

CALIBRATION ET OPTIMISATION DU MODÈLE
QUÉBÉCOIS DE TRANSPORT À GRANDES
DISTANCES DES POLLUANTS ATMOSPHÉRIQUES
(Rapport d'étape No 1)

Par

Jean-Pierre Fortin
Gilles Boulet
Marius Lachance

Rapport scientifique No 197
INRS-Eau
C.P. 7500
Sainte-Foy (Québec)
G1V 4C7

Pour

Ministère de l'Environnement du Québec

Avril 1986

TABLE DES MATIÈRES

	<u>Page</u>
TABLE DES MATIÈRES	i
LISTE DES TABLEAUX	iii
LISTE DES FIGURES	v
INTRODUCTION	3
1. CARTOGRAPHIE DES DÉPÔTS DE SULFATES MESURÉS PAR LE REPQ	5
1.1 Réseau d'échantillonnage des précipitations du Québec	7
1.2 Détermination des dépôts saisonniers de sulfates	7
2. DONNÉES INCORPORÉES DANS LE MODÈLE	21
2.1 Banque de données d'émissions	23
2.2 Définition des régions sources	32
2.3 Données de précipitation	49
2.4 Données de vent	53
3. CALCUL DES TRAJECTOIRES ET DES DÉPÔTS	55
3.1 Calcul des trajectoires: méthodologie	57
3.2 Détermination des paramètres moyens de chaque couple source-récepteur	57
3.2.1 Définition des régions réceptrices	57
3.2.2 Calcul des paramètres moyens	57
3.2.3 Présentation et interprétation des cartes de $F(\theta)$..	60

	<u>Page</u>
3.3 Étalonnage des paramètres du modèle	64
3.3.1 Introduction	64
3.3.2 Estimation des dépôts de sulfates	65
3.3.3 Présentation et discussion des résultats	66
CONCLUSION	81
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	85
ANNEXE 1	89

LISTE DES TABLEAUX

	<u>Page</u>
TABLEAU 2.1 Émissions (Tg SO ₂) saisonnières et annuelles des sources étendues et des sources ponctuelles des niveaux 1, 2 et 3 de l'est de l'Amérique du Nord pour l'année 1980	31
TABLEAU 2.2 Contribution relative (%) de chaque type de sources aux émissions annuelles totales	31
TABLEAU 2.3 Émissions annuelles de SO ₂ (1980) en tonnes métriques ..	34
TABLEAU 2.4 Émissions de SO ₂ (hiver 1980) en tonnes métriques	37
TABLEAU 2.5 Émissions de SO ₂ (printemps 1980) en tonnes métriques ..	40
TABLEAU 2.6 Émissions de SO ₂ (été 1980) en tonnes métriques	43
TABLEAU 2.7 Émissions de SO ₂ (automne 1980) en tonnes métriques	46
TABLEAU 3.1 Valeurs attribuées aux paramètres du modèle pour les simulations relatives à la saison d'hiver 1981-1982	67
TABLEAU 3.2 Valeurs attribuées aux paramètres du modèle pour les simulations relatives au printemps 1982 et à l'été 1982	76
TABLEAU 1. Valeurs attribuées aux paramètres du modèle pour les simulations relatives au printemps 1982	92
TABLEAU 2. Valeurs attribuées aux paramètres du modèle pour les simulations relatives à l'été 1982	93

LISTE DES FIGURES

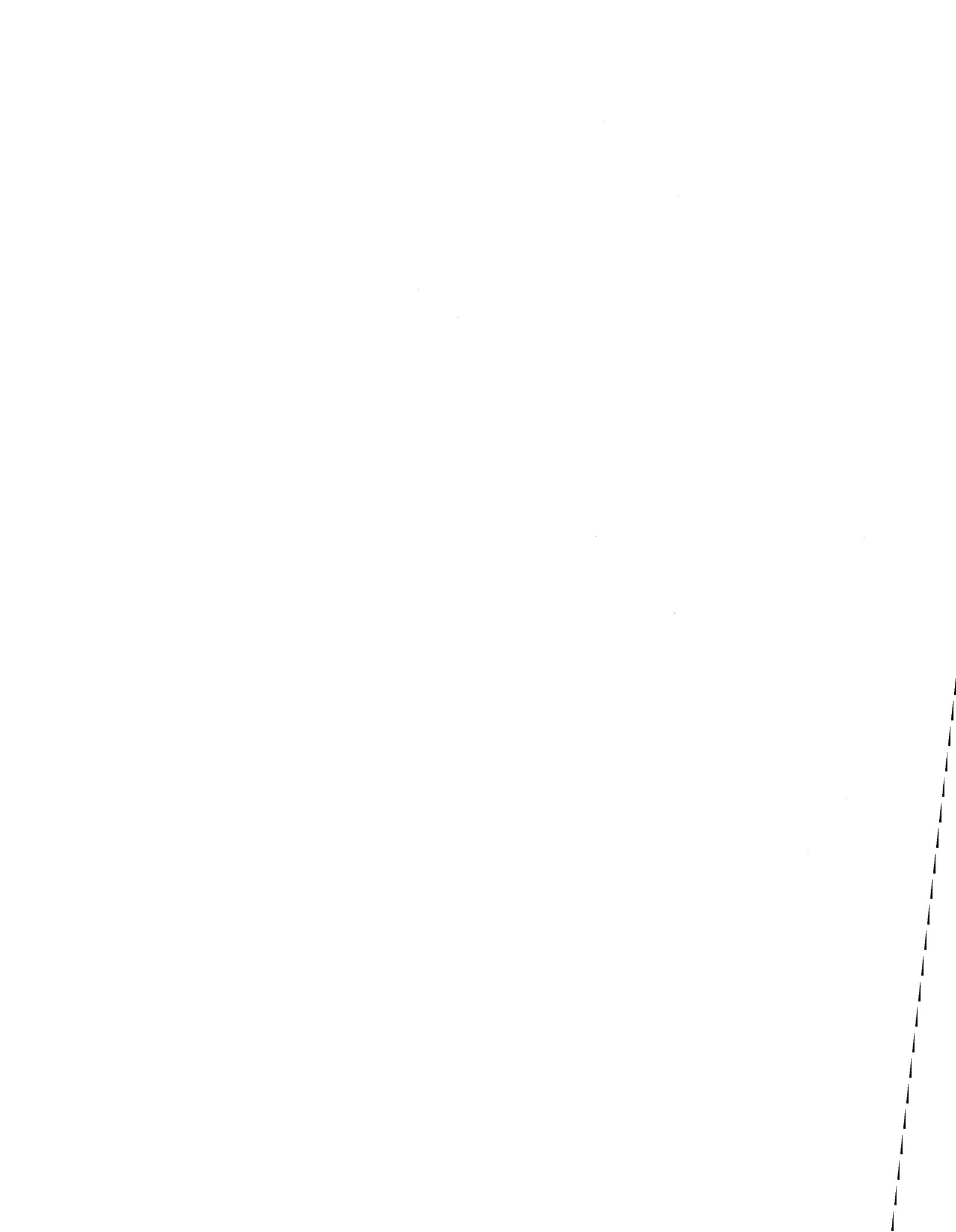
	<u>Page</u>
FIGURE 1.1 Localisation des stations du réseau d'échantillonnage des précipitations du Québec	8
FIGURE 1.2 Concentrations moyennes pondérées en sulfates pour l'hiver 1981-1982	9
FIGURE 1.3 Concentrations moyennes pondérées en sulfates pour le printemps 1982	9
FIGURE 1.4 Concentrations moyennes pondérées en sulfates pour l'été 1982	10
FIGURE 1.5 Concentrations moyennes pondérées en sulfates pour l'automne 1982	10
FIGURE 1.6 Concentrations moyennes pondérées en sulfates pour l'été 1983	11
FIGURE 1.7 Concentrations moyennes pondérées en sulfates pour l'automne 1983	11
FIGURE 1.8 Précipitations totales pour l'hiver 1981-1982	13
FIGURE 1.9 Précipitations totales pour le printemps 1982	13
FIGURE 1.10 Précipitations totales pour l'été 1982	14
FIGURE 1.11 Précipitations totales pour l'automne 1982	14

	<u>Page</u>
FIGURE 1.12 Précipitations totales pour l'été 1983	15
FIGURE 1.13 Précipitations totales pour l'automne 1983	15
FIGURE 1.14 Dépôts de sulfates évalués à l'aide des données du REPQ pour l'hiver 1981-1982	16
FIGURE 1.15 Dépôts de sulfates évalués à l'aide des données du REPQ pour le printemps 1982	16
FIGURE 1.16 Dépôts de sulfates évalués à l'aide des données du REPQ pour l'été 1982	17
FIGURE 1.17 Dépôts de sulfates évalués à l'aide des données du REPQ pour l'automne 1982	17
FIGURE 1.18 Dépôts de sulfates évalués à l'aide des données du REPQ pour l'été 1983	18
FIGURE 1.19 Dépôts de sulfates évalués à l'aide des données du REPQ pour l'automne 1983	18
FIGURE 2.1 Émissions annuelles de SO ₂ des sources ponctuelles de niveau 3 (H > 500 m)	24
FIGURE 2.2 Émissions annuelles de SO ₂ des sources ponctuelles de niveau 2 (201 ≤ H ≤ 500 m)	25
FIGURE 2.3 Émissions annuelles de SO ₂ des sources ponctuelles de niveau 1 (H ≤ 200 m)	26

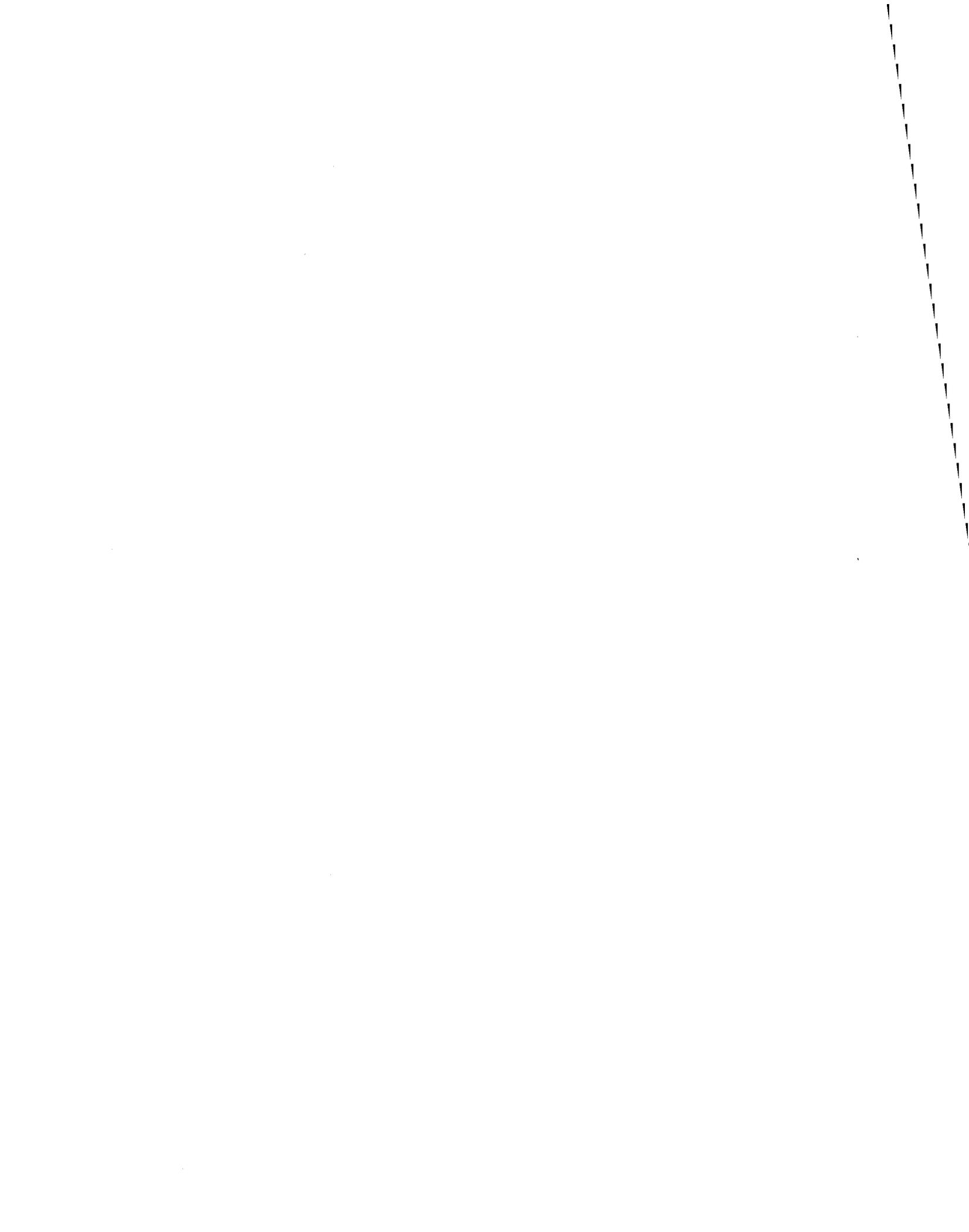
	<u>Page</u>
FIGURE 2.4 Émissions annuelles de SO ₂ des sources étendues	27
FIGURE 2.5 Émissions annuelles totales de SO ₂ des sources ponctuelles et étendues	30
FIGURE 2.6 Régions sources pour les émissions de SO ₂	33
FIGURE 2.7 Position relative de la grille utilisée pour situer la position (X,Y) des centroïdes d'émission par rapport à la grille (381 km x 381 km) du Centre météorologique canadien	50
FIGURE 2.8 Stations utilisées pour déterminer les durées moyennes des cycles secs-humides	51
FIGURE 3.1 Régions réceptrices utilisées dans cette étude	58
FIGURE 3.2 Champs de F(θ) associés à diverses régions réceptrices pour les saisons d'hiver 1981-1982, de printemps 1982 et d'été 1982	61
FIGURE 3.3 Dépôts de sulfates (kg SO ₄ /ha•saison) évalués à l'aide du modèle pour l'hiver 1981-1982. Simulation No 1	68
FIGURE 3.4 Dépôts de sulfates (kg SO ₄ /ha•saison) évalués à l'aide du modèle pour l'hiver 1981-1982. Simulation No 2	68
FIGURE 3.5 Dépôts de sulfates (kg SO ₄ /ha•saison) évalués à l'aide du modèle pour l'hiver 1981-1982. Simulation No 3	69

	<u>Page</u>
FIGURE 3.6 Dépôts de sulfates (kg SO ₄ /ha•saison) évalués à l'aide du modèle pour l'hiver 1981-1982. Simulation No 4	69
FIGURE 3.7 Dépôts de sulfates (kg SO ₄ /ha•saison) évalués à l'aide du modèle pour l'hiver 1981-1982. Simulation No 5	70
FIGURE 3.8 Dépôts de sulfates évalués à l'aide des données du REPQ pour l'hiver 1981-1982	70
FIGURE 3.9 Dépôts de sulfates évalués à l'aide du modèle pour le printemps 1982. Simulation No 6	74
FIGURE 3.10 Dépôts de sulfates évalués à l'aide du modèle pour l'été 1982. Simulation No 7	74
FIGURE 3.11 Dépôts de sulfates évalués à l'aide du modèle pour le printemps 1982. Un bruit de fond de 1,5 kg/ha•saison a été ajouté. Simulation No 6	77
FIGURE 3.12 Dépôts de sulfates évalués à l'aide du modèle pour l'été 1982. Un bruit de fond de 1,5 kg/ha•saison a été ajouté. Simulation No 7	77
FIGURE 3.13 Écart entre les dépôts calculés et les dépôts mesurés pour le printemps 1982	78
FIGURE 3.14 Écart entre les dépôts calculés et les dépôts mesurés pour l'été 1982	78

	<u>Page</u>
FIGURE 1. Dépôts de sulfates (kg SO ₄ /ha•saison) évalués à l'aide du modèle pour le printemps 1982. Simulation No 1	94
FIGURE 2. Dépôts de sulfates (kg SO ₄ /ha•saison) évalués à l'aide du modèle pour le printemps 1982. Simulation No 2	94
FIGURE 3. Dépôts de sulfates (kg SO ₄ /ha•saison) évalués à l'aide du modèle pour le printemps 1982. Simulation No 3	95
FIGURE 4. Dépôts de sulfates (kg SO ₄ /ha•saison) évalués à l'aide du modèle pour le printemps 1982. Simulation No 4	95
FIGURE 5. Dépôts de sulfates (kg SO ₄ /ha•saison) évalués à l'aide du modèle pour l'été 1982. Simulation No 5	96
FIGURE 6. Dépôts de sulfates (kg SO ₄ /ha•saison) évalués à l'aide du modèle pour l'été 1982. Simulation No 6	96
FIGURE 7. Dépôts de sulfates (kg SO ₄ /ha•saison) évalués à l'aide du modèle pour l'été 1982. Simulation No 7	97
FIGURE 8. Dépôts de sulfates (kg SO ₄ /ha•saison) évalués à l'aide du modèle pour l'été 1982. Simulation No 8	97
FIGURE 9. Dépôts de sulfates (kg SO ₄ /ha•saison) évalués à l'aide du modèle pour l'été 1982. Simulation No 9	98



INTRODUCTION



INTRODUCTION

À la fin de l'été 1985, le ministère de l'Environnement du Québec accordait à l'INRS-Eau une subvention de recherche afin d'étalonner et d'optimiser le modèle québécois de transport à grande distance des polluants atmosphériques (MTGDPA). Cette étude devait être réalisée en quatre étapes et à la fin de chacune d'elles un rapport d'étape devait être remis au ministère de l'Environnement. Le présent document constitue le premier de ces rapports.

