, les résultats de la recherche permettent maintenant de mieux comprendre certains aspects du phénomène et de savoir quels sont les aspects inconnus qui subsistent. L'émergence de nouveaux problèmes, particulièrement celui du smog photochimique, montre que le Québec est toujours une zone sensible et réceptrice de la pollution transportée sur de grandes distances. Le moment semble donc propice pour que le MEF fasse le point sur le phénomène des précipitations acides.

L'objectif du présent rapport est d'exposer un état de situation basé sur l'ensemble des données scientifiques disponibles. On discute d'abord des sources d'émissions de dioxyde de soufre (SO_2) et d'oxydes d'azote (NO_x) puis on présente les résultats relatifs à la qualité des précipitations telle qu'elle est évaluée à l'aide du réseau de mesure du MEF. Le chapitre 4 discute des impacts des précipitations acides sur le milieu aquatique puis, au chapitre 5, on donne certains résultats concernant leurs impacts sur les écosystèmes forestiers. Les autres impacts (sur la santé, les matériaux et l'agriculture) sont aussi brièvement présentés au chapitre 6.

Rappelons que le phénomène des précipitations acides résulte de l'émission, du transport et de la transformation de substances acidifiantes telles que le dioxyde de soufre (SO_2) et les oxydes d'azote (NO_x). Bien que le phénomène se manifeste lors de précipitations, les retombées sèches (gazeuses ou particulaires) contribuent souvent de manière importante à l'acidification du milieu.

2. LES SOURCES D'ÉMISSION

Les précipitations acides résultent principalement des émissions de dioxyde de soufre (SO₂) et d'oxydes d'azote (NO_x). Le dioxyde de soufre est un gaz résultant de l'oxydation du soufre, composante des combustibles fossiles et de matières premières. Les oxydes d'azote, principalement le monoxyde d'azote (NO), proviennent de la combustion des combustibles fossiles et sont surtout associés au transport.

Les émissions de SO₂ proviennent principalement des usines d'extraction de métaux non ferreux (cuivre, zinc, aluminium), de la combustion des combustibles fossiles contenant du soufre, de la production des pâtes et papiers, et des raffineries de pétrole.

2.1 Interventions gouvernementales

Au Québec, plusieurs règlements visant à améliorer la qualité de l'atmosphère ont été adoptés, à savoir:

- le " Règlement relatif aux fabriques de pâtes et papiers " , adopté en 1977;
- le " Règlement relatif à l'assainissement de l'air " (Règlement 90) de la Communauté urbaine de Montréal (CUM), adopté en 1978;
- le " Règlement sur la qualité de l'atmosphère " adopté en 1979, ayant pour objet d'établir les normes d'air ambiant et les normes d'émission ainsi que des mesures de contrôle pour prévenir, éliminer ou réduire les émissions des sources fixes.

Compte tenu que les oxydes de soufre sont les principaux polluants responsables de l'acidification des précipitations, ce sont les émissions de SO₂ que l'on a d'abord cherché à diminuer. Ainsi, le Québec s'engageait, dès le début des années 1980, à réduire de 30 % ses émissions de SO₂ et à coopérer avec les autres provinces et le gouvernement fédéral dans le but d'en arriver à solutionner le problème des précipitations acides.

En 1984, le gouvernement du Québec poursuivait cette lutte en adoptant une politique sur les précipitations acides qui prévoyait pour la fin de

1990, une diminution de 45 % des émissions québécoises de SO₂ par rapport à l'année 1980. Dans cette " Politique québécoise en matière de précipitations acides ", on visait ainsi à réduire les émissions de SO₂ pour atteindre un total annuel de 600 000 tonnes métriques à la fin de 1990 (dans ce texte, le terme tonne signifie tonne métrique).

En février 1985, par suite de cette récente politique, le gouvernement québécois adoptait deux règlements modifiant le " Règlement sur la qualité de l'atmosphère " et le " Règlement sur les fabriques de pâtes et papiers " visant respectivement à contrôler les émissions de SO₂ dans les usines d'extraction de cuivre et de zinc ainsi que dans les fabriques de pâtes et papiers.

En juin 1989, le gouvernement du Québec s'engageait, pour 1995, à hausser de 45 % à 55 % le taux de réduction de SO₂ afin que les émissions annuelles se situent à environ 500 000 tonnes par année.

En juin 1990, le gouvernement adoptait de nouvelles modifications au " Règlement sur la qualité de l'atmosphère ", imposant une limite plus stricte au contenu en soufre de l'huile lourde. Finalement, en août 1993, le Québec décidait de limiter ses émissions de SO₂ à 500 000 tonnes par année à compter de 1994.

2.2 Émissions de dioxyde de soufre au Québec

À la suite de la mise en oeuvre de ces politiques gouvernementales, des progrès ont été enregistrés au cours des dernières années au chapitre de la dépollution industrielle en ce qui concerne les émissions de SO₂.

L'évolution des émissions de SO₂ par secteur d'activités au Québec est présentée au tableau 1. On y constate que le total des émissions est passé de 1 097 900 tonnes en 1980 à 374 600 tonnes en 1991. Ce dernier total représente une réduction de 65,9 % par rapport à 1980 ce qui est supérieur à l'objectif de 55 % de réduction fixé pour l'année 1995.

Cette réduction s'explique principalement par une baisse des émissions provenant des procédés des usines d'extraction de cuivre et de zinc (73 %), des usines de pâtes et papiers (77 %) ainsi que des systèmes de combustion (78 %). Les moyens de transport et les raffineries de pétrole ont également contribué à cette réduction, mais de façon moins marquée.

Au Québec, pour l'année 1991 (tableau 1), les émissions de SO₂ provenant des procédés des usines d'extraction de cuivre et de zinc représentaient 56,4 % du total des émissions de SO₂ de la province. L'utilisation des combustibles fossiles représentait une part moins importante, soit 24,8 %. Les procédés des autres secteurs (alumineries, raffineries de pétrole, usines de pâtes et papiers, etc.) représentaient seulement 18,8 % du total des émissions.

Plusieurs facteurs expliquent les variations (à la baisse ou à la hausse) dans les émissions québécoises de SO₂ entre 1980 et 1991. Parmi les principaux, on note :

- la fermeture d'usines, notamment des raffineries de pétrole, une cimenterie, des mines d'amiante;
- la construction de nouvelles usines, notamment des alumineries;
- la construction d'usines d'acide sulfurique dans le secteur d'extraction du cuivre et du zinc afin de récupérer les émissions de SO₂;
- le remplacement du mazout lourd par le gaz naturel ou par d'autres combustibles à faible teneur en soufre dans les secteurs industriels;
- l'application de mesures de conservation d'énergie;
- l'imposition de limites plus sévères quant à la teneur en soufre de l'huile lourde;
- la modernisation conjuguée à la baisse de production des pâtes au sulfite et au bisulfite dans l'industrie des pâtes et papiers;
- les améliorations apportées à divers procédés industriels et aux systèmes antipollution ou l'installation de tels systèmes.

Tableau 1

Évolution des émissions de SO₂ au Québec (en tonnes métriques)

Secteurs	1980	1985	1990	1991
1. Procédés industriels				
Usines d'extraction de Cu et de Zn	640 900	482 900	191 400	211 200
Alumineries	39 600	19 000	25 600	33 100
Raffineries de pétrole	13 200	11 100	8 900	8 300
Fabriques de pâtes et papiers	33 100	17 700	14 300	7 400
Autres procédés industriels	24 300	36 700	33 900	21 600
Sous-total:	751 100	567 400	274 100	281 600
2. Utilisation des combustibles fossiles				
Systèmes de combustion	288 600	83 500	84 600	64 000
Moyens de transport	58 200	35 100	36 100	29 000
GRAND TOTAL:	1 097 900	686 000	394 800	374 600

L'évolution des émissions de SO₂ au Québec, comparativement à celle des autres provinces canadiennes, est donnée au tableau 2. Entre 1980 et 1990, la réduction des émissions a été plus importante au Québec (64,4 %) qu'ailleurs au Canada: elle n'a été que de 17,6 % dans les autres provinces canadiennes et de 23 % dans les provinces situées à l'est de la Saskatchewan (Québec exclu). En Ontario, les émissions sont passées de 1,8 millions de tonnes (Mt) en 1980 à 1,2 Mt en 1990 et à environ 900 000 tonnes en 1992 (50 % par rapport à 1980).

2.3 Perspectives des émissions de SO₂ au Québec, au Canada et aux États-Unis

Dans le secteur de l'extraction du cuivre et du zinc, la proposition de modifications au Règlement sur la qualité de l'atmosphère prévoit, pour l'usine d'extraction de cuivre de Minéraux Noranda, que les émissions de SO₂ se limiteront à 10 % du soufre intrant à compter du 31 décembre 2001.

Dans le secteur des alumineries, on devrait, en l'an 2000, s'attendre, par rapport à 1991, à une augmentation de 30 % (10 000 tonnes) des émissions de SO₂ à la suite de l'entrée en fonction de nouvelles alumineries et l'accroissement de la production dans les alumineries existantes.

Dans le secteur des raffineries de pétrole, la quantité de pétrole brut raffiné en 1990 devrait rester sensiblement la même jusqu'en l'an 2000. Ainsi, les émissions de SO₂ provenant de ce secteur ne devraient pas changer de manière importante.

Dans le secteur des pâtes et papiers, la réduction de la production des pâtes au sulfite et au bisulfite annulerait l'augmentation des émissions de SO₂ causée par l'accroissement de la production de pâtes prévue d'ici l'an 2000.

Pour les autres installations industrielles (cimenteries, usines de bouletage de minerai de fer et autres usines métallurgiques, etc.), on s'attend, d'après les prévisions économiques, à une augmentation de l'ordre de 20 000 tonnes des émissions de SO₂, provenant essentiellement de l'utilisation des combustibles fossiles.

Quant aux systèmes de combustion proprement dits, même si certaines prévisions indiquent une augmentation d'environ 25 % de la consommation de gaz naturel, les émissions de SO₂ associées à ce combustible sont négligeables. On s'attend à ce que l'utilisation de l'huile lourde demeure quant à elle relativement constante.

Tableau 2

Évolution des émissions de SO₂ au Québec et au Canada
(en tonnes métriques)

Provinces	Année		
	1980	1985	1990
Québec	1 097 900	686 000	394 800
Autres provinces canadiennes	3 552 400	2 993 900	2 927 000
Provinces à l'est de la Saskatchewan (sauf le Québec)	2 729 300	2 262 400	2 102 000

Ainsi, non seulement le Québec atteint son objectif en termes d'émissions de SO₂ (500 000 tonnes en 1994), mais il pourra aussi, dans les années à venir, maintenir ses émissions de SO₂ au niveau actuel, soit environ 400 000 tonnes par année.

Les grandes lignes de l'accord conclu en 1991 entre le Canada et les États-Unis en matière de contrôle des émissions de SO₂ (Accord Canada-États-Unis, 1992) sont les suivantes :

- le Canada s'est engagé à réduire ses émissions de SO₂ à 3,2 Mt/an pour l'an 2000 et à plafonner, dès 1994, les émissions de SO₂ des sept provinces de l'est du Canada à 2,3 Mt/an;
- les États-Unis se sont engagés à réduire de 10 Mt leurs émissions annuelles de SO₂; cette réduction de tout près de 40 % se fera en deux phases de 20 % chacune, en 1995 et en 2000. Les émissions américaines totalisaient 23,4 Mt en 1980.

Pour les états américains susceptibles d'influencer les dépôts au Canada, on s'attend à ce que les émissions passent d'environ 14 Mt en 1990 à environ 7,4 Mt en l'an 2000. En 2010, avec la mise en application complète du CAAA-1990 (*Clean Air Act Amendment*), le total des émissions américaines de SO₂ devrait être de 14,5 Mt.

2.4 Émissions d'oxydes d'azote au Québec

Le tableau 3 donne les émissions d'oxydes d'azote en 1985 (seule année dont les données sont disponibles) pour le Québec, le Canada et les provinces à l'est de la Saskatchewan, excluant le Québec. On y constate que le secteur des transports contribue à environ 80 % du total des émissions de NO_x au Québec et à environ 64 % du total au Canada.

On s'attend à ce que les émissions de NO_x pour l'ensemble du Canada augmentent, en 2005, de 6 % par rapport à 1985. En 1995, l'efficacité des normes actuelles à réduire les émissions des véhicules automobiles devrait être atteinte; après 1995, le total de ces émissions se stabilisera, car l'accroissement du parc automobile neutralisera l'effet de réduction attribuable aux normes. De même, les émissions de NO_x dans le secteur industriel devraient augmenter en raison de l'accroissement de la population et des activités industrielles.

L'augmentation du total des émissions se fera de manière inégale au Canada. Ainsi, on s'attend à ce que le total des émissions demeure à peu près au niveau actuel au Québec et en Ontario alors qu'il diminuera dans certaines provinces et augmentera dans d'autres (CCME, 1990).

Tableau 3

Émissions d'oxydes d'azote en 1985 (en tonnes métriques)

Secteurs	Québec	Canada	Provinces à l'est de la Saskatchewan (sauf le Québec)
Industrie	6 860	88 931	44 278
Combustion sources fixes	34 248	593 391	226 455
Transport	192 759	1 252 901	559 272
Autres	6 011	24 269	4 893
TOTAL	239 876	1 959 492	834 898

3. LA SURVEILLANCE DE LA QUALITÉ DES PRÉCIPITATIONS AU QUÉBEC

3.1 Réseaux de mesure

Le programme d'échantillonnage de la qualité des précipitations du Québec est le moyen dont s'est doté le MEF pour mesurer la qualité des précipitations au Québec. Ce programme englobe actuellement deux réseaux de mesure : le réseau d'échantillonnage des précipitations du Québec (REPO) et le réseau de mesure des polluants atmosphériques en milieu forestier et agricole du Québec (REMPAFAQ). Les objectifs poursuivis par le programme québécois d'échantillonnage des précipitations sont :

- la mesure et le suivi de l'évolution spatio-temporelle des dépôts de substances acidifiantes à l'échelle du Québec;
- la cueillette de données de base pour l'étalonnage de modèles de transport à grande distance des polluants atmosphériques. Les résultats fournis par ces modèles permettent d'élaborer et de mettre à jour les politiques de réduction des émissions à l'origine des dépôts acides.

Le premier objectif comporte deux volets que l'on peut préciser de la façon suivante :

- l'évaluation de l'efficacité des politiques québécoises, canadiennes et américaines de réduction des émissions à l'origine des dépôts acides;
- la création d'une banque pouvant fournir aux scientifiques les données nécessaires pour étudier les effets des substances acidifiantes sur les écosystèmes, la santé humaine et les bâtiments.

Le réseau d'échantillonnage des précipitations du Québec (REPO) a vu le jour en 1981 et comporte actuellement 23 stations de mesure (figure 1). Le réseau de mesure des polluants atmosphériques en milieu forestier et agricole du Québec (REMPAFAQ) a, pour sa part, été implanté entre 1988 et 1992 et comporte actuellement 16 stations d'échantillonnage des précipitations (figure 2).

Comme on peut le constater aux figures 1 et 2, la densité de ces réseaux est plus importante dans le sud de la province, c'est-à-dire dans les régions où les dépôts acides sont les plus élevés et où, par surcroît, les effets de ces dépôts sur les écosystèmes forestier et aquatique se font ressentir de façon plus marquée. De plus, on notera également une densité relativement importante du réseau REPO dans la région environnant l'usine d'extraction de cuivre Horne de Rouyn-Noranda.

À l'instar des autres programmes de surveillance des dépôts acides, le programme québécois d'échantillonnage des précipitations s'est doté, au cours des années 1980, d'un plan complet d'assurance de la qualité. Ce plan couvre l'ensemble des opérations depuis le prélèvement des échantillons sur le terrain jusqu'à l'archivage des résultats dans les banques informatiques du Ministère. L'assurance de la qualité est l'un des éléments qui a contribué le plus à la reconnaissance du programme québécois d'échantillonnage autant à l'échelle nationale qu'à l'échelle internationale.

Le MEF ne possède actuellement aucun réseau de surveillance des dépôts secs. Or, selon des estimations (RMCC, 1990), on croit qu'au Québec, la composante sèche des dépôts acides, représente en moyenne environ 15 % des dépôts totaux (secs et humides) de sulfates (50 % près de Rouyn-Noranda) et de 30 % à 60 % des dépôts totaux de NO_x . La mesure des dépôts secs est délicate et demeure encore très difficile à réaliser.

3.2 Répartition spatiale des dépôts humides annuels de substances acidifiantes

Pour des raisons d'ordre géographique et climatique, le Québec est situé directement en aval de régions sources importantes de SO_2 et de NO_x comme le sud de l'Ontario et les États du nord-est et du Midwest américain. À cette pollution provenant d'outre frontière s'ajoute évidemment celle produite au Québec. Précisons aussi que les oxydes de soufre sont les principaux responsables de l'acidification des précipitations au Québec.