Rappel des objectifs de l'étude

L'étude réalisée au cours des derniers mois avait comme objectif d'étalonner le MTGDPA (Fortin et al., 1985) en tentant de reproduire les dépôts observés de substances acidifiantes sur le Québec. Certaines améliorations devaient être apportées au modèle afin de:

- tenir compte de la hauteur des émissions;
- discrétiser davantage les sources de polluants dans la vallée du Saint-Laurent et ajouter les sources saguenéennes.

Enfin, le calage du MTGDPA devait être réalisé pour les paramètres suivants:

- hauteur de la couche limite;
- taux de lessivage;
- taux de transformation chimique;
- vitesse de déposition sèche;
- diffusivité.

Contenu du rapport

On décrit d'abord au chapitre 1 la méthode utilisée pour cartographier les dépôts de sulfates mesurés par le réseau d'échantillonnage des

précipitations du Québec (REPQ). Ces dépôts, que nous décrirons brièvement, serviront ultérieurement (chapitre 3) de données de référence pour étalonner le modèle.

Le chapitre 2 décrit les données qui ont été incorporées dans le modèle. Nous discutons de la banque de données d'émissions qui a été utilisée. Cette dernière répartit les émissions en quatre classes de niveaux. Nous décrivons également les données de précipitation et les données de vent qui ont été incorporées dans le modèle.

Le chapitre 3 décrit les diverses simulations numériques qui ont été réalisées à l'aide du modèle. Nous présentons la méthodologie que nous avons utilisée et les résultats que nous avons obtenus. Les conclusions de notre travail complètent le rapport.

Précisons que cette étude est basée sur les saisons d'hiver 1981-1982, de printemps 1982 et d'été 1982. Toutefois, le lecteur remarquera, qu'au chapitre 1, nous avons cartographié les dépôts de sulfates mesurés par le REPQ lors des saisons d'hiver 1981-1982, de printemps 1982, d'été 1982, d'automne 1982, d'été 1983 et d'automne 1983. À l'origine, le modèle devait être étalonné sur l'ensemble de ces saisons. Toutefois, seules les données de vent en altitude des saisons d'hiver 1981-1982, de printemps 1982 et d'été 1982 nous ont été fournies à temps par le Centre météorologique canadien. Ces données sont essentielles pour faire fonctionner le modèle.

Enfin, mentionnons que les trajectoires des parcelles d'air ainsi que les dépôts de sulfates calculés lors de cette étude ont été copiés sur des rubans magnétiques. Ces rubans sont conservés à la bibliothèque du ministère de l'Environnement.

CHAPITRE 1

CARTOGRAPHIE DES DÉPÔTS DE SULFATES MESURÉS PAR LE REPQ

1. CARTOGRAPHIE DES DÉPÔTS DE SULFATES MESURÉS PAR LE REPO

1.1 Réseau d'échantillonnage des précipitations du Québec

Le réseau de surveillance de la qualité des eaux de précipitation est connu sous le nom de réseau d'échantillonnage des précipitations du Québec. Ce réseau a vu le jour en 1981. En 1984, on dénombrait 46 stations opérationnelles réparties sur un territoire s'étendant de la frontière sud du Québec jusqu'au Moyen-Nord québécois. L'emplacement géographique des stations est indiqué à la figure 1.1. Notons que la densité du réseau est plus importante dans le sud du Québec et dans la région environnant la Fonderie de Noranda.

Chaque station du réseau est équipée d'un appareil de collecte constitué d'un récipient cylindrique dont l'ouverture a un diamètre de 30 cm. Un couvercle amovible et étanche repose sur ce récipient en l'absence de précipitation. Ce couvercle est relié à un circuit électronique de détection des précipitations qui lui permet de se soulever lors des épisodes de précipitation. Le récipient ne recueille ainsi que la fraction humide des dépôts.

Les échantillons sont prélevés une fois par semaine et sont ensuite expédiés au laboratoire d'analyse du ministère de l'Environnement du Québec. Un délai d'environ une semaine s'écoule généralement entre le prélèvement des échantillons et leur analyse physico-chimique au laboratoire. Cette analyse a pour but de déterminer la concentration des ions majeurs dont, entre autres, la teneur en sulfates. Les données recueillies sont ensuite soumises à un module de validation qui a pour but d'éliminer les valeurs non représentatives. Le lecteur trouvera d'ailleurs dans Paradis (1985) une description des différents aspects du programme de validation des données.

1.2 Détermination des dépôts saisonniers de sulfates

Les figures 1.2 à 1.7 présentent les cartes de concentrations saisonnières de sulfates obtenues par Paradis (1985) pour les saisons d'hiver

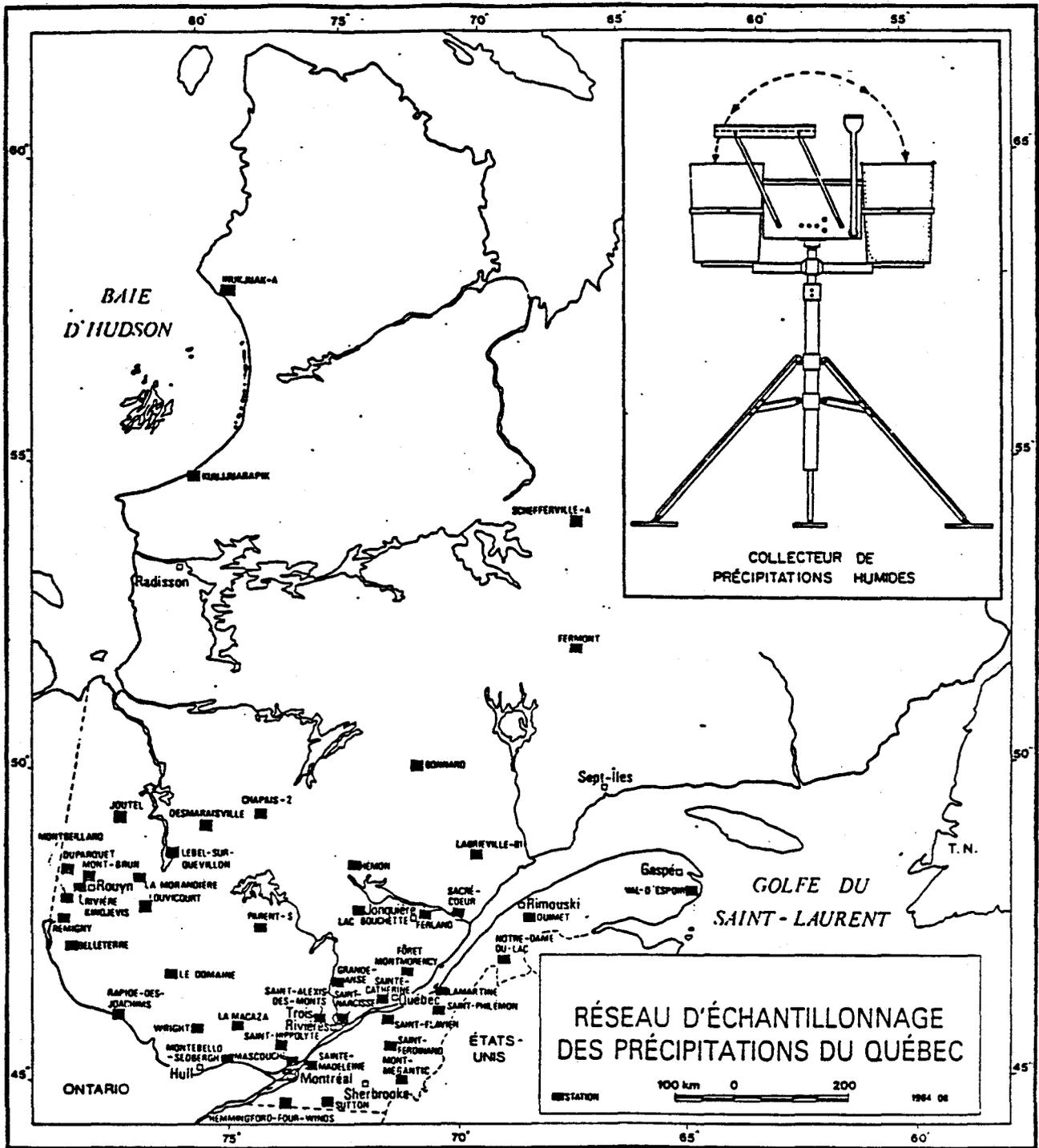
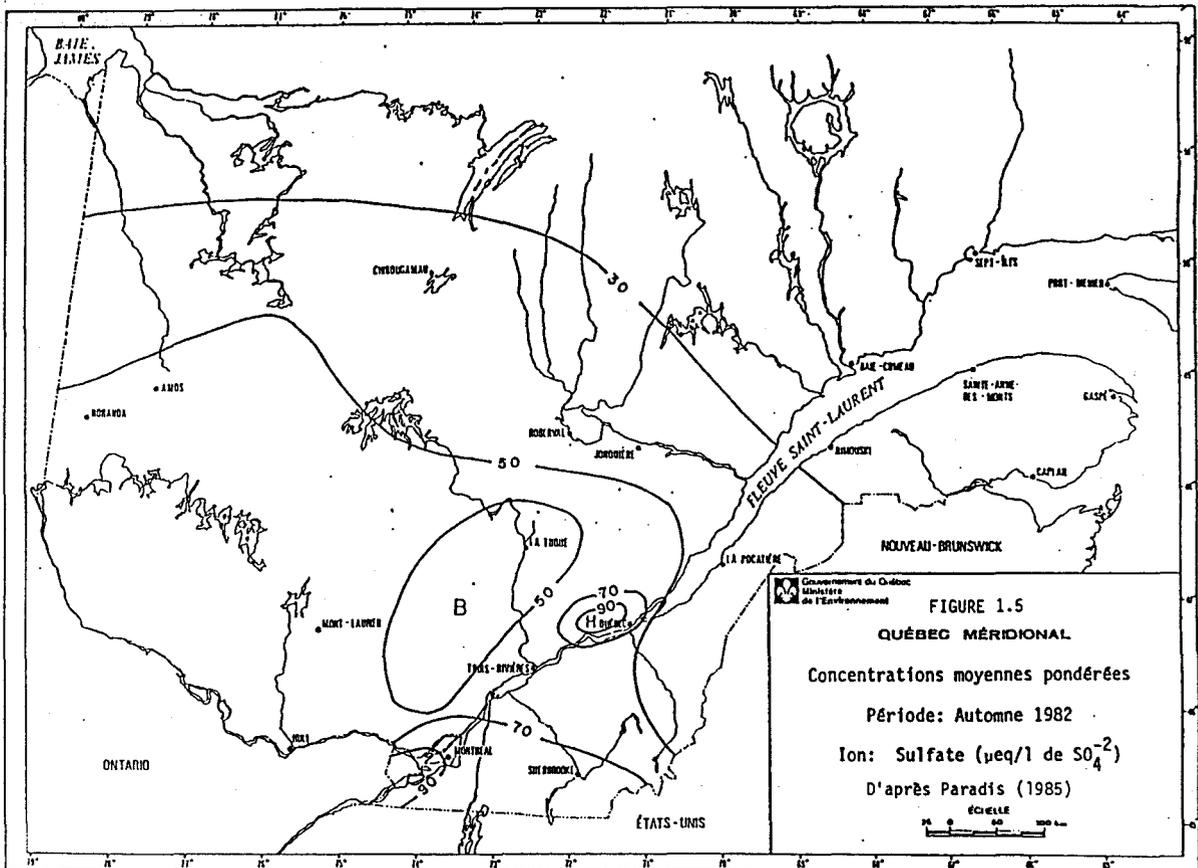
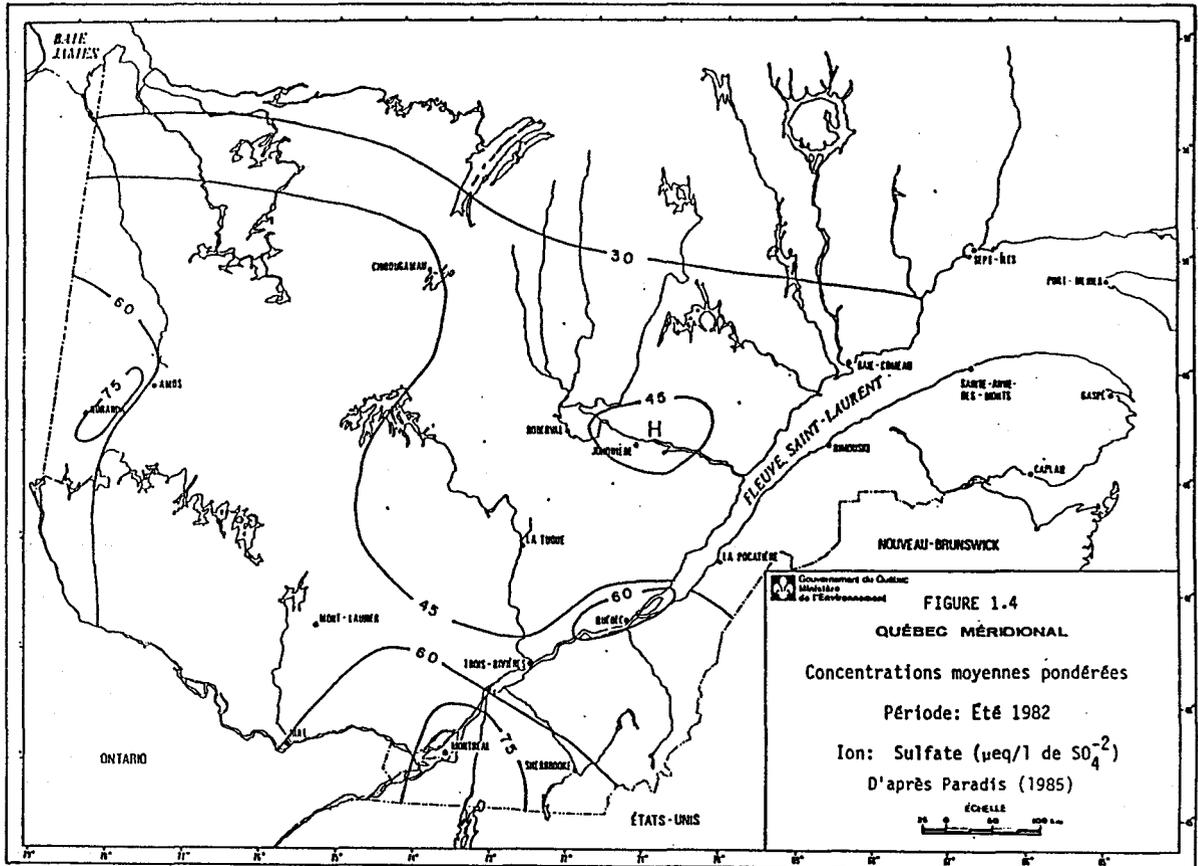
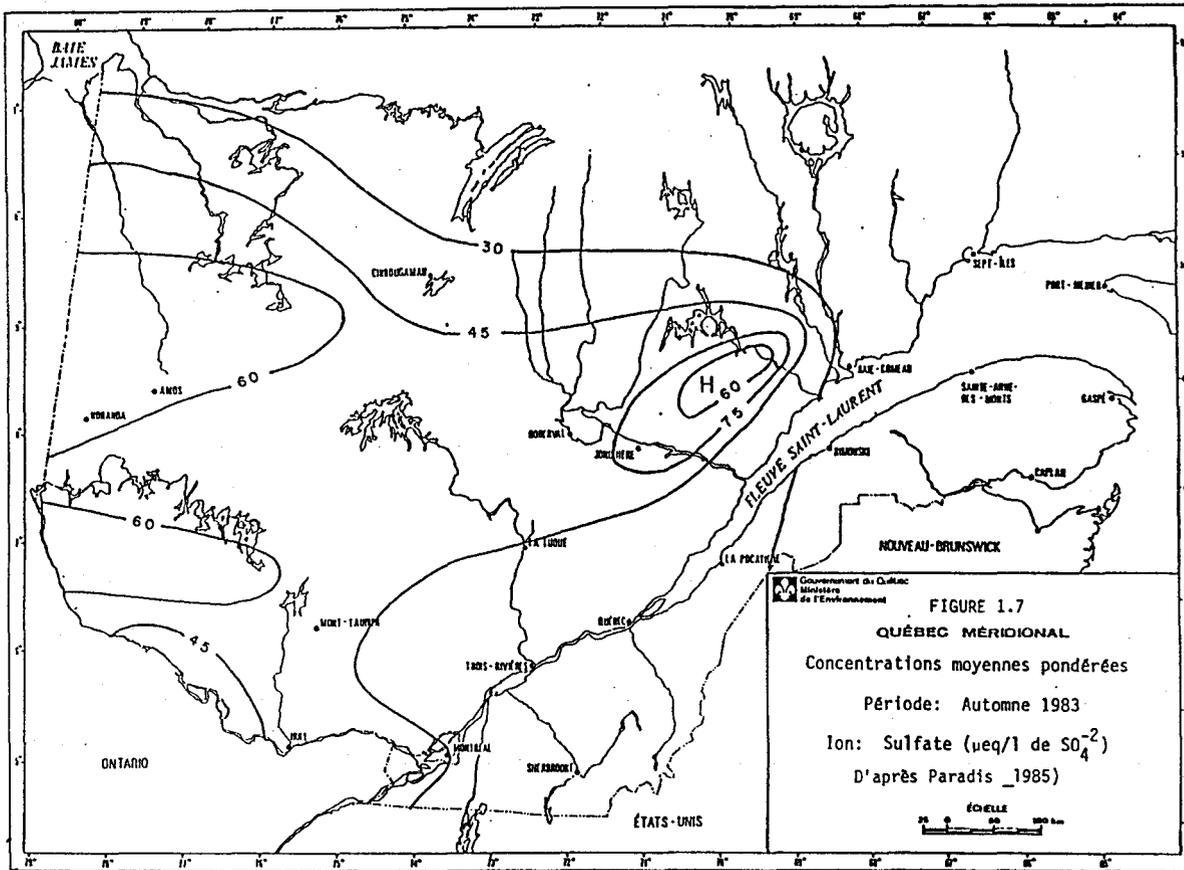
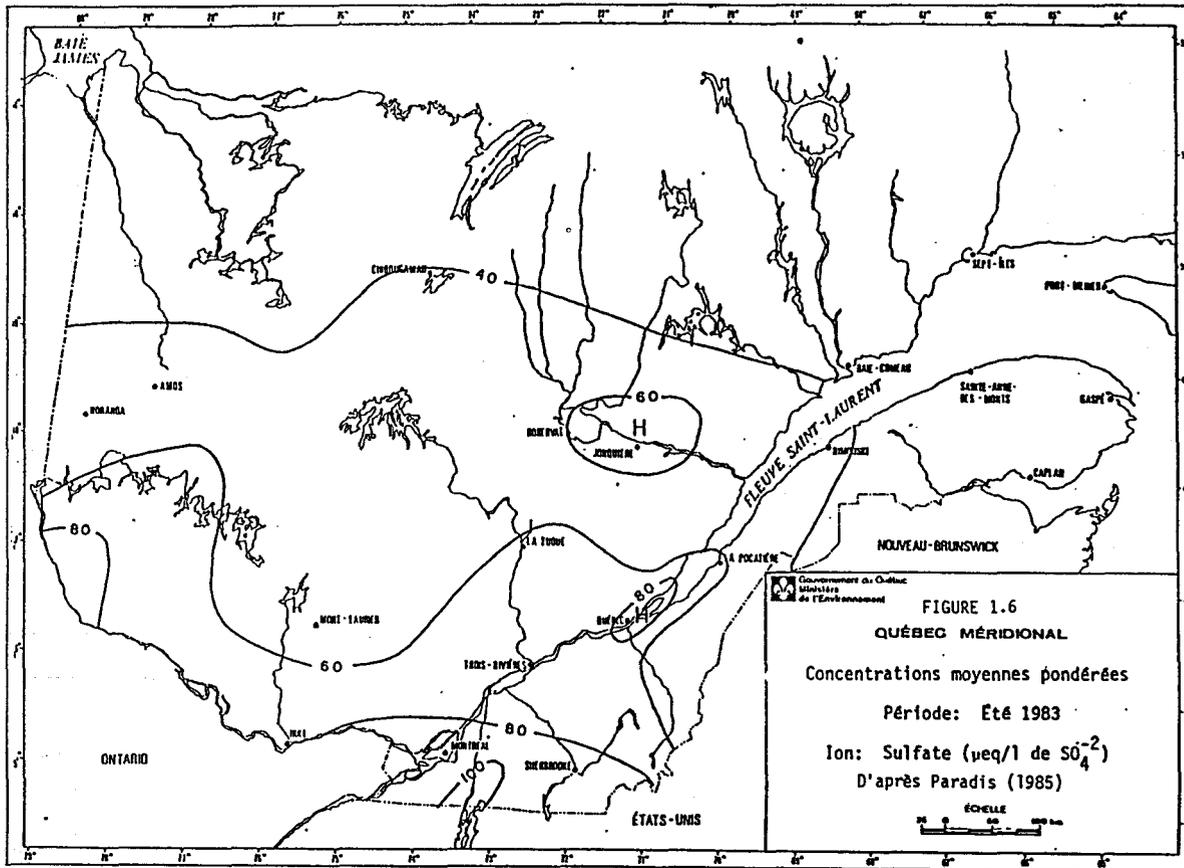