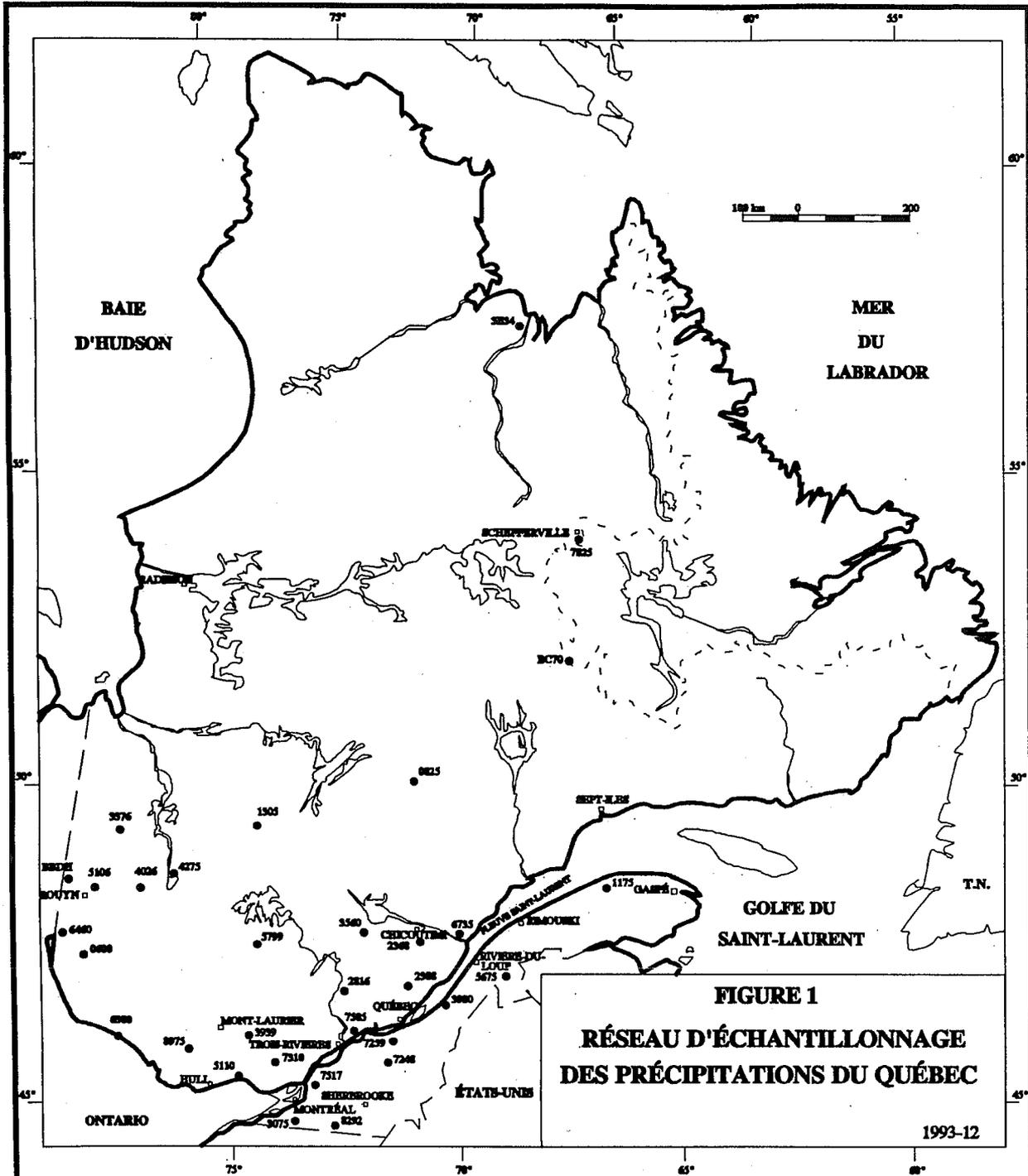


FIGURE 1
RÉSEAU D'ÉCHANTILLONNAGE
DES PRÉCIPITATIONS DU QUÉBEC

1993-12

NOM	No. MÉTÉO	No. DQMA	NOM	No. MÉTÉO	No. DQMA	NOM	No. MÉTÉO	No. DQMA
BELLETERRE	0800	04280026	KUUDUAQ-IA	3854	10330001	RÉMYNT	6460	04380088
BONKARD	0823	04230009	LAC BOUCHETTE	3508	06180041	SACRÉ-COEUR	6753	04280004
CAP-SBZEZ	1173	02140029	LA MACAZA	3809	04020073	SAINTE-FERDINAND	7248	02400020
CHAPAIN	1305	08070030	LAMARTINE	3980	02400002	SAINTE-FLAVIEN	7259	02340002
DUPARQUET	3826	04080005	LA MORANDIÈRE	4026	08070032	SAINTE-HIPPOLYTE	7310	03220117
FERLAND	2348	04080085	LEBEL-SUR-QUÉVILLON	4275	08070025	SAINTE-MADELEINE	7317	05040056
FERMONT	BC70	07230011	MONT-BEUN	5106	04030086	SAINTE-MARCHE	7383	05090090
FORÊT-MONTMORENCY	2348	03100023	MONTÉHELLO-SEBASTIEN	5110	04030002	SCHÉPPEVILLE	7623	16570021
GRANDE-ANNE	2816	05010111	NOTRE-DAME-DU-LAC	5675	01170014	SUTTON	8252	03640037
HERRINGFORD-FOUR-WINDS	3073	05090017	PARENT-S	5799	04080121	WEGHET	8975	04680142
ROUTE	3876	08010016	RAPIDES-DES-TOACHEMS	4980	04030087			