FIGURE 1.1 Localisation des stations du réseau d'échantillonnage des précipitations du Québec (d'après ministère de l'Environnement, 1984).



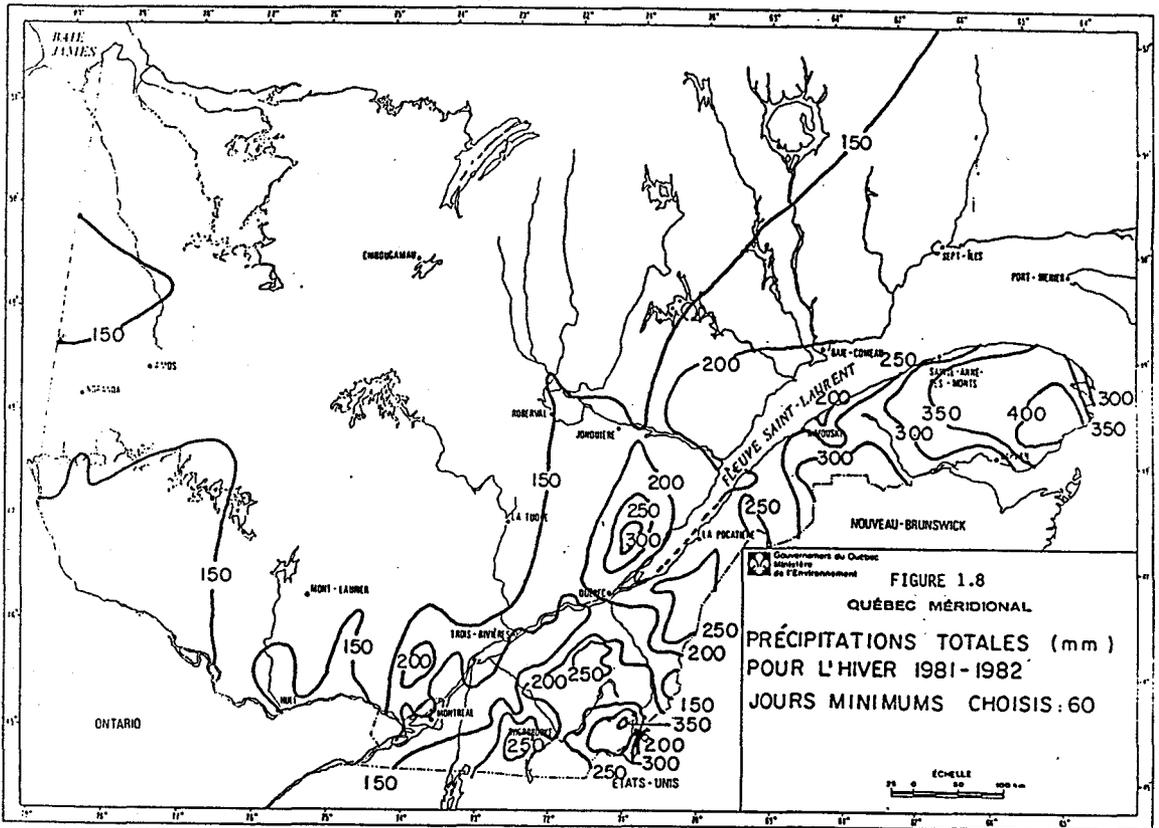


1981-1982, de printemps 1982, d'été 1982, d'automne 1982, d'été 1983 et d'automne 1983. Les cartes de précipitation correspondant à chacune de ces saisons sont présentées aux figures 1.8 à 1.13. Précisons que les cartes de précipitation ont été tracées à partir des données pluviométriques du réseau météorologique du Québec.

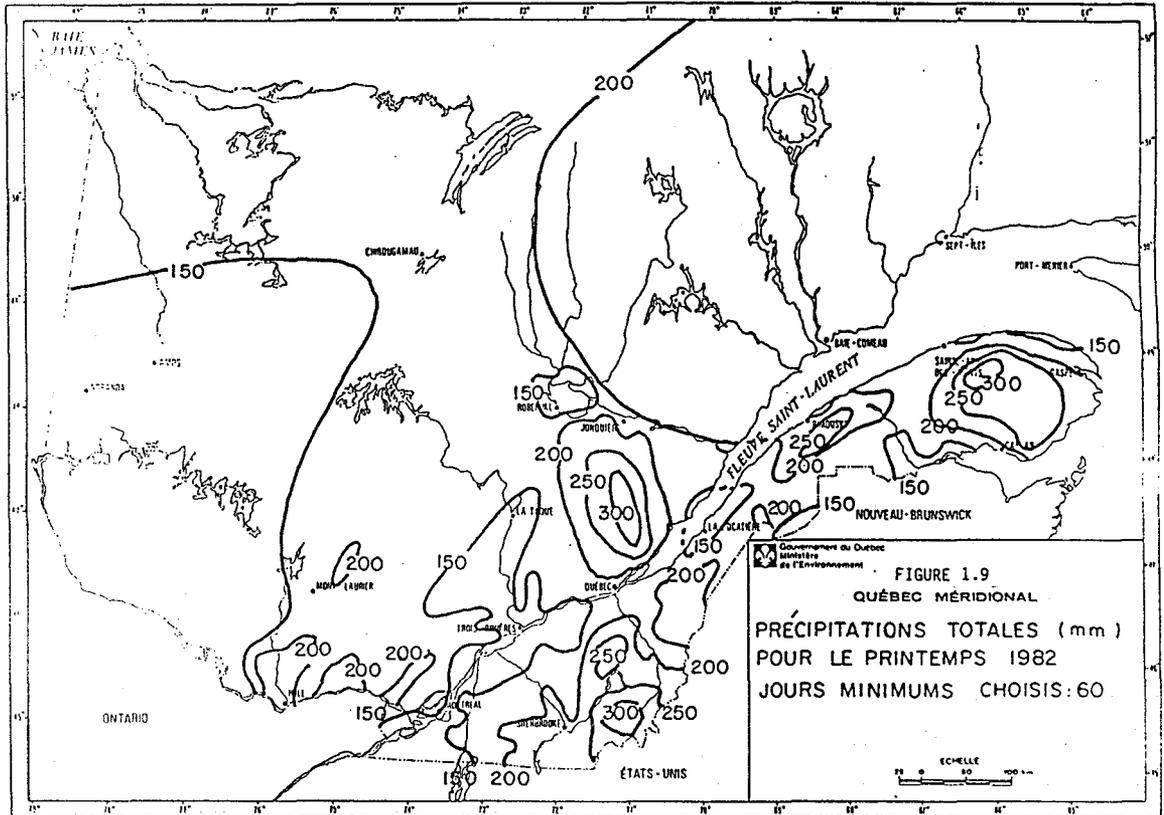
Le calcul des dépôts saisonniers de sulfates a été réalisé en superposant les cartes d'isolignes de concentration avec les cartes d'isolignes de précipitation. Les valeurs obtenues aux intersections des isolignes de concentration et de précipitation ont été multipliées ensemble. Les résultats ont ensuite été multipliés par un facteur de conversion ($4,8031 \times 10^{-4}$) qui tient compte du poids moléculaire des sulfates. Notons que cette façon de procéder a pour effet de lisser les champs de dépôts en masquant quelque peu les effets locaux. Enfin, précisons que les dépôts de sulfates ont également été évalués aux stations du REPQ à partir des concentrations et des précipitations mesurées aux stations mêmes du réseau. Les figures 1.14 à 1.19 présentent les dépôts saisonniers de sulfates que nous avons obtenus pour les saisons mentionnées plus haut.

Avant de procéder à l'analyse des cartes de dépôts, il convient de donner une description sommaire des cartes de concentration et des cartes de précipitation. Nous résumerons d'abord les principales observations que Paradis (1985) a tirées des cartes de concentration.

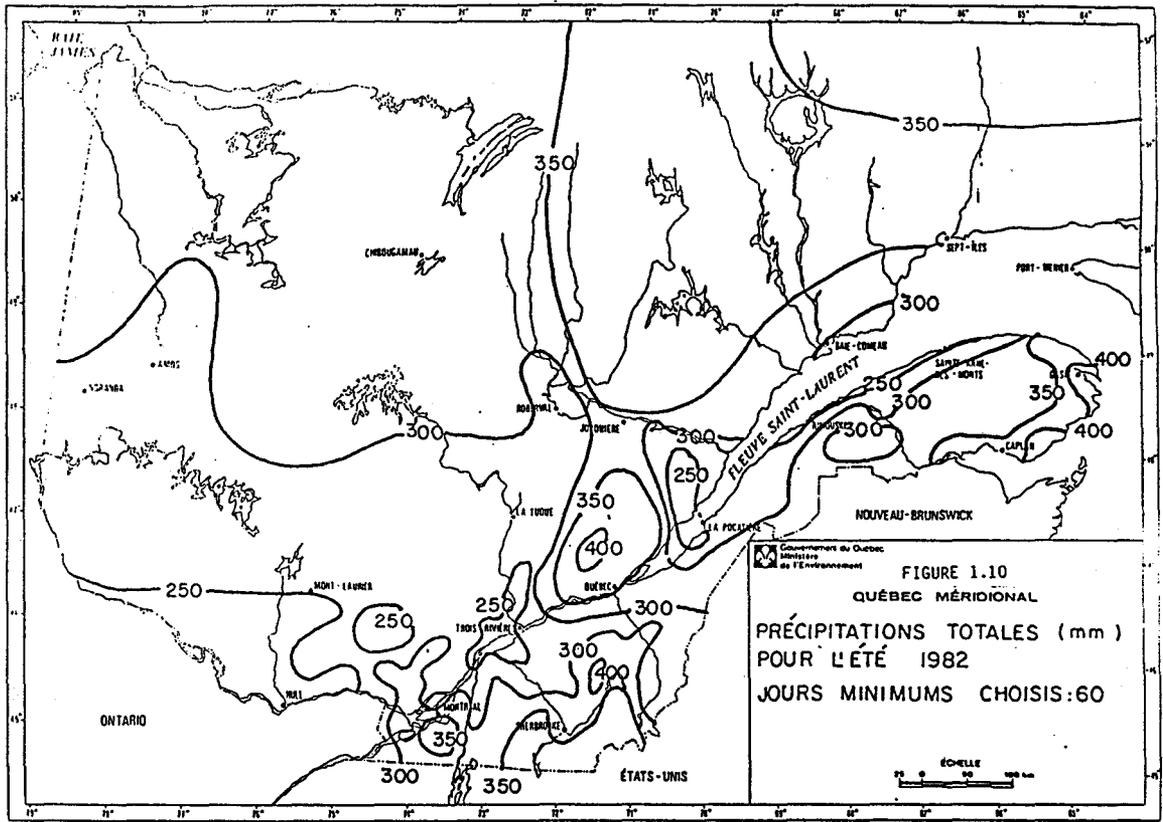
De manière générale, les concentrations en sulfates se répartissent sur le Québec suivant un gradient décroissant orienté du sud-ouest vers le nord-est. Les valeurs de concentration les plus élevées se retrouvent généralement près des agglomérations urbaines les plus importantes soit Montréal, Québec et Chicoutimi-Jonquière. On note également des valeurs de concentration particulièrement élevées près de Noranda où se retrouve la source québécoise de SO_2 la plus importante. Sur la carte de concentration du printemps 1982 (figure 1.3) on remarque que le patron des isolignes laisse deviner clairement l'influence de Mines Noranda sur la concentration en sulfates dans les eaux de précipitation. Pour d'autres saisons, particu-



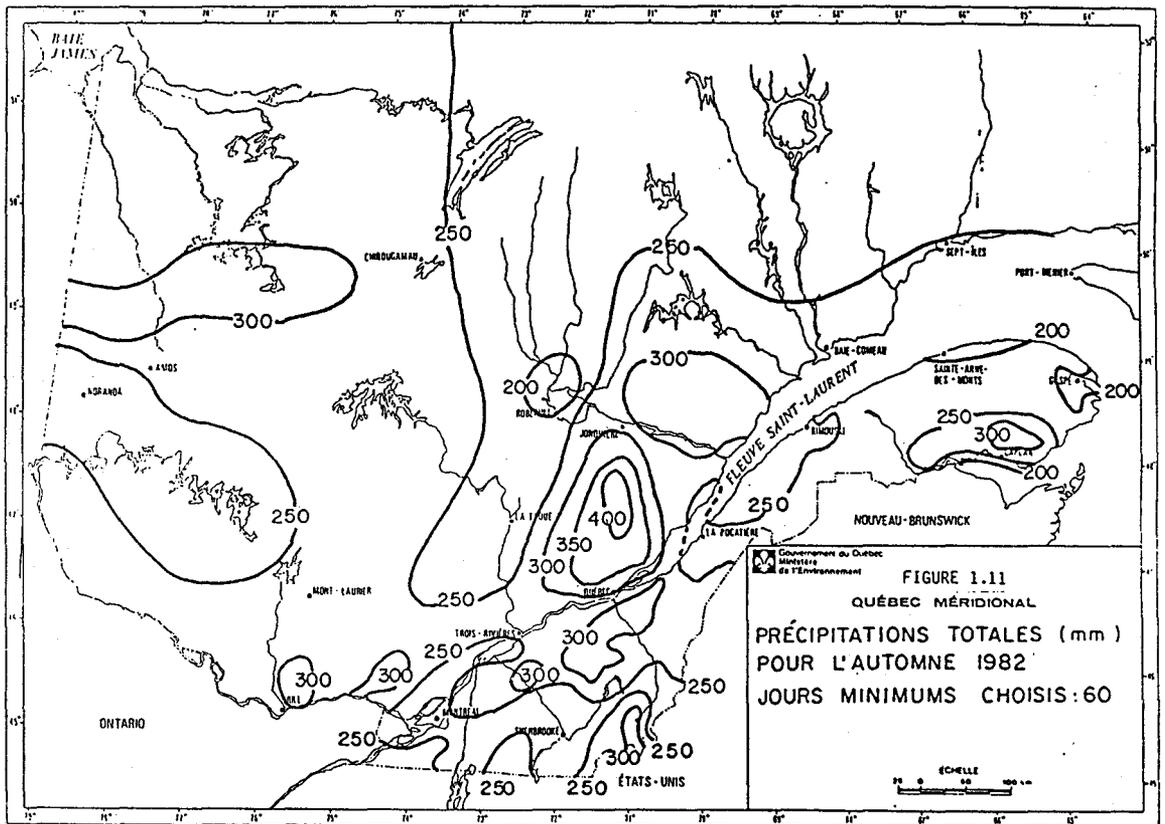
Québec ::



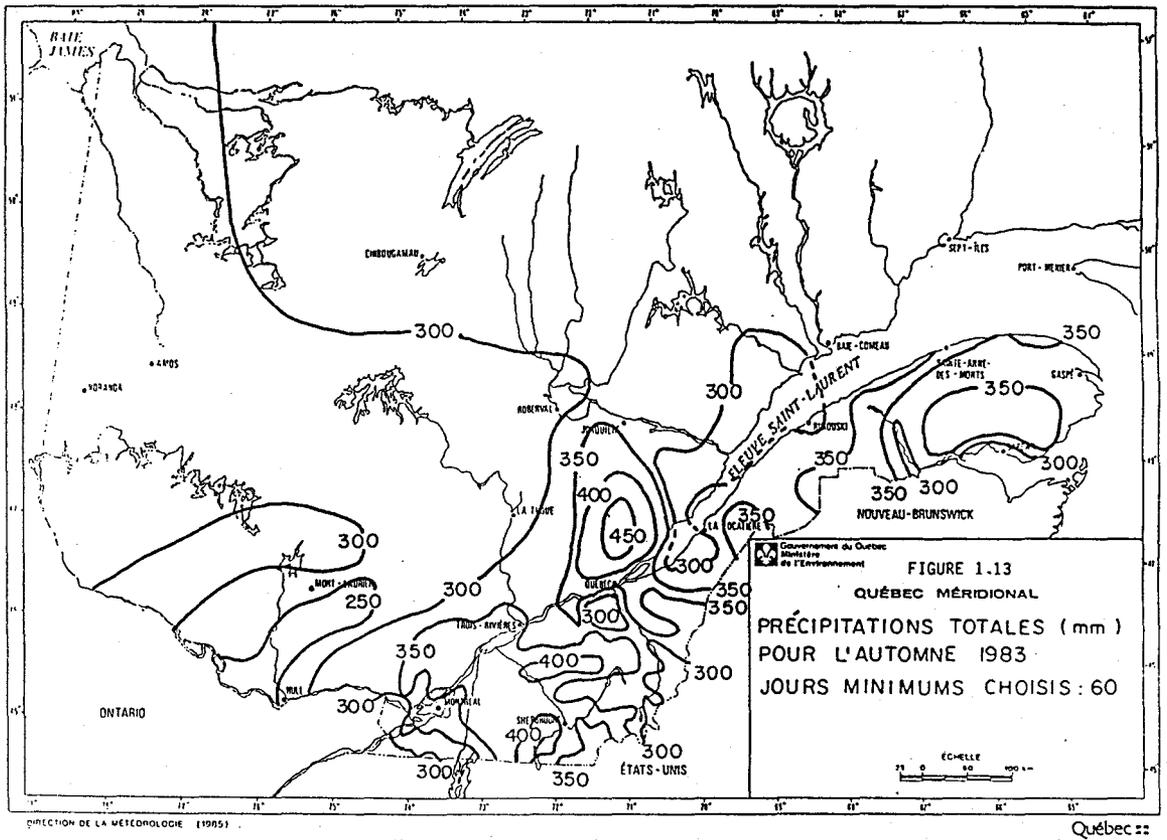
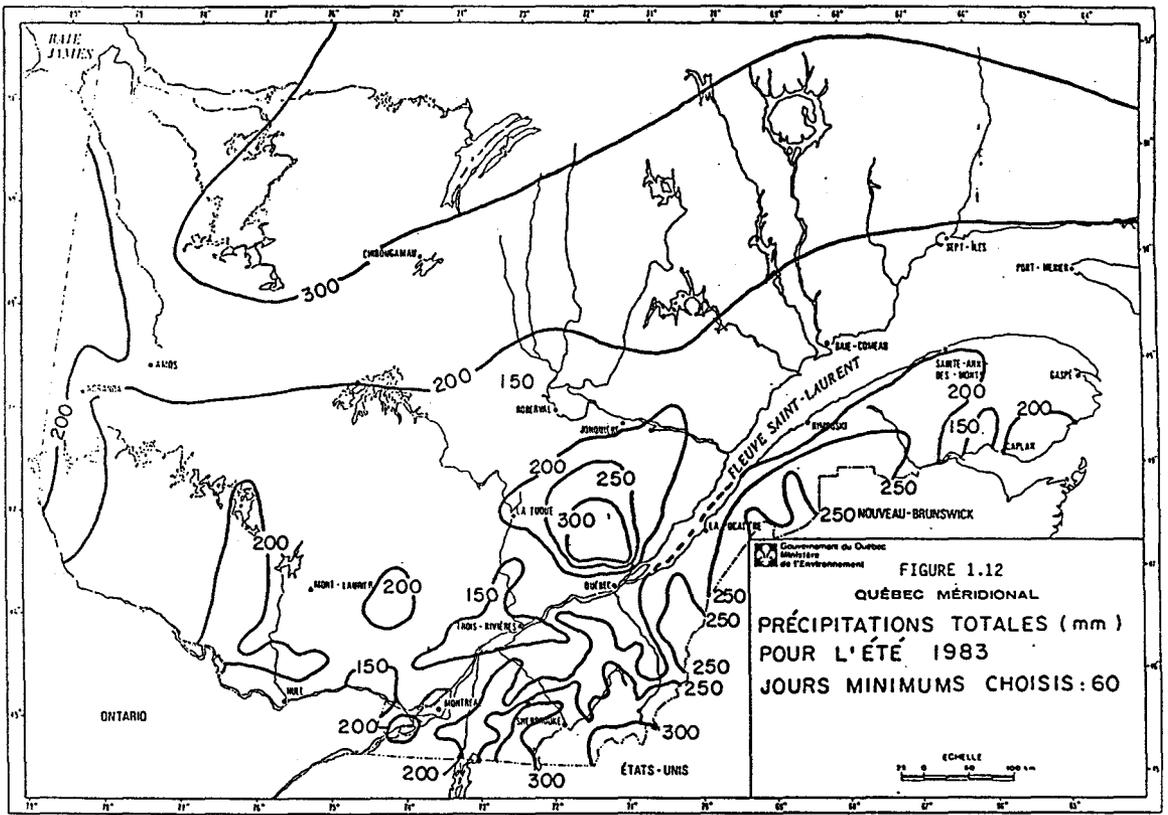
Québec ::

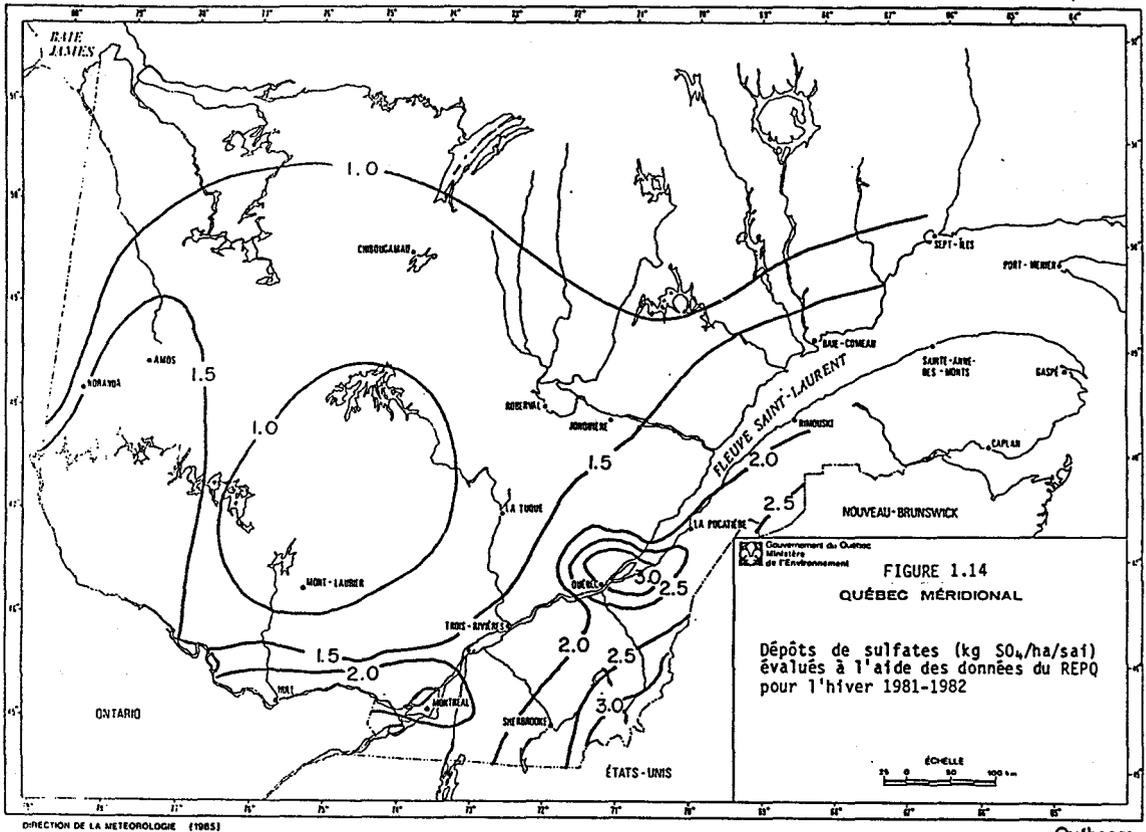


Québec ::