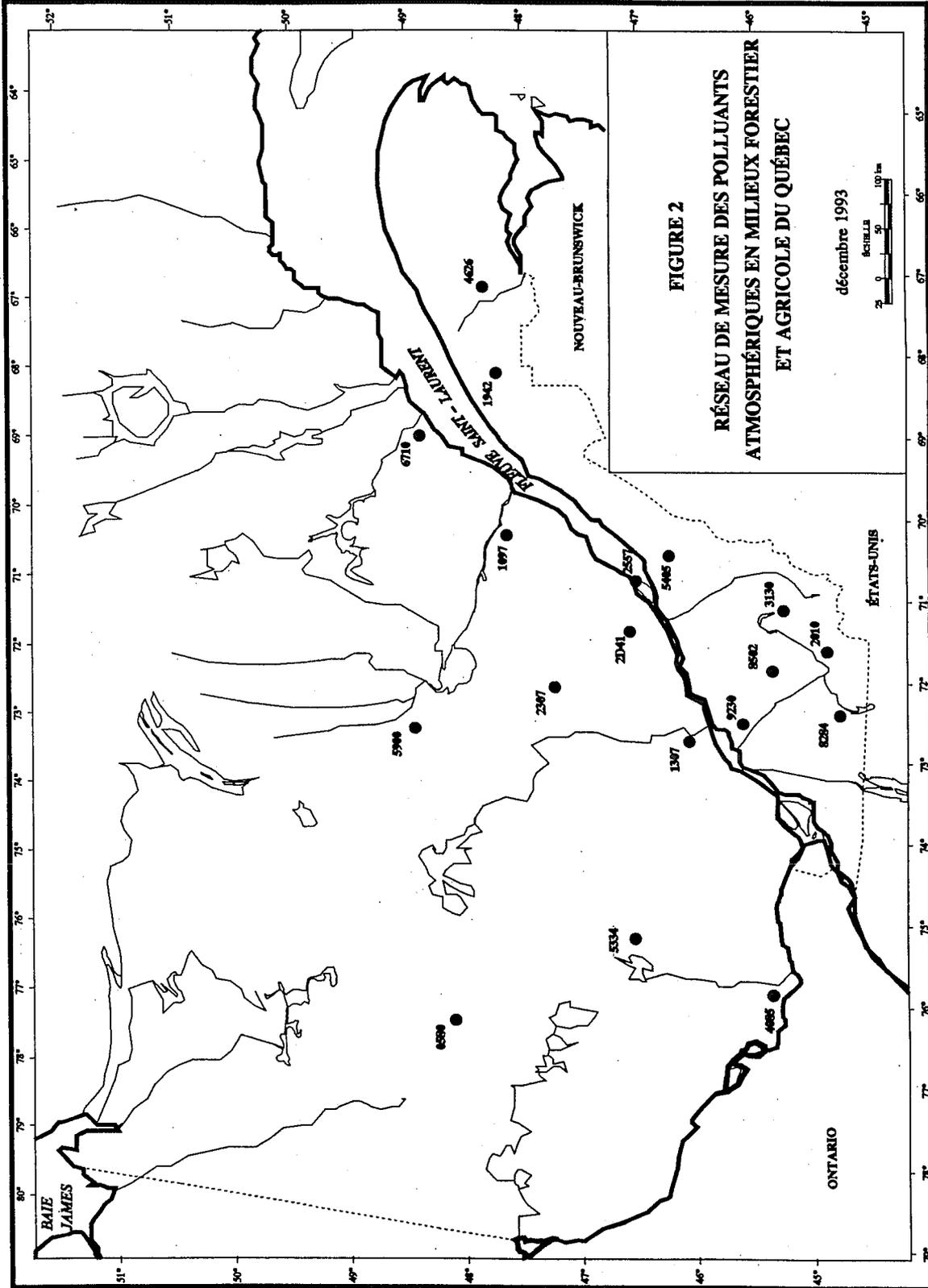


FIGURE 2
RÉSEAU DE MESURE DES POLLUANTS
ATMOSPHÉRIQUES EN MILIEUX FORESTIER
ET AGRICOLE DU QUÉBEC

décembre 1993



NOM	No. MÉTÉO	No. PQMA	NOM	No. MÉTÉO	No. PQMA	NOM	No. MÉTÉO	No. PQMA
BEL	0390	06070035	BLAIRE	3130	06020197	FÉRONCA	5900	06190086
CAP-ÉTERNITÉ	1077	06090004	LA PÊCHE	4083	04060021	ROUTE 303	6710	07060001
CHARBTE	1307	05000008	MARGUERITE	4626	01150018	STURLEY	0620196	0620196
CÔTE-OUDET	1942	02190006	MONT-SAINT-MICHEL	5354	04060111	TINGWICK	8302	06010049
			N.-D.-DU-ROSAIRE	5405	02310011	ZEPHERIN	9230	06020195

Selon les estimations faites en 1985, (Lelièvre et al., 1985), les sources québécoises faisaient sentir leur influence surtout dans le sud de la province avec des contributions relativement élevées (plus de 50 %) seulement près des sources majeures. La contribution des sources québécoises aux dépôts était inférieure à 40 % dans le centre du Québec et au nord de l'Abitibi et de la Côte-Nord. Les sources ontariennes contribuaient pour plus de 40 % aux dépôts au Témiscamingue et dans l'Outaouais supérieur; ailleurs, cette contribution était inférieure à 25 % sur la plus grande partie du territoire. Enfin, la contribution des sources américaines variait entre 40 % et 50 % sur un vaste territoire de la province.

Précisons que ces estimations reposent sur les émissions nord-américaines de SO₂ de l'année 1980 et que, depuis ce moment, les émissions québécoises et ontariennes de SO₂ ont considérablement diminué (plus de 50 %) alors que les autres ont peu varié ou ont diminué de manière beaucoup moins importante. Ainsi, en 1980, le total des émissions de SO₂ aux États-Unis et au Canada était de 28,5 Mt, de 25,1 Mt (-11,9 %) en 1985 et de 23,7 Mt en 1992 (-16,8 %) (Accord Canada-États-Unis, 1994).

Les calculs des contributions ont été récemment repris par Environnement Canada (Fenech, 1996, communication personnelle) avec les émissions (SO₂) canadiennes pour 1994 et les émissions américaines prévues pour 1995. Ainsi, à Forêt-Montmorency, au nord de Québec, on obtient que la contribution québécoise aux dépôts humides est de 22 %, la contribution ontarienne de près de 20 % et la contribution américaine de 58 %. Les réductions d'émissions en Ontario et au Québec ont donc fait augmenter la contribution relative des sources américaines aux dépôts humides à cet endroit.

Les figures 3, 4 et 5 montrent, respectivement, les dépôts humides annuels moyens de sulfates (SO₄), de nitrates (NO₃) et le pH annuel moyen des précipitations pour la période allant de 1990 à 1993 inclusivement. Au Québec méridional, les dépôts humides de sulfates varient de 11 à 31 kg/ha/an et ceux des nitrates varient de 7 à 25 kg/ha/an. C'est l'extrême sud de la province et la vallée du Saint-Laurent qui reçoivent les plus forts dépôts humides de sulfates et de nitrates.

Des dépôts relativement élevés sont aussi observés dans les Laurentides, au nord de Québec, en raison, notamment, de l'abondance des précipitations dans cette région. Notons également que les répartitions spatiales des dépôts humides de nitrates et de sulfates ont sensiblement la même forme, sauf en Abitibi, région soumise à l'influence directe de sources importantes de dioxyde de soufre. Soulignons qu'au cours de la période allant de 1990 à 1993, un territoire moyen de 100 700 km² recevait un dépôt humide de sulfates supérieur à 20 kg/ha/an.

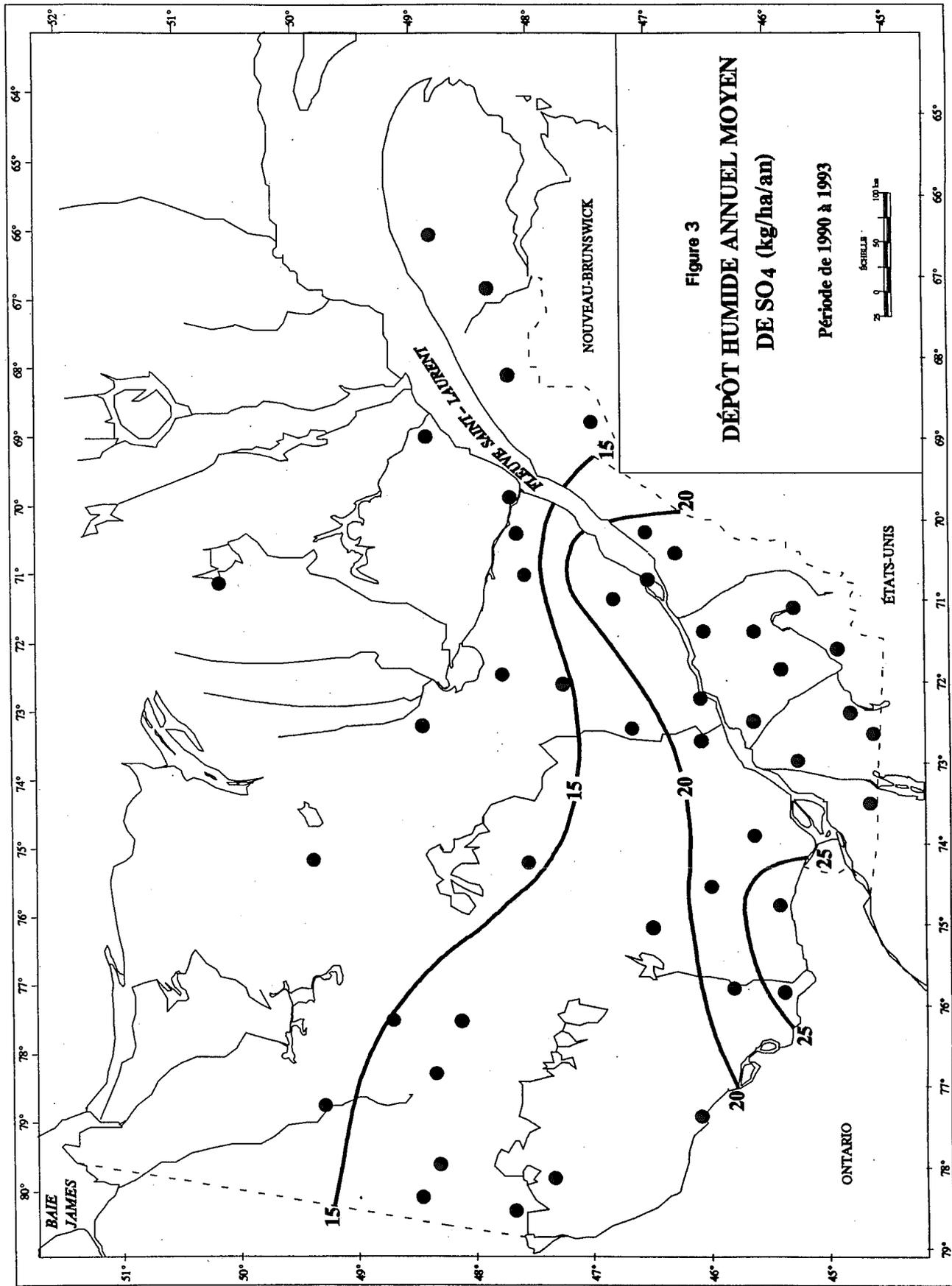
Le pH annuel moyen des précipitations varie de 4,28 à 4,60 sur le territoire situé au sud de 50° N et sa moyenne, pour l'ensemble de ce même territoire, est de l'ordre de 4,35, ce qui correspond à une précipitation 18 fois plus acide qu'une précipitation en équilibre avec le CO₂ atmosphérique (pH = 5,6).