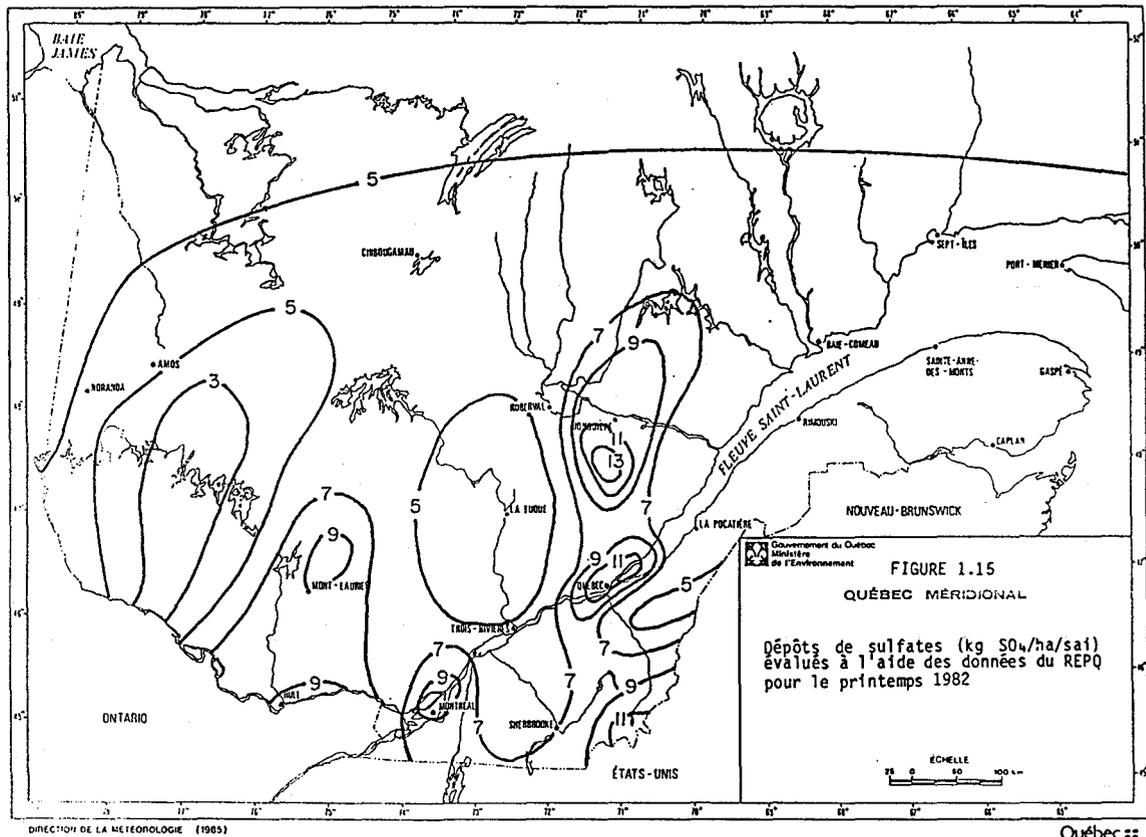


Québec ::

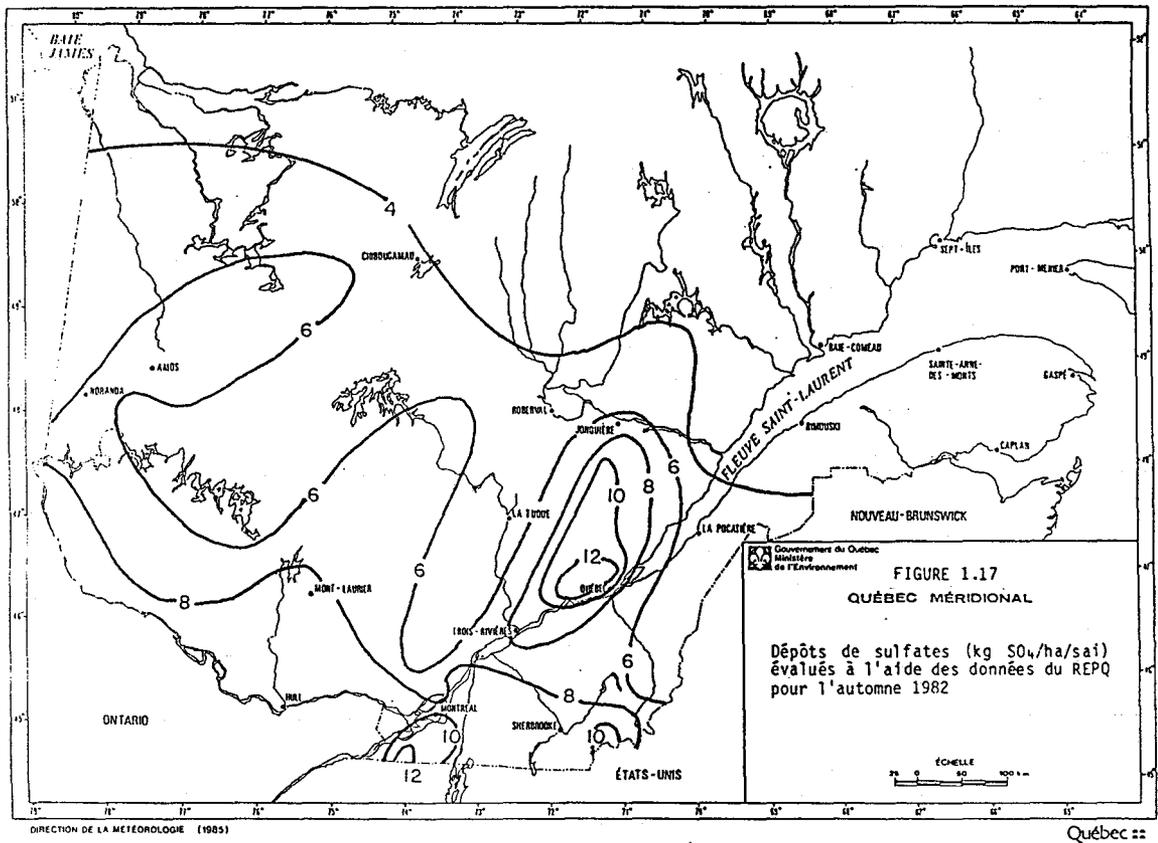
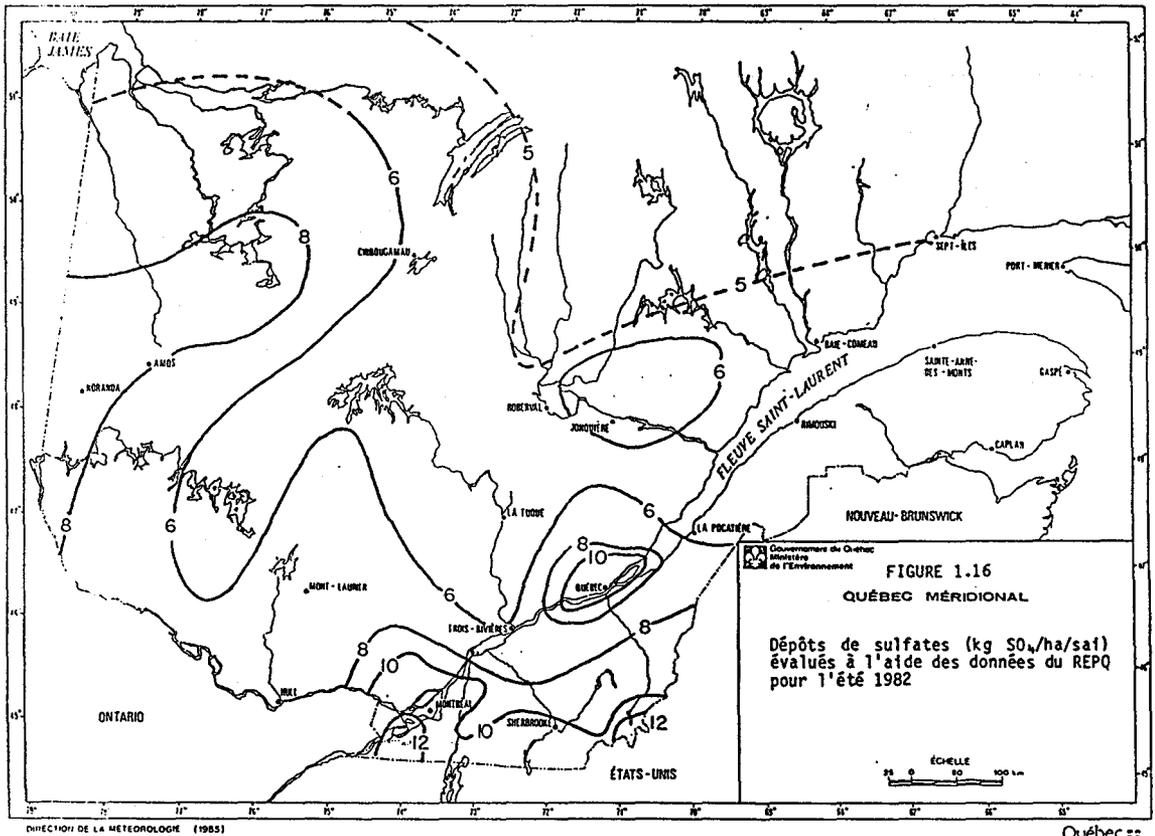


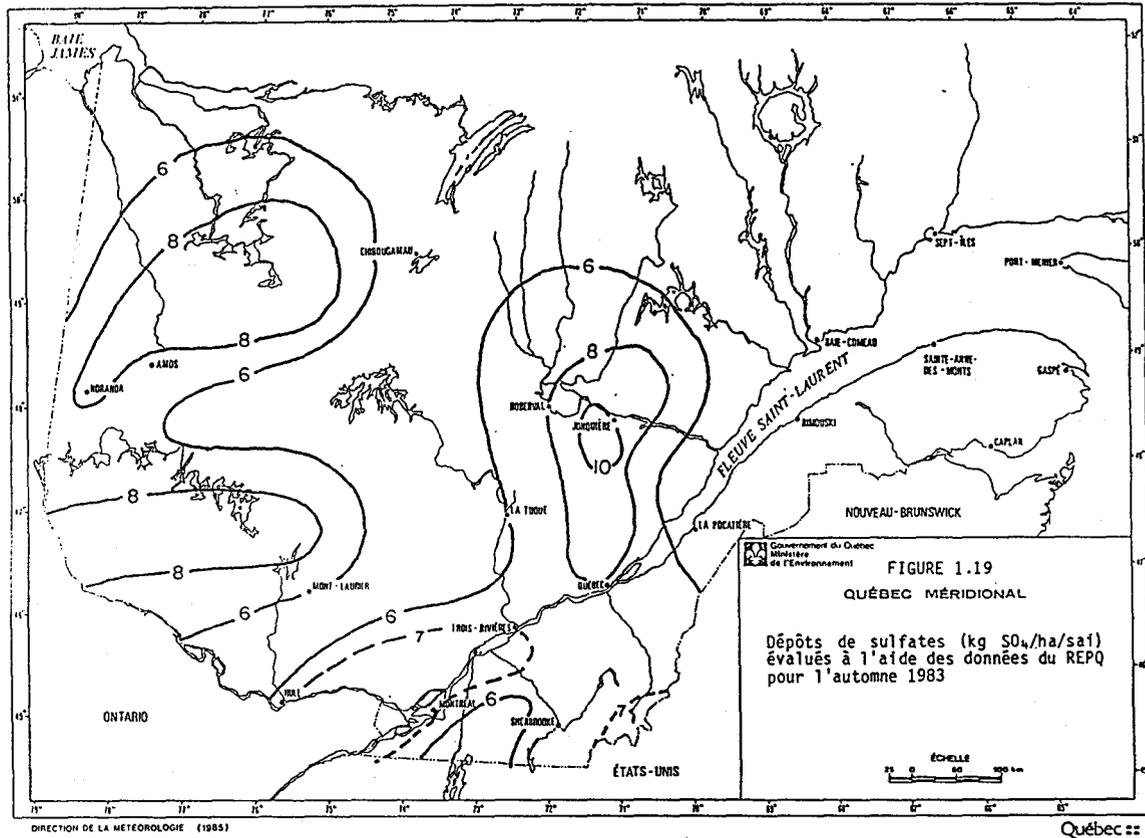
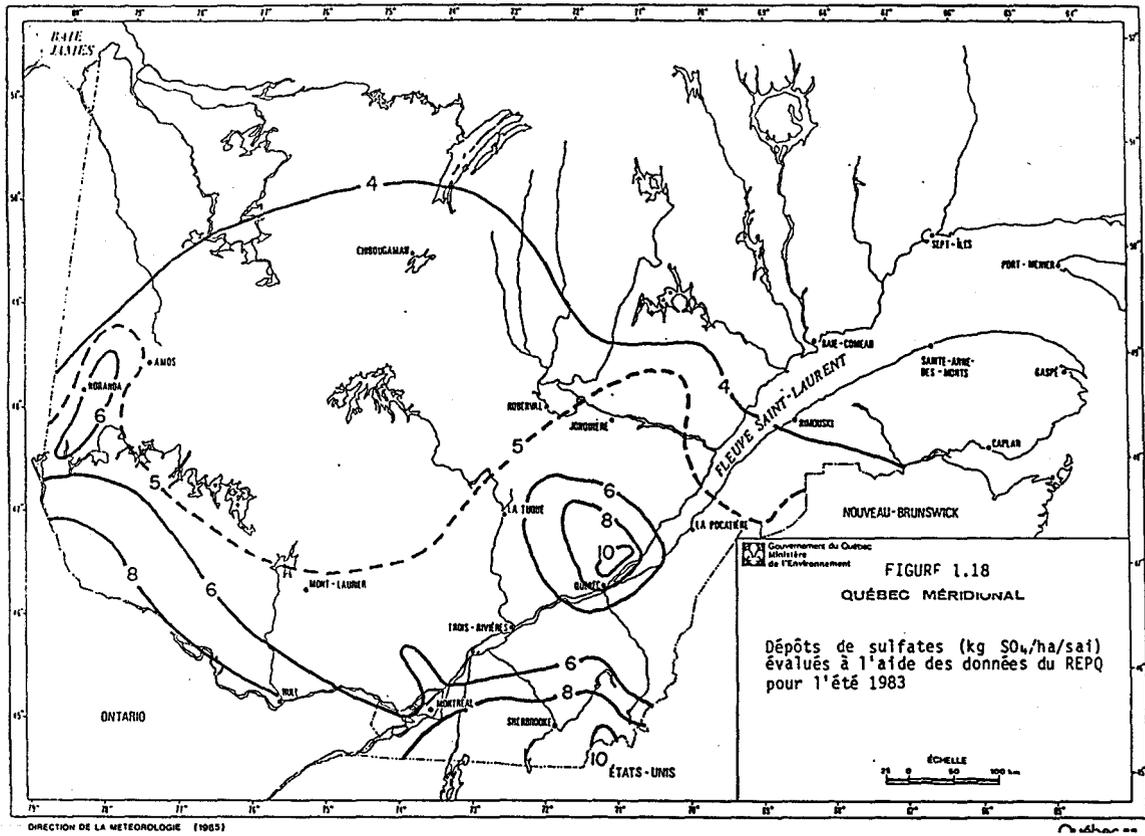


Québec ::



Québec ::





lièrement lors de la saison d'été 1983 (figure 1.6), l'influence de la Fonderie de Noranda sur les concentrations en sulfates est beaucoup moins évidente. D'autre part, il est intéressant de remarquer que les concentrations mesurées lors de la saison d'hiver 1981-1982 (figure 1.2) sont nettement inférieures aux concentrations mesurées lors des autres saisons considérées dans la présente étude. D'ailleurs, soulignons que Paradis (1985) a observé un cycle intra-annuel dans les concentrations de sulfates mesurées lors des années 1982 et 1983. Ce cycle comporte un minimum hivernal et un maximum printanier ou estival.