3.3 Évolution temporelle des précipitations acides au Québec

Une étude de l'évolution des précipitations acides au Québec a été réalisée récemment par Pinard et Boulet (1995). Elle porte sur les observations de 17 stations du réseau d'échantillonnage des précipitations, entre les années 1985 et 1993. Ces stations ont été choisies parce qu'elles possèdent de longues séries d'observations (9 ans ou plus) sur une période commune (1985 à 1993). On présente ici les principales conclusions de ce travail.

La figure 6 décrit l'évolution des concentrations de SO₄ dans les précipitations entre les années 1985 et 1993. On y montre, pour chacune des stations retenues, la grandeur de la tendance observée. Cette dernière exprime, en pour cent par année, la variation relative moyenne des concentrations de SO₄ d'une année à l'autre.

L'examen de la figure 6 révèle d'abord une réduction des teneurs en SO₄ dans les précipitations pour l'ensemble des stations. Parmi les 17 stations retenues, 10 stations montrent une tendance à la baisse significative (niveau 95 %) alors que pour les 7 autres stations, il n'y a pas de tendance significative.



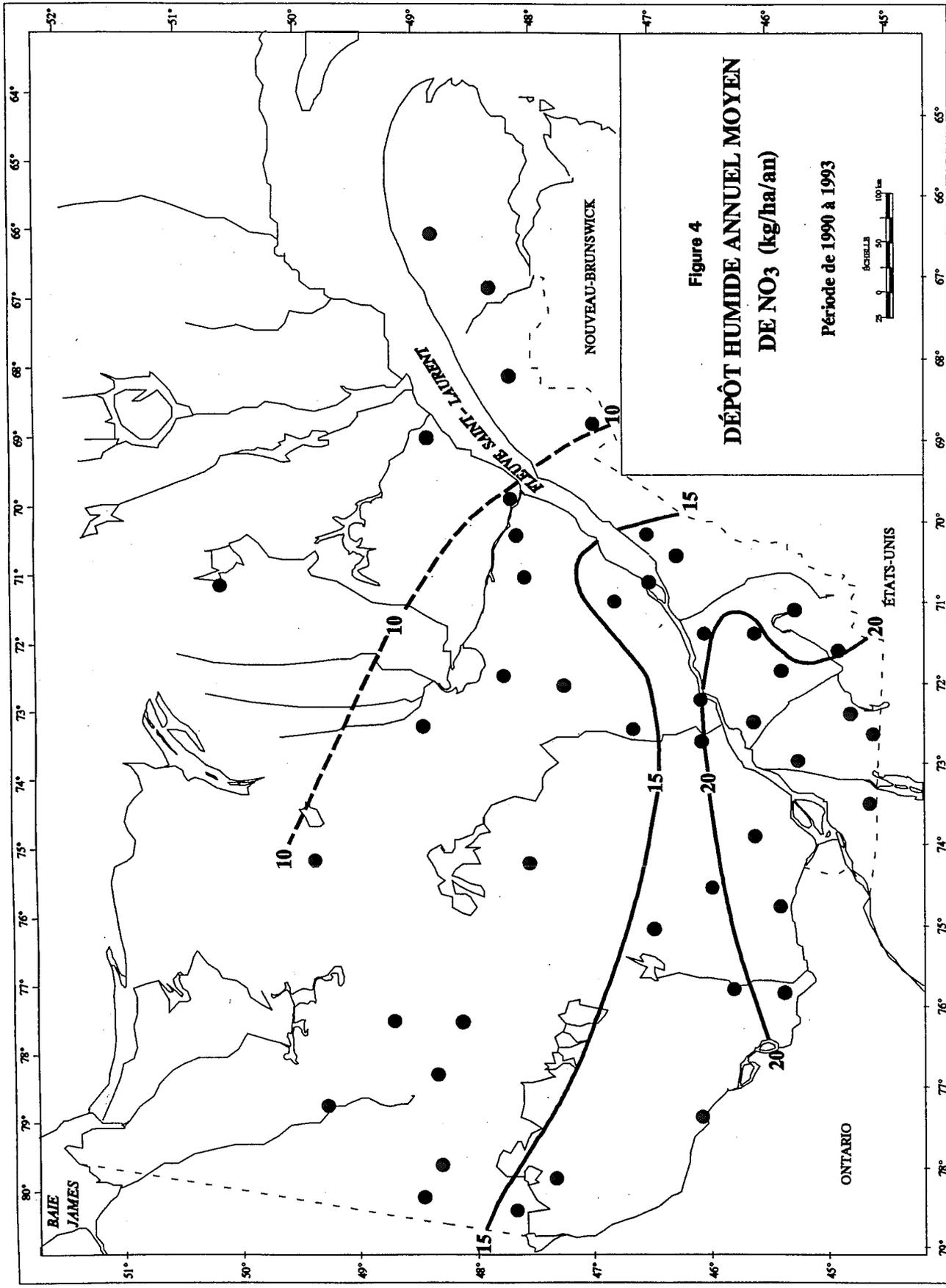
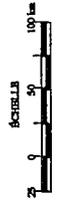
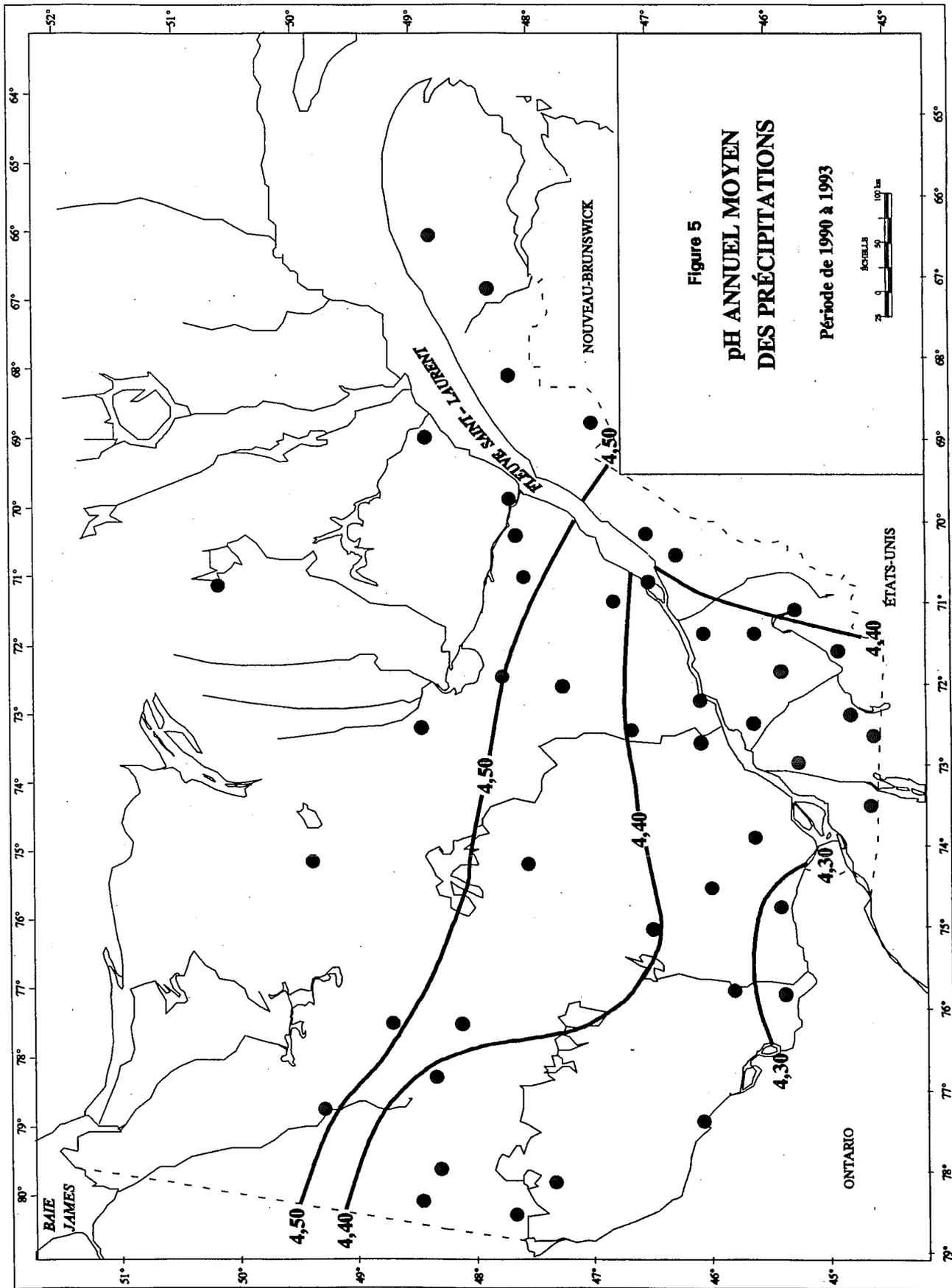


Figure 4
 DÉPÔT HUMIDE ANNUEL MOYEN
 DE NO_3 (kg/ha/an)

Période de 1990 à 1993





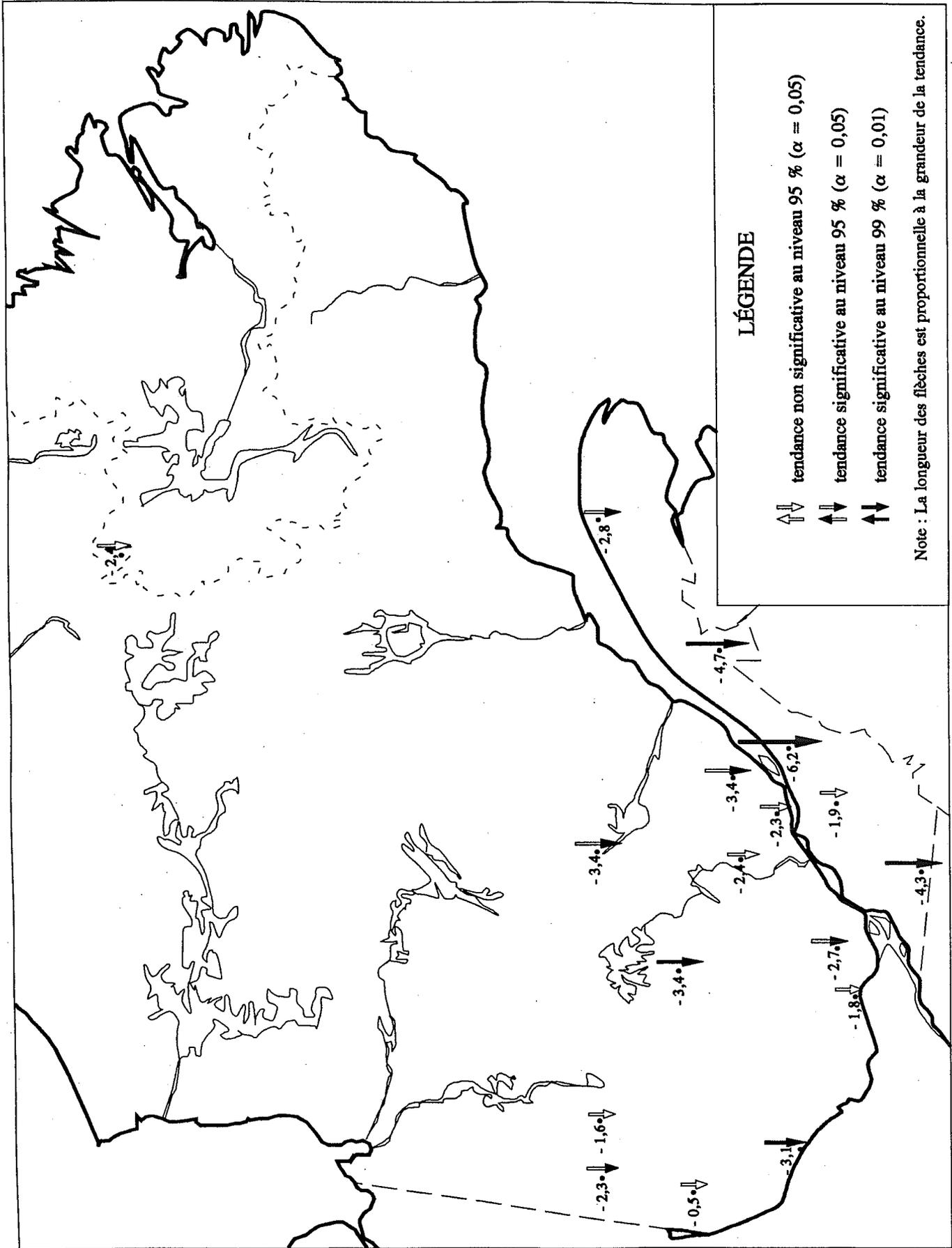


Figure 6 Évolution des concentrations hebdomadaires de SO_4 (tendance médiane en pour cent/année) dans les précipitations entre les années 1985 et 1993

Les réductions les plus importantes de la concentration en sulfates se produisent sur un territoire situé au sud du fleuve Saint-Laurent et s'étendant de la frontière américaine jusqu'au Témiscouata.

On y enregistre une réduction moyenne d'environ 4 %/année des teneurs en SO_4 . Une diminution d'environ 3 %/année des concentrations de sulfates est par ailleurs observée le long d'un corridor passant par l'Outaouais (Rapide-des-Joachims) et se rendant jusqu'au lac Saint-Jean. Ailleurs au Québec, les teneurs en sulfates ont diminué à un taux moyen variant de 0,5 %/année à 2,8 %/année au cours de la période de 1985 à 1993.

L'évolution des précipitations acides en Abitibi revêt un intérêt particulier puisque cette région est soumise à l'influence directe des émissions de SO_2 de l'usine d'extraction de cuivre Horne de Minéraux Noranda. La figure 7 illustre l'évolution des émissions annuelles de SO_2 de cette source ainsi que les concentrations annuelles moyennes de SO_4 dans les précipitations à Mont-Brun, qui est situé à environ 25 km au nord-est de Rouyn-Noranda. On y constate l'excellente corrélation entre les émissions de SO_2 de Minéraux Noranda et les teneurs en SO_4 à Mont-Brun (coefficient de corrélation de 0,80). La réduction de plus de 50 % des émissions de SO_2 survenue en 1990 à Minéraux Noranda semble avoir contribué grandement à l'amélioration de la qualité des précipitations en Abitibi. En effet, la concentration de SO_4 à Mont-Brun a chuté de 51,1 $\mu\text{eq/l}$ en moyenne entre les années 1985 et 1988 à 41,1 $\mu\text{eq/l}$ en moyenne entre les années 1990 et 1993. Cette réduction d'environ 20 % de la teneur en SO_4 en Abitibi est attribuable à la politique québécoise de réduction des émissions de SO_2 et aux efforts de Minéraux Noranda.

La figure 8 montre les régions définies pour suivre l'évolution annuelle de deux indicateurs environnementaux développés afin rendre compte de la qualité des eaux de précipitations. Ces indicateurs sont (Pinard, 1989) :

- indicateur du pH : pourcentage des précipitations hebdomadaires ayant un pH inférieur ou égal à 4,6. Le seuil pour le pH a été établi à 4,6 puisqu'il s'agit du pH sous lequel les précipitations présentent un danger pour la survie des écosystèmes aquatiques sensibles;
- indicateur des SO_4 : pourcentage des précipitations hebdomadaires ayant une concentration en SO_4 supérieure ou égale à 32 $\mu\text{eq/l}$. Les précipitations de pH inférieur à 4,6 ont, en général, une concentration en SO_4 supérieure à 32 $\mu\text{eq/l}$.

Une analyse statistique des données apparaissant à la figure 9a révèle une légère diminution de l'indicateur des sulfates pour les régions 1, 2, 3 et 4 entre les années 1982 et 1993. En d'autres termes, on observe, pour ces régions, une légère diminution de la fréquence des précipitations hebdomadaires ayant une concentration en sulfates supérieure à 32 $\mu\text{eq/l}$. L'amélioration la plus importante se produit dans la région 4, c'est-à-dire dans une vaste région s'étendant de la baie James au Témiscouata en passant par le lac Saint-Jean. Dans cette région, la fréquence des précipitations ayant une concentration en sulfates supérieure à 32 $\mu\text{eq/l}$ est passée de 55 % (moyenne de 1982 à 1987) à environ 42 % (moyenne de 1988 à 1993). Pour l'ensemble de la province, la fréquence des précipitations ayant une teneur en sulfates supérieure à 32 $\mu\text{eq/l}$ a chuté de 62 % (moyenne de 1982 à 1987) à 53 % (moyenne de 1988 à 1993).