Considérons maintenant les cartes de précipitations saisonnières (figures 1.8 à 1.13). On remarque que les précipitations les plus importantes se retrouvent généralement dans la région de Québec, sur le massif laurentien situé au nord de Québec, dans la région montagneuse de l'Estrie et sur le massif gaspésien. On constate également qu'au nord de la vallée du Saint-Laurent, les précipitations ont été particulièrement abondantes lors de la saison d'automne 1983 (figure 1.13) et qu'elles ont été relativement faibles lors de l'hiver 1981-1982 (figure 1.8). Enfin, notons la grande variabilité spatiale des précipitations. Cette variabilité s'observe assez facilement lorsqu'on regarde la forme très sinueuse de certaines isolignes de précipitation.

Considérons maintenant les cartes de dépôts saisonniers de sulfates (figures 1.14 à 1.19). On remarque que les dépôts saisonniers de sulfates varient entre 1 kg/ha*saison et 13 kg/ha*saison sur le Québec méridional. La région de Québec, le massif laurentien situé au nord de Québec ainsi que la région montagneuse de l'Estrie sont les endroits où les dépôts de sulfates sont généralement les plus importants. Cette situation s'explique, en partie, par les précipitations abondantes qui tombent dans ces régions. D'autre part, en comparant les dépôts saisonniers que nous avons obtenus et les dépôts annuels évalués par Paradis (1985), nous avons constaté que les dépôts saisonniers ont une variabilité spatiale beaucoup plus importante que les dépôts annuels. Ceci s'explique partiellement par le fait que la variabilité spatiale des précipitations est plus importante sur une base saison-

nière que sur une base annuelle. En ce qui concerne la variabilité saisonnière des dépôts de sulfates, il est intéressant de remarquer que les dépôts de l'hiver 1981-1982 (figure 1.14) ont été particulièrement faibles. Ces dépôts se situent entre 1 kg/ha•saison et 3 kg/ha•saison. Pour les autres saisons considérées dans cette étude, les dépôts de sulfates varient entre 3 kg/ha•saison et 13 kg/ha•saison. En fait, le minimum hivernal des dépôts de sulfates de 1982, s'explique par les faibles quantités de précipitation mesurées lors de cette saison et par le cycle saisonnier des concentrations en sulfates.

Enfin, précisons que, dans la suite de ce rapport, l'expression "dépôts mesurés" servira à décrire les dépôts de sulfates évalués à l'aide des données du REPQ même si, en réalité, ces dépôts ont été calculés plutôt que mesurés. Nous réserverons désormais l'expression "dépôts calculés" pour décrire les dépôts de sulfates que nous obtiendrons à l'aide du MTGDPA.

CHAPITRE 2

DONNÉES INCORPORÉES DANS LE MODÈLE

2. DONNÉES INCORPORÉES DANS LE MODÈLE

2.1 Banque de données d'émissions

La banque de données d'émissions de SO₂ que nous utilisons dans cette étude nous a été fournie par l'Environmental Protection Agency (EPA) des États-Unis. Cette banque de données contient les émissions anthropogéniques de SO₂ (1980) sur une grille couvrant le continent nord-américain et dont la longueur de maille est de 127 km. De plus, les émissions sont réparties en quatre classes: émissions des sources ponctuelles des niveaux 1, 2 et 3 et émissions des sources étendues. Les niveaux 1, 2 et 3 des émissions ponctuelles correspondent à la hauteur effective d'émission des polluants:

- niveau 1: 0 à 200 m;
- niveau 2: 201 à 500 m;
- niveau 3: > 500 m.

Enfin, les émissions des sources étendues englobent les émissions des sources diffuses (ex.: les autoroutes) et les émissions reliées au chauffage résidentiel. Précisons que dans tous nos calculs nous avons supposé que les émissions se produisaient aux hauteurs effectives suivantes:

- émissions étendues: 10 m;
- émissions ponctuelles: niveau 1: 100 m;
niveau 2: 350 m;
niveau 3: 500 m.

Les sources considérées dans cette étude se situent dans la partie est de l'Amérique du Nord. En d'autres termes, les sources les plus éloignées du Québec n'ont pas été retenues. Nous présentons d'ailleurs aux figures 2.1 à 2.4 les cartes d'émissions annuelles des sources étendues et ponctuelles que nous avons retenues. Sur ces cartes, chaque symbole indique l'intensité des émissions. Le chiffre "0" représente des émissions nulles.

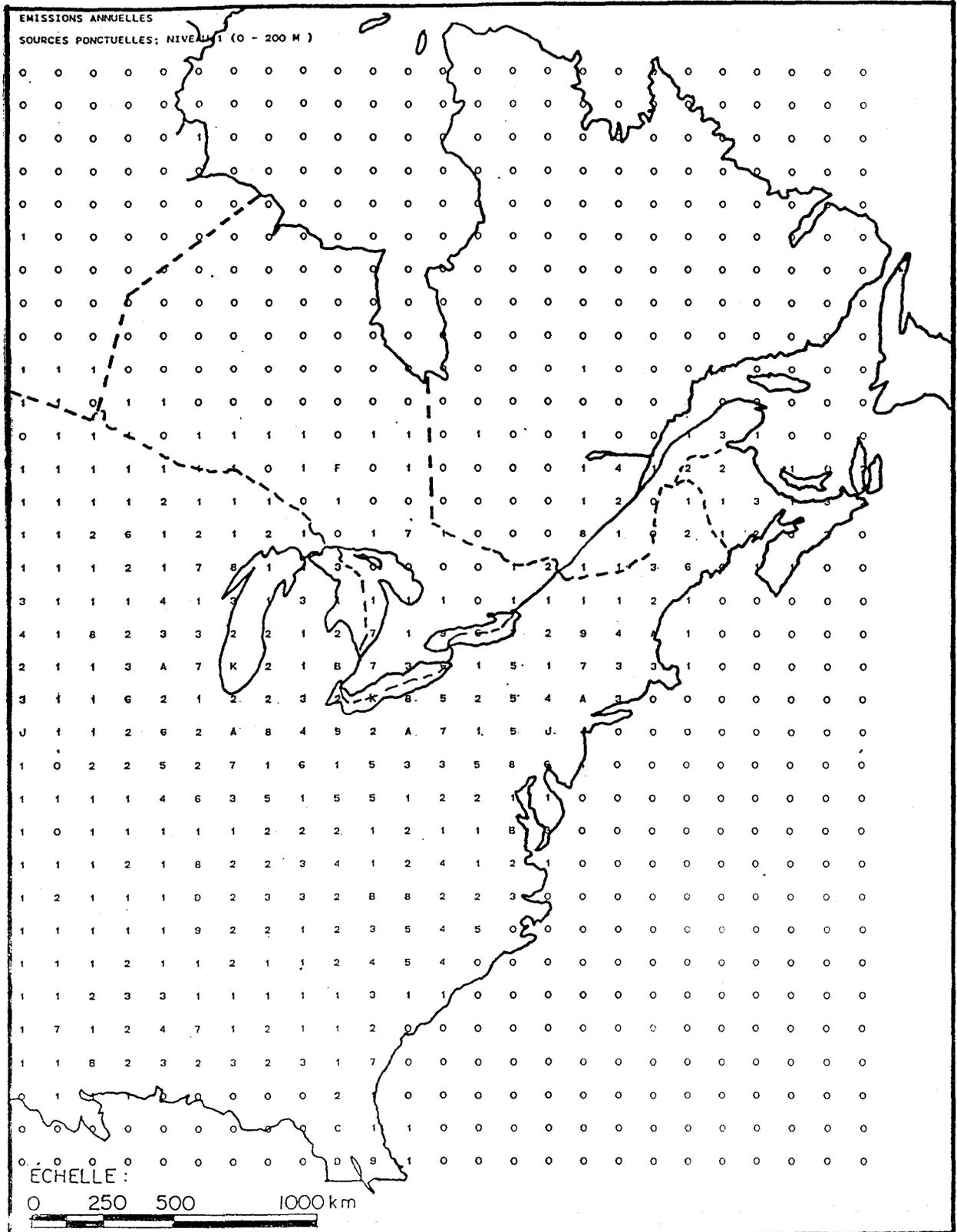


FIGURE 2.3 Émissions annuelles de SO₂ des sources ponctuelles de niveau 1 (H ≤ 200 m). Les émissions augmentent graduellement en passant de 1 à 9 puis de A à K.

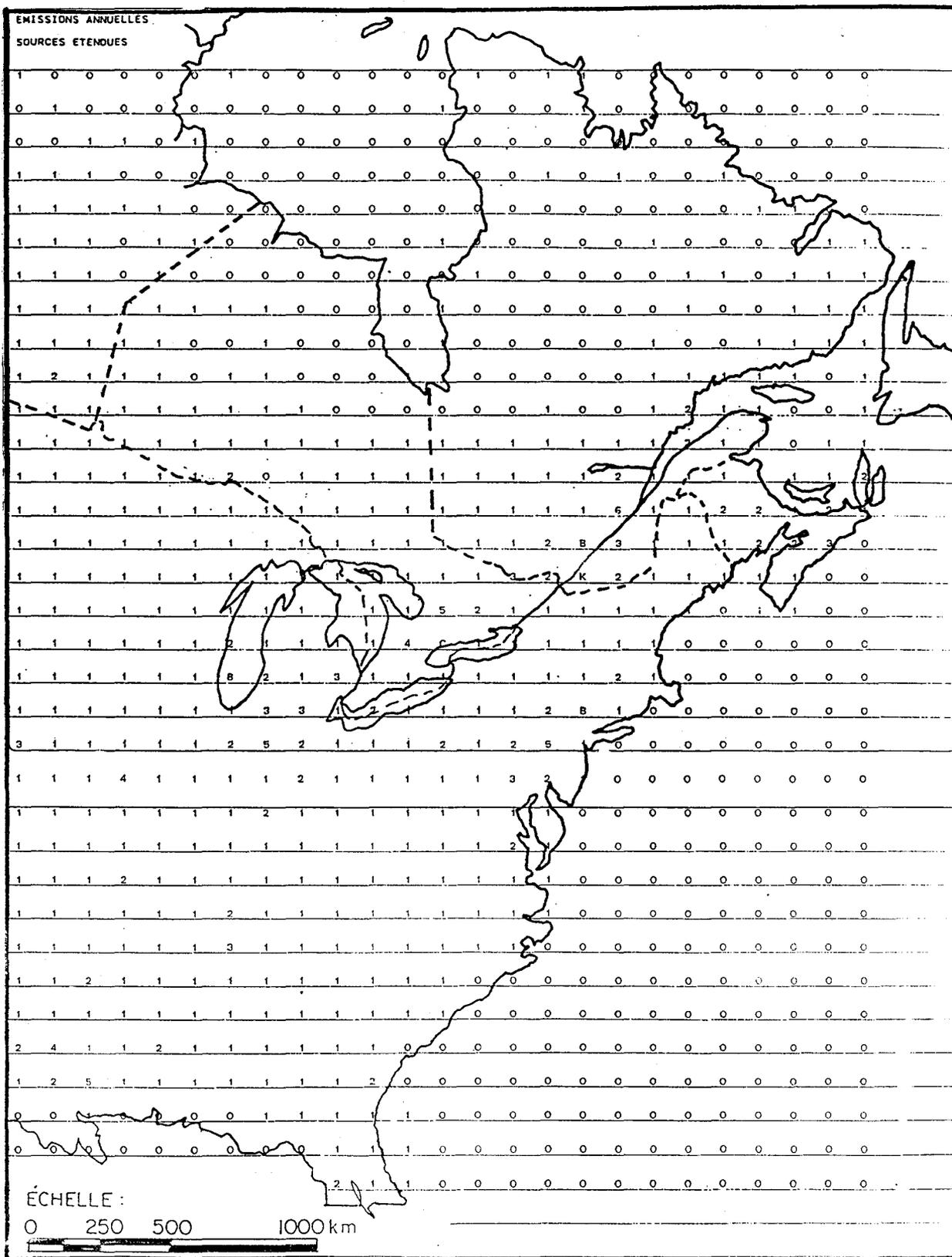


FIGURE 2.4 Émissions annuelles de SO₂ des sources étendues. Les émissions augmentent graduellement en passant de 1 à 9 puis de A à K.

Les émissions augmentent graduellement en passant de 1 à 9 puis de A à K. La lettre K indique donc un maximum d'émission sur chacune des cartes.

Comme on peut le constater sur la figure 2.1, les sources ponctuelles de niveau 3 (hauteur effective = 500 m) sont peu nombreuses. Au Canada, les seules sources de ce type sont situées à Sudbury (l'Inco) et au Manitoba. Aux États-Unis, ces sources sont surtout concentrées au sud des Grands Lacs et quelques-unes se retrouvent le long de la côte est.

En ce qui concerne les sources ponctuelles de niveau 2 (hauteur effective = 350 m; figure 2.2), on constate que le Québec possède deux sources importantes de ce type: Mines Noranda à Noranda et Mines Gaspé à Murdochville. Les autres sources importantes de ce type se retrouvent dans le sud de l'Ontario, dans le Mid West américain et le long de la côte est américaine. Enfin, remarquons que la source ponctuelle de niveau 2 la plus importante est Mines Noranda à Noranda.

Pour les sources ponctuelles de niveau 1 (hauteur effective = 100 m; figure 2.3), on remarque que les émissions sont réparties sur un territoire couvrant essentiellement les États-Unis et le sud du Canada. Les émissions les plus importantes se retrouvent généralement dans le Mid West américain avec des maxima (indiqués par la lettre K) dans les régions de Chicago (Illinois) et de Cleveland (Ohio). Au Québec, les sources ponctuelles de niveau 1 les plus importantes sont situées dans les régions de Montréal et de Chicoutimi-Jonquière. Précisons que les émissions de Montréal sont deux fois plus importantes que celles de la région de Chicoutimi-Jonquière.

En ce qui concerne les sources étendues (hauteur effective = 10 m; figure 2.4), on constate que les émissions les plus importantes se retrouvent dans la région des Grands Lacs, le long du fleuve Saint-Laurent et le long de la côte est américaine (à New York par exemple). Remarquons également que Montréal est la région où les émissions des sources étendues sont les plus importantes. Or, ceci est pour le moins surprenant! En effet, Montréal surpasse des villes aussi peuplées que les villes de Toronto et

de New York en ce qui concerne les émissions des sources étendues. Ceci peut sans doute s'expliquer de la façon suivante. Rappelons d'abord que les émissions des sources étendues dépendent entre autres des émissions reliées au chauffage résidentiel. Ainsi, la longueur de la saison froide de même que la sévérité du froid régnant lors de cette saison pourraient expliquer, en partie, un différentiel nord-sud dans les émissions reliées au chauffage. D'autre part, il est clair que les émissions de SO_2 dépendent également de la teneur en soufre du mazout utilisé pour le chauffage. Or, les teneurs maximales en soufre du mazout utilisé dans les villes de Montréal et de New York sont respectivement de 1,5% et 0,5%.

La figure 2.5 présente les émissions annuelles totales de SO_2 obtenues en sommant les émissions annuelles des sources étendues (figure 2.4) avec les émissions annuelles des sources ponctuelles des niveaux 1, 2 et 3 (figures 2.1, 2.2 et 2.3). On retrouve également au tableau 2.1 quelques statistiques intéressantes sur les émissions de SO_2 . Ce tableau présente les émissions annuelles et saisonnières de chacun des quatre types de sources (étendues, ponctuelles de niveaux 1, 2 et 3). On remarque que les émissions saisonnières totales varient d'environ 15% au cours de l'année. Les émissions totales présentent un maximum hivernal et un minimum printanier. Pour expliquer ces variations il est utile de considérer les émissions de chaque type de sources. On remarque que les émissions des sources étendues atteignent un maximum lors de la saison d'hiver. Ces émissions sont minimales lors de la saison d'été c'est-à-dire lorsque les besoins en chauffage sont réduits au minimum. D'autre part, on constate que les émissions totales des sources ponctuelles (niveaux 1, 2 et 3) présentent un maximum hivernal et un minimum printanier. Ce cycle est relié directement aux variations du niveau d'activités industrielles.