Par ailleurs, on note que 68 % des précipitations hebdomadaires sur l'ensemble du Québec ont un pH inférieur à 4,6 (moyenne de 1982 à 1993) (figure 9b). De plus, une analyse statistique de l'indicateur du pH ne montre aucune amélioration de ce dernier avec les années. En d'autres termes, les précipitations hebdomadaires présentant une menace pour les écosystèmes aquatiques ont été aussi fréquentes au début des années 1990 qu'au cours de la dernière décennie. De plus, tout près de 81 % des précipitations hebdomadaires dans l'Outaouais et dans l'extrême sud de la province (région 1, figure 8) présentent une menace pour les écosystèmes aquatiques (pH inférieur ou égal à 4,6).

3.4 Projection des dépôts acides au début du siècle prochain

Quels seront les dépôts acides au Québec au début du siècle prochain dans l'hypothèse où le Canada et les États-Unis respectent leur engagement respectif en matière de réduction des émissions à l'origine des dépôts acides ?

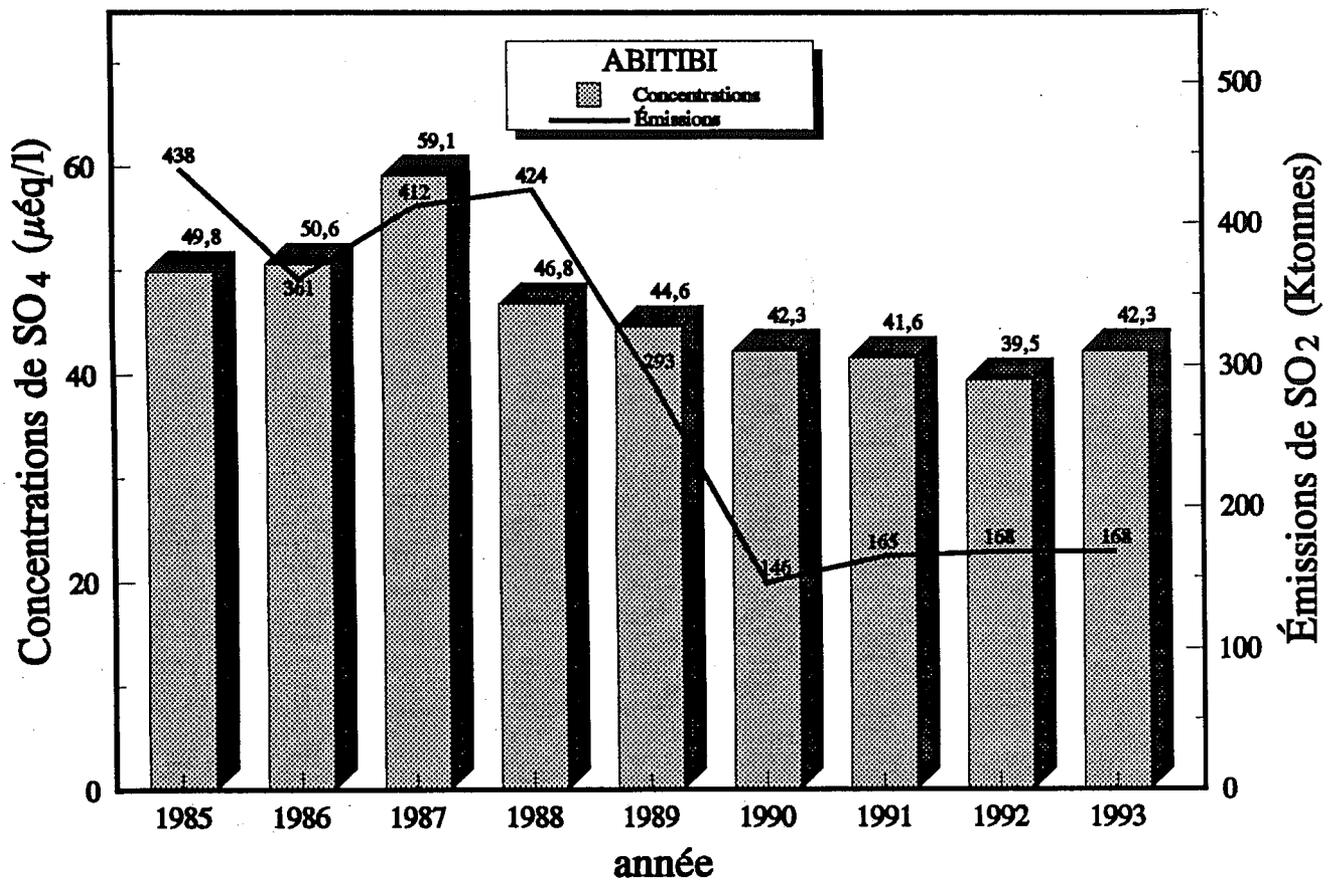
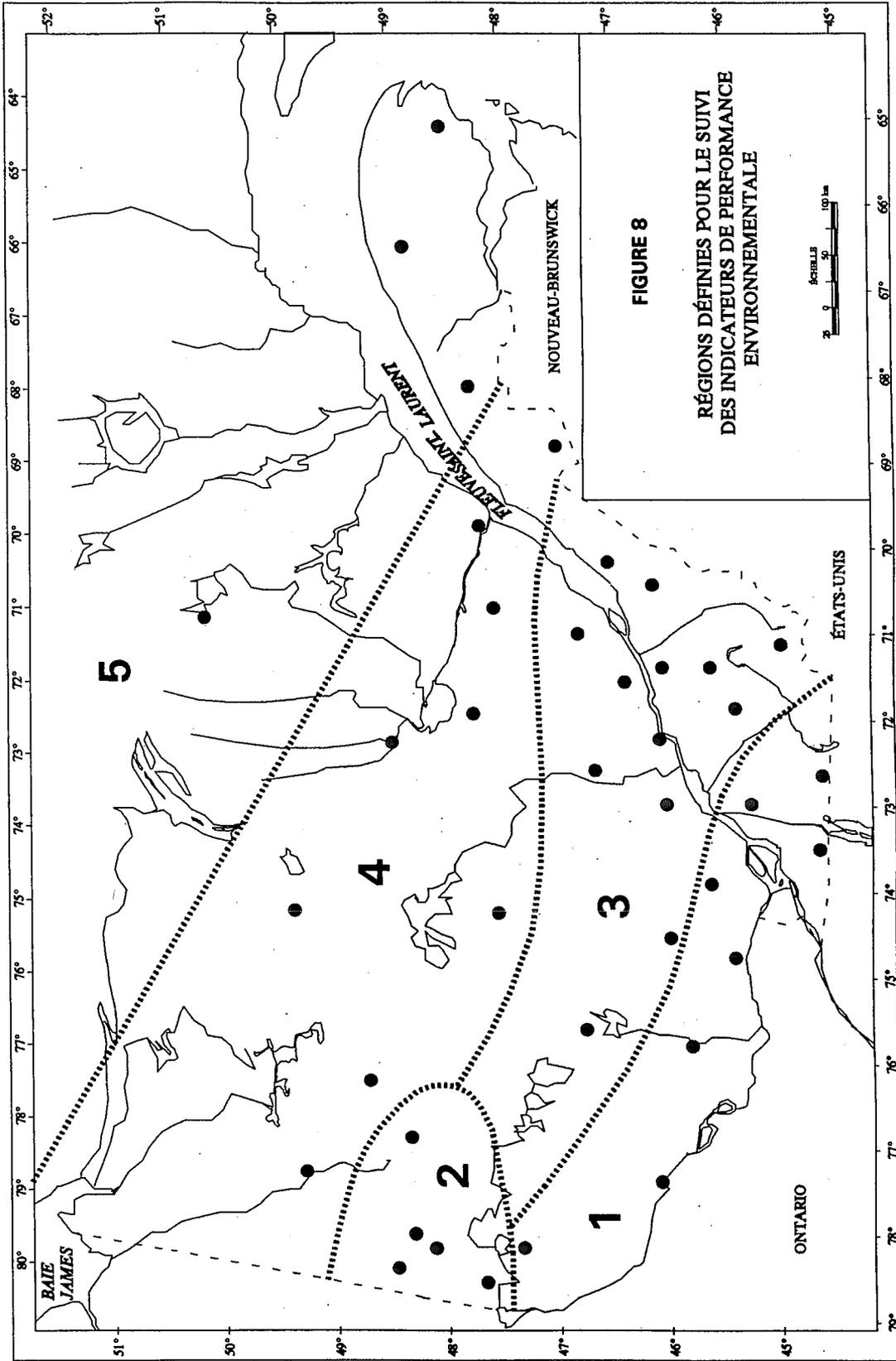