Enfin, le tableau 2.2 présente la contribution relative de chaque type de sources aux émissions annuelles totales. On constate que les émissions des sources ponctuelles de niveau 2 (hauteur effective = 350 m) sont les plus importantes. Elles représentent 41,4% des émissions annuelles totales. Par contre, les sources étendues sont celles dont la contribution

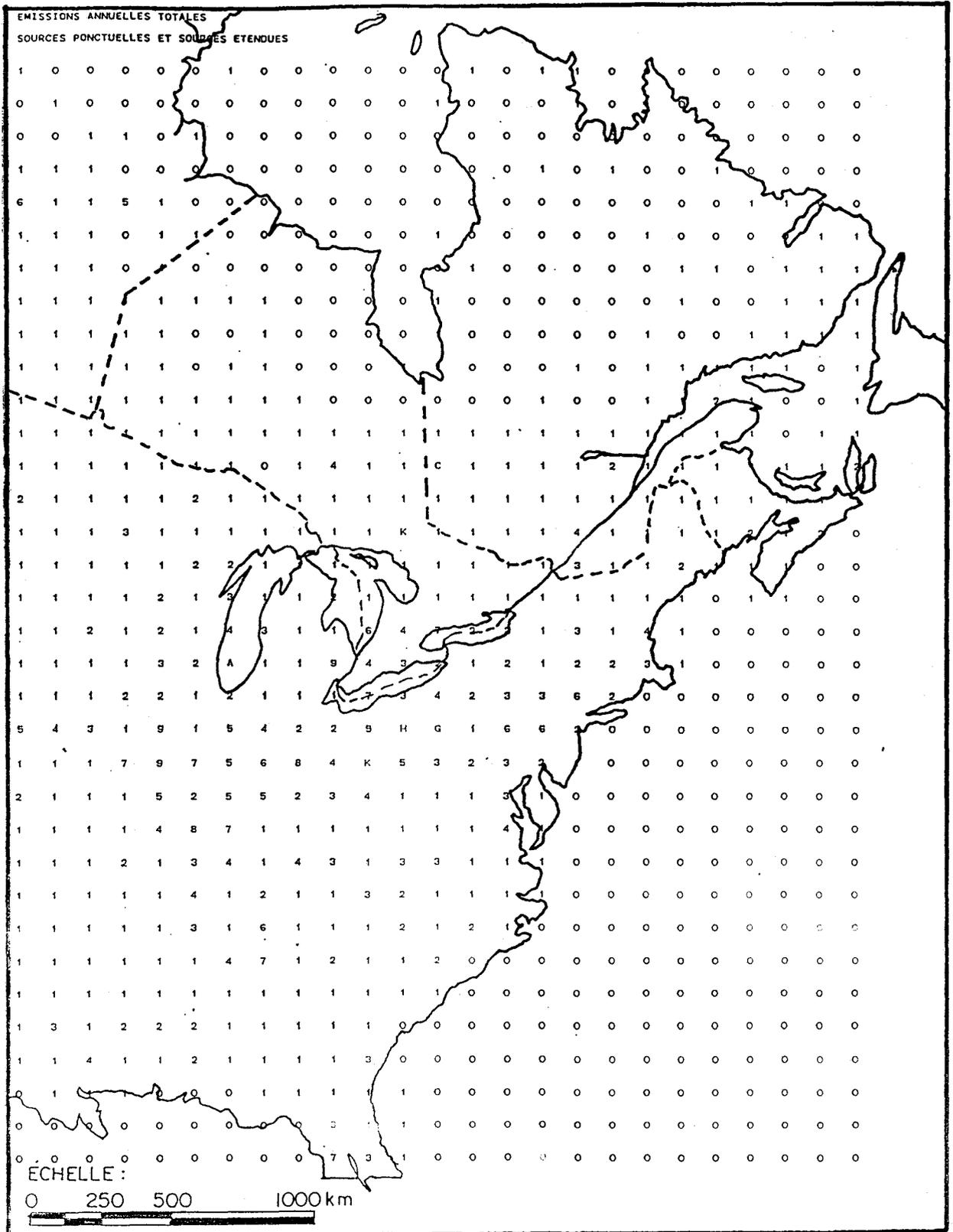


FIGURE 2.5 Émissions annuelles totales de SO₂ des sources ponctuelles et étendues. Les émissions augmentent graduellement en passant de 1 à 9 puis de A à K.

TABLEAU 2.1 Émissions (Tg SO₂) saisonnières et annuelles des sources étendues et des sources ponctuelles des niveaux 1, 2 et 3 de l'est de l'Amérique du Nord pour l'année 1980.

	Sources				Total
	Étendues	Ponctuelles de niveau			
		1	2	3	
Hiver	0,556	2,272	2,737	1,044	6,609
Printemps	0,464	1,998	2,247	0,960	5,669
Été	0,346	2,115	2,626	1,061	6,148
Automne	0,444	2,042	2,485	0,967	5,938
Annuel	1,809	8,246	10,089	4,028	24,352

TABLEAU 2.2 Contribution relative (%) de chaque type de sources aux émissions annuelles totales.

	Sources			
	Étendues	Ponctuelles de niveau		
		1	2	3
Contribution relative (%)	7,4	34,6	41,4	16,5

au bilan annuel est la plus faible. Enfin, remarquons que, malgré leur faible nombre, les sources ponctuelles de niveau 3 (hauteur effective = 500 m) représentent tout de même 16,5% des émissions annuelles totales. Ceci n'est pas surprenant puisque, même si ces sources sont peu nombreuses, ce sont généralement celles dont les émissions sont les plus importantes.

2.2 Définition des régions sources

Les émissions décrites à la section précédente ont été regroupées de façon à diminuer le nombre de sources qui sont incorporées dans le modèle. Ce regroupement permet de diminuer le temps de calcul du modèle et réduit ainsi les coûts d'opération du MTGDPA. D'autre part, nous savons qu'il n'est pas utile de définir des régions sources de petites dimensions dans les régions situées loin du Québec. Rappelons que, dans cette étude, le Québec est la seule région où nous désirons calculer les dépôts de sulfates à l'aide du modèle.

Après entente entre l'INRS et le MENVIQ le regroupement illustré à la figure 2.6 a été retenu. Sur le Québec méridional, la résolution spatiale des données d'émissions fournies par l'EPA a été utilisée. Les régions sources ont donc 127 km de côté. Cette zone de haute résolution est entourée d'une zone de résolution intermédiaire où les régions sources ont 254 km de côté. Enfin, le reste de la grille est couvert par des régions sources de 381 km de côté. Remarquons que la zone de résolution intermédiaire (régions sources de 254 km de côté) a été prolongée vers le sud pour couvrir le Mid West et la côte est américaine. Les émissions étant particulièrement variables spatialement (voir la figure 2.5) dans cette zone située à proximité du Québec, nous avons préféré ne pas les lisser exagérément.

Les tableaux 2.3 à 2.7 présentent les émissions annuelles et saisonnières associées aux régions sources dont nous venons de discuter. On notera que les régions sources ont été numérotées et que les numéros apparaissent à la figure 2.6. On retrouve également dans les tableaux 2.3 à 2,7, les coordonnées (X,Y) du centroïde d'émission de chaque région source.

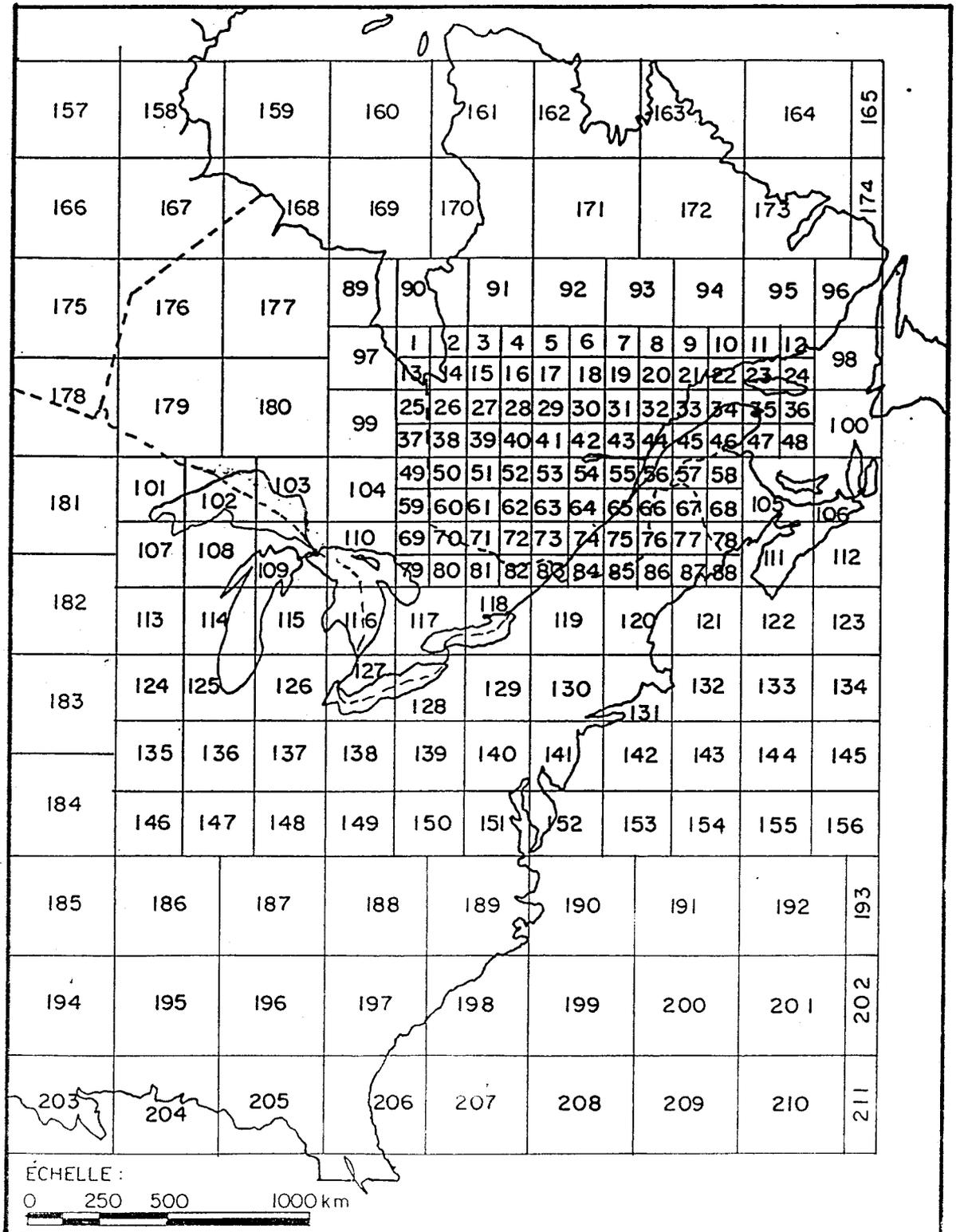


FIGURE 2.6 Régions sources pour les émissions de SO₂.

TABLEAU 2.3

EMISSIONS ANNUELLES DE SO2 (1980)
EN TONNES METRIQUES

#SOURCES	X	Y	SOURCES ETENDUES	SOURCES PONCTUELLES			EMISSIONS TOTALES
				#1	#2	#3	
2	11.17	8.50	89.	0.	0.	0.	89.
8	13.17	8.50	284.	0.	0.	0.	284.
11	14.17	8.50	4.	0.	0.	0.	4.
12	14.10	8.50	4.	0.	0.	0.	4.
13	10.83	8.17	49.	0.	0.	0.	49.
14	11.17	8.17	83.	0.	0.	0.	83.
18	12.50	8.17	0.	2.	0.	0.	2.
20	13.17	8.17	45.	0.	0.	0.	45.
21	13.50	8.17	1323.	0.	0.	0.	1323.
22	13.83	8.17	75.	0.	0.	0.	75.
23	14.17	8.17	1285.	0.	0.	0.	1285.
24	14.50	8.17	37.	0.	0.	0.	37.
29	12.17	7.83	707.	0.	0.	0.	707.
32	13.17	7.83	29.	0.	0.	0.	29.
33	13.50	7.84	11640.	2916.	0.	0.	14556.
34	13.83	7.84	982.	0.	91060.	0.	92042.
35	14.17	7.84	896.	0.	0.	0.	896.
37	10.83	7.50	178.	298.	0.	0.	476.
38	11.17	7.50	128.	0.	0.	0.	128.
39	11.50	7.50	399.	705.	0.	0.	1104.
40	11.83	7.50	76.	0.	0.	0.	76.
41	12.17	7.50	225.	0.	0.	0.	225.
42	12.50	7.50	1308.	1679.	0.	0.	2987.
43	12.83	7.50	486.	0.	0.	0.	486.
44	13.17	7.50	1163.	0.	0.	0.	1163.
45	13.50	7.50	8232.	7164.	0.	0.	15396.
46	13.83	7.50	3630.	24060.	0.	0.	27690.
47	14.17	7.50	3352.	1106.	0.	0.	4458.
49	10.83	7.17	1606.	3293.	0.	0.	4899.
50	11.17	7.17	2976.	0.	537900.	0.	540876.
51	11.50	7.17	2703.	0.	0.	0.	2703.
52	11.83	7.17	24.	0.	0.	0.	24.
53	12.17	7.17	49.	0.	0.	0.	49.
54	12.50	7.17	1173.	921.	0.	0.	2094.
55	12.83	7.17	9564.	43030.	0.	0.	52594.
56	13.17	7.17	4715.	1158.	0.	0.	5873.
57	13.50	7.17	4155.	12270.	0.	0.	16425.
58	13.83	7.17	2479.	12940.	0.	0.	15419.
59	10.83	6.83	36.	0.	0.	0.	36.
60	11.17	6.84	1086.	0.	0.	0.	1086.
61	11.50	6.83	14.	0.	0.	0.	14.
62	11.83	6.83	32.	0.	0.	0.	32.
63	12.17	6.84	218.	0.	0.	0.	218.
64	12.50	6.84	4371.	1839.	0.	0.	6210.
65	12.83	6.83	35200.	11650.	0.	0.	46850.
66	13.17	6.84	3058.	0.	0.	0.	3058.
67	13.50	6.83	1450.	5339.	0.	0.	6789.
68	13.83	6.83	7442.	557.	0.	0.	7999.
69	10.83	6.50	5381.	74270.	114000.	746800.	940451.
70	11.17	6.50	1766.	7451.	0.	0.	9217.
71	11.50	6.50	975.	0.	0.	0.	975.
72	11.83	6.50	2067.	0.	0.	0.	2067.
73	12.17	6.50	7017.	0.	0.	0.	7017.
74	12.50	6.50	71080.	80380.	3434.	0.	154894.
75	12.83	6.50	13850.	404.	0.	0.	14254.