Figure 7 Évolution des concentrations annuelles moyennes de SO₄ dans les précipitations à Mont-Brun, en Abitibi, et évolution des émissions annuelles de SO₂ de Minéraux Notanda



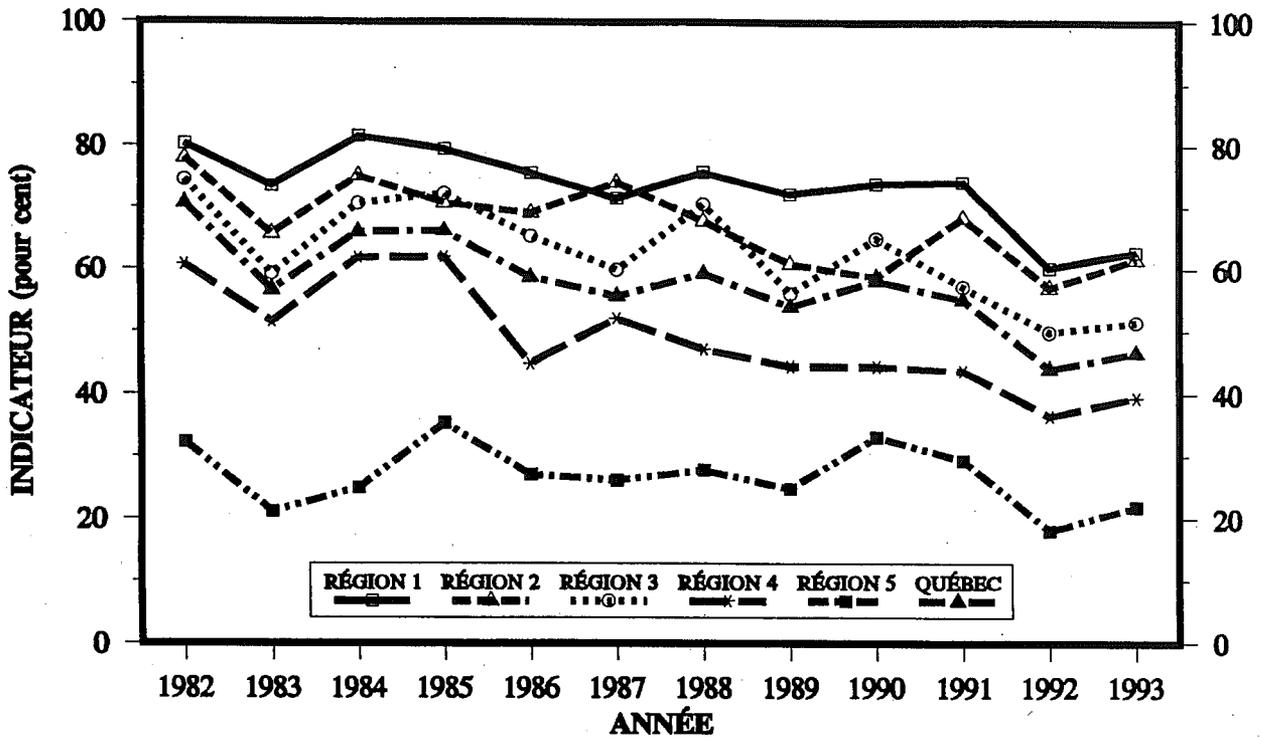


Figure 9-A Variation annuelle de l'indicateur des sulfates

Pourcentage des précipitations hebdomadaires
ayant une concentration en sulfates > 32 µeq/l

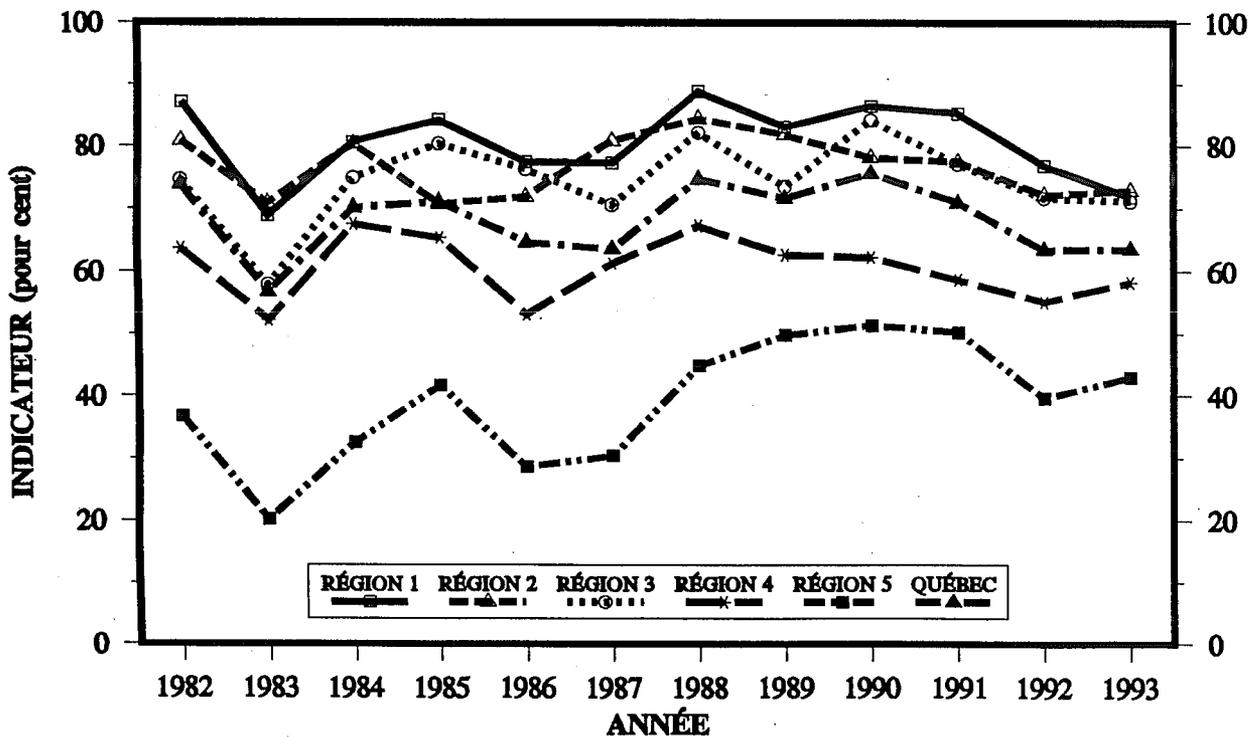


Figure 9-B Variation annuelle de l'indicateur du pH

Pourcentage des précipitations hebdomadaires
ayant un pH < 4,6

La figure 10 montre les dépôts humides annuels de sulfates prévus en 2003 après la réduction des émissions canadiennes et américaines (Dupont, 1993). Cette prévision des dépôts repose sur des simulations effectuées par Environnement Canada (RMCC, 1990). Si on compare cette carte à la figure 3 (dépôts humides annuels de sulfates au cours des années 1990), on constate une contraction évidente de l'isoline de 20 kg/ha/an en 2003 par rapport à la situation qui a prévalu au début des années 1990. Cependant, un vaste territoire englobant la région de Québec, une partie des Laurentides, de la région des Bois-Francs et de l'Estrie continuera à recevoir, en 2003, des dépôts humides de sulfates supérieurs à 20 kg/ha/an. Une étude récente (EPA, 1995) réalisée avec un modèle eulérien montre que la région qui recevrait des dépôts

humides de sulfates supérieurs à 20 kg/ha/an en 2010 serait un peu plus grande et engloberait la région de l'Outaouais; la différence entre ces résultats pourrait être attribuable aux différences dans les scénarios d'émissions et dans les modèles utilisés. Cette même étude montre qu'une réduction additionnelle de 50 % des émissions anticipées pour le secteur de la production d'énergie conduirait à des dépôts humides de sulfates de 12 à 18 kg/ha/an pour la plus grande partie du sud du Québec.

Ainsi, il est clair que toute réduction additionnelle des dépôts acides au Québec reposera essentiellement sur la volonté qu'auront nos voisins américains et ontariens de réduire davantage leurs émissions de SO₂.

Figure 10
DÉPÔTS HUMIDES DE SULFATES PRÉVUS EN 2003