TABLEAU 2.3 (suite)

EMISSIONS ANNUELLES DE SO2 (1980)
EN TONNES METRIQUES

#SOURCES	X	Y	SOURCES ETENDUES	SOURCES PONCTUELLES			EMISSIONS TOTALES
				#1	#2	#3	
76	13.17	6.50	2952.	0.	0.	0.	2952.
77	13.50	6.50	477.	19580.	0.	0.	20057.
78	13.83	6.50	2915.	7948.	0.	0.	10863.
79	10.83	6.17	486.	0.	0.	0.	486.
80	11.17	6.17	1536.	0.	0.	0.	1536.
81	11.50	6.17	702.	0.	0.	0.	702.
82	11.83	6.17	19200.	523.	0.	0.	19723.
83	12.17	6.17	10220.	16040.	0.	0.	26260.
84	12.50	6.17	136300.	9331.	0.	0.	145631.
85	12.83	6.17	9314.	3457.	0.	0.	12771.
86	13.17	6.17	933.	24380.	0.	0.	25313.
87	13.50	6.17	3440.	59050.	0.	0.	62490.
88	13.83	6.17	440.	0.	0.	0.	440.
90	11.17	8.83	101.	0.	0.	0.	101.
91	11.50	9.17	20.	0.	0.	0.	20.
94	13.52	8.87	1777.	0.	0.	0.	1777.
95	14.50	9.16	505.	0.	0.	0.	505.
96	15.16	8.89	357.	0.	0.	0.	357.
98	15.15	8.23	1298.	0.	0.	0.	1298.
99	10.49	7.50	653.	4859.	0.	0.	5512.
100	15.04	7.68	1609.	0.	0.	0.	1609.
101	8.38	7.04	3533.	30963.	7246.	0.	41741.
102	8.93	6.95	7444.	17643.	57780.	0.	82867.
103	9.58	6.91	294.	2143.	0.	0.	2437.
104	10.17	7.17	356.	161688.	0.	0.	162044.
105	14.23	6.90	22705.	37264.	0.	0.	59969.
106	15.09	6.98	23809.	65440.	47560.	0.	136809.
107	8.19	6.43	9276.	82472.	71350.	0.	163097.
108	9.01	6.20	3646.	175469.	0.	0.	179115.
109	9.57	6.43	1533.	23694.	15240.	0.	40467.
110	10.18	6.22	5297.	25931.	0.	0.	31228.
111	14.21	6.48	27370.	18332.	69550.	0.	115252.
112	14.83	6.50	15900.	19660.	22100.	0.	57660.
113	8.44	5.67	7237.	85266.	67480.	0.	159983.
114	9.10	5.64	17215.	84545.	290610.	0.	392370.
115	9.60	5.57	6037.	64692.	120180.	0.	190909.
116	10.43	5.55	11099.	103121.	220582.	0.	334802.
117	11.05	5.53	141448.	94498.	265100.	0.	501046.
118	11.70	5.53	16883.	143915.	27123.	0.	187921.
119	12.45	5.53	8120.	121612.	21460.	0.	151192.
120	13.11	5.54	10474.	157259.	77986.	3.	245721.
121	13.50	5.83	335.	2931.	0.	0.	3265.
122	14.36	5.83	140.	0.	0.	0.	140.
124	8.39	5.00	13010.	212750.	68379.	0.	294139.
125	9.12	5.14	68233.	308114.	216249.	4436.	597032.
126	9.66	4.97	44232.	64370.	0.	0.	108602.
127	10.34	5.05	37363.	435240.	391630.	7.	864240.
128	11.00	4.97	13902.	228860.	247450.	0.	490212.
129	11.72	4.92	10948.	120686.	76767.	33550.	241951.
130	12.40	4.89	89505.	227807.	179700.	457.	497469.
131	12.99	5.08	16914.	93920.	116530.	1.	227365.
132	13.50	5.17	0.	81.	0.	0.	81.
135	8.40	4.29	31667.	143500.	984500.	0.	1159667.
136	9.02	4.27	18959.	223640.	538859.	0.	781458.
137	9.66	4.24	57217.	184536.	350610.	268400.	860763.

TABLEAU 2.3 (suite)

EMISSIONS ANNUELLES DE SO2 (1980)
EN TONNES METRIQUES

#SOURCES	X	Y	SOURCES ETENDUES	SOURCES PONCTUELLES			EMISSIONS TOTALES
				#1	#2	#3	
138	10.45	4.23	10279.	124350.	637900.	609600.	1382129.
139	10.99	4.44	18125.	233520.	730450.	928400.	1910495.
140	11.76	4.35	32786.	195348.	249857.	14.	478004.
141	12.24	4.41	47348.	351020.	22685.	0.	421053.
146	8.49	3.69	7753.	42046.	377700.	0.	427499.
147	9.02	3.60	16680.	102900.	505730.	337400.	962710.
148	9.59	3.80	24456.	96750.	195150.	84.	316440.
149	10.37	3.79	11670.	116688.	22615.	151530.	302503.
150	11.00	3.61	11618.	38583.	8893.	0.	59094.
151	11.82	3.67	18944.	134029.	152800.	0.	305773.
152	12.17	3.56	7356.	33952.	0.	0.	41308.
157	7.47	10.87	10.	0.	0.	0.	10.
158	8.79	10.50	45.	3.	0.	0.	48.
159	9.17	11.17	28.	0.	0.	0.	28.
161	11.32	10.99	30.	0.	0.	0.	30.
162	12.35	11.09	9.	0.	0.	0.	9.
163	13.17	10.83	5.	0.	0.	0.	5.
166	7.17	9.83	759.	311.	0.	248500.	249570.
167	8.17	9.84	549.	0.	214400.	0.	214949.
170	11.17	9.50	10.	0.	0.	0.	10.
171	12.60	10.17	31.	0.	0.	0.	31.
172	13.17	9.51	314.	0.	0.	0.	314.
173	14.62	9.62	35.	0.	0.	0.	35.
174	15.17	9.50	24.	0.	0.	0.	24.
175	7.30	8.67	1779.	0.	0.	0.	1779.
176	8.45	8.85	51.	0.	0.	0.	51.
177	9.44	8.62	23.	0.	0.	0.	23.
178	7.49	7.98	19470.	14527.	978.	0.	34975.
179	8.33	7.73	2127.	2811.	0.	0.	4937.
180	9.43	7.51	689.	1735.	0.	0.	2424.
181	7.45	6.75	10889.	37532.	66880.	0.	115301.
182	7.52	5.64	18466.	156074.	16570.	132.	191241.
183	7.42	4.56	29173.	272840.	316709.	0.	618722.
184	7.33	3.90	15824.	36280.	79950.	0.	132054.
185	7.61	2.69	20828.	46188.	37876.	1536.	106428.
186	8.70	2.90	24486.	334049.	158670.	0.	517205.
187	9.50	2.82	50328.	168945.	219180.	375040.	813492.
188	10.54	2.90	28637.	391087.	166520.	1.	586245.
189	11.39	2.87	16799.	225430.	67980.	0.	310209.
190	12.17	3.14	359.	170.	0.	0.	529.
194	7.53	1.63	64114.	111670.	40277.	0.	216061.
195	8.48	1.68	31127.	211046.	149290.	0.	391463.
196	9.41	2.11	21970.	48324.	180300.	294900.	545494.
197	10.50	2.05	11541.	146985.	13254.	27620.	199401.
198	11.17	2.16	2223.	44516.	35240.	0.	81979.
203	7.81	1.17	39603.	130097.	4368.	0.	174069.
204	8.67	1.17	6026.	57342.	59660.	0.	123028.
205	9.50	1.17	3468.	68700.	0.	0.	72168.
206	10.38	0.75	21892.	249434.	58580.	0.	329906.
TOTAL			1809287.	8425924.	10088876.	4028409.	24352496.

TABLEAU 2.4

EMISSIONS DE SO2 (HIVER 1980)
EN TONNES METRIQUES

#SOURCES	X	Y	SOURCES ETENDUES	SOURCES PONCTUELLES			EMISSIONS TOTALES
				#1	#2	#3	
2	11.17	8.50	25.	0.	0.	0.	25.
8	13.17	8.50	88.	0.	0.	0.	88.
11	14.17	8.50	1.	0.	0.	0.	1.
12	14.50	8.50	1.	0.	0.	0.	1.
13	10.83	8.17	18.	0.	0.	0.	18.
14	11.17	8.17	23.	0.	0.	0.	23.
18	12.50	8.17	0.	1.	0.	0.	1.
20	13.17	8.17	14.	0.	0.	0.	14.
21	13.50	8.17	432.	0.	0.	0.	432.
22	13.83	8.17	27.	0.	0.	0.	27.
23	14.17	8.17	115.	0.	0.	0.	115.
24	14.50	8.17	13.	0.	0.	0.	13.
29	12.17	7.83	222.	0.	0.	0.	222.
32	13.17	7.83	10.	0.	0.	0.	10.
33	13.50	7.84	592.	729.	0.	0.	1321.
34	13.83	7.84	301.	0.	22770.	0.	23071.
35	14.17	7.84	275.	0.	0.	0.	275.
37	10.83	7.50	55.	74.	0.	0.	129.
38	11.17	7.50	41.	0.	0.	0.	41.
39	11.50	7.50	123.	176.	0.	0.	299.
40	11.83	7.50	24.	0.	0.	0.	24.
41	12.17	7.50	68.	0.	0.	0.	68.
42	12.50	7.50	423.	420.	0.	0.	843.
43	12.83	7.50	156.	0.	0.	0.	156.
44	13.17	7.50	280.	0.	0.	0.	280.
45	13.50	7.50	2071.	1791.	0.	0.	3862.
46	13.83	7.50	1124.	6613.	0.	0.	7737.
47	14.17	7.50	1030.	276.	0.	0.	1306.
49	10.83	7.17	499.	823.	0.	0.	1322.
50	11.17	7.17	961.	0.	134500.	0.	135461.
51	11.50	7.17	895.	0.	0.	0.	895.
52	11.83	7.17	8.	0.	0.	0.	8.
53	12.17	7.17	17.	0.	0.	0.	17.
54	12.50	7.17	395.	230.	0.	0.	625.
55	12.83	7.17	2973.	10760.	0.	0.	13733.
56	13.17	7.17	1541.	290.	0.	0.	1831.
57	13.50	7.17	1269.	3140.	0.	0.	4409.
58	13.83	7.17	758.	3236.	0.	0.	3994.
59	10.83	6.83	12.	0.	0.	0.	12.
60	11.17	6.84	350.	0.	0.	0.	350.
61	11.50	6.83	3.	0.	0.	0.	3.
62	11.83	6.83	11.	0.	0.	0.	11.
63	12.17	6.84	68.	0.	0.	0.	68.
64	12.50	6.84	1418.	460.	0.	0.	1878.
65	12.83	6.83	10990.	2911.	0.	0.	13901.
66	13.17	6.84	981.	0.	0.	0.	981.
67	13.50	6.83	408.	1950.	0.	0.	2358.
68	13.83	6.83	2375.	139.	0.	0.	2514.
69	10.83	6.50	1693.	18570.	28490.	186700.	235453.
70	11.17	6.50	580.	1863.	0.	0.	2443.
71	11.50	6.50	340.	0.	0.	0.	340.
72	11.83	6.50	676.	0.	0.	0.	676.
73	12.17	6.50	2333.	0.	0.	0.	2333.
74	12.50	6.50	22480.	20060.	859.	0.	43399.
75	12.83	6.50	4453.	101.	0.	0.	4554.

TABLEAU 2.4 (suite)

EMISSIONS DE SO2 (HIVER 1980)
EN TONNES METRIQUES

#SOURCES	X	Y	SOURCES ETENDUES	SOURCES PONCTUELLES			EMISSIONS TOTALES
				#1	#2	#3	
76	13.17	6.50	952.	0.	0.	0.	952.
77	13.50	6.50	119.	5043.	0.	0.	5162.
78	13.83	6.50	900.	2002.	0.	0.	2902.
79	10.83	6.17	90.	0.	0.	0.	90.
80	11.17	6.17	413.	0.	0.	0.	413.
81	11.50	6.17	227.	0.	0.	0.	227.
82	11.83	6.17	6613.	131.	0.	0.	6744.
83	12.17	6.17	3362.	3911.	0.	0.	7273.
84	12.50	6.17	43850.	2596.	0.	0.	46446.
85	12.83	6.17	3085.	971.	0.	0.	4056.
86	13.17	6.17	286.	6636.	0.	0.	6922.
87	13.50	6.17	1010.	22420.	0.	0.	23430.
88	13.83	6.17	139.	0.	0.	0.	139.
90	11.17	8.83	30.	0.	0.	0.	30.
91	11.50	9.17	8.	0.	0.	0.	8.
94	13.52	8.87	540.	0.	0.	0.	540.
95	14.50	9.17	161.	0.	0.	0.	161.
96	15.16	8.89	113.	0.	0.	0.	113.
98	15.15	8.24	413.	0.	0.	0.	413.
99	10.48	7.50	202.	1215.	0.	0.	1417.
100	15.04	7.68	503.	0.	0.	0.	503.
101	8.40	7.02	1061.	9042.	1386.	0.	11489.
102	8.94	6.95	1081.	4639.	15859.	0.	21578.
103	9.58	6.91	89.	536.	0.	0.	624.
104	10.17	7.17	119.	40422.	0.	0.	40541.
105	14.24	6.90	7257.	10420.	0.	0.	17677.
106	15.09	6.98	7774.	18072.	13091.	0.	38937.
107	8.18	6.42	2763.	28599.	19632.	0.	50994.
108	9.01	6.20	1118.	44947.	0.	0.	46065.
109	9.57	6.43	487.	6092.	4420.	0.	10999.
110	10.18	6.22	1332.	7133.	0.	0.	8465.
111	14.21	6.48	8735.	4582.	19470.	0.	32787.
112	14.83	6.50	5398.	5044.	6188.	0.	16630.
113	8.45	5.68	2180.	26192.	19851.	0.	48222.
114	9.10	5.64	5026.	23716.	80290.	0.	109032.
115	9.61	5.57	1837.	16948.	29426.	0.	48211.
116	10.44	5.54	2964.	27811.	74557.	0.	105331.
117	11.04	5.52	43983.	25598.	99650.	0.	169231.
118	11.70	5.53	5251.	38361.	8180.	0.	51792.
119	12.44	5.53	2805.	35428.	5581.	0.	43815.
120	13.10	5.55	3687.	44501.	20681.	3.	68872.
121	13.50	5.83	116.	977.	0.	0.	1093.
122	14.35	5.83	45.	0.	0.	0.	45.
124	8.41	5.02	3461.	55765.	16583.	0.	75809.
125	9.12	5.13	18939.	84192.	60799.	1229.	165159.
126	9.65	4.98	11995.	17599.	0.	0.	29594.
127	10.33	5.04	10593.	118173.	108790.	0.	237556.
128	10.98	4.99	4145.	63883.	68144.	0.	136172.
129	11.73	4.92	4319.	34427.	20181.	8387.	67313.
130	12.40	4.89	28773.	66450.	53280.	91.	148594.
131	12.99	5.09	5435.	29833.	34315.	0.	69583.
132	13.50	5.17	0.	23.	0.	0.	23.
135	8.42	4.31	8368.	40249.	245010.	0.	293627.
136	9.02	4.28	5011.	61302.	146065.	0.	212377.
137	9.67	4.25	15680.	51480.	93795.	67100.	228055.

TABLEAU 2.4 (suite)

EMISSIONS DE SO2 (HIVER 1980)
EN TONNES METRIQUES

#SOURCES	X	Y	SOURCES ETENDUES	SOURCES PONCTUELLES			EMISSIONS TOTALES
				#1	#2	#3	
138	10.45	4.23	2936.	36809.	169770.	174500.	384015.
139	10.99	4.44	5968.	62658.	199920.	237070.	505616.
140	11.75	4.34	11348.	52686.	66671.	8.	130713.
141	12.24	4.41	16195.	96750.	5394.	0.	118339.
146	8.50	3.68	2076.	11234.	104050.	0.	117361.
147	9.02	3.60	4580.	27022.	138534.	91090.	261226.
148	9.59	3.81	7021.	20736.	56960.	24.	84740.
149	10.38	3.79	4025.	27318.	6610.	41350.	79304.
150	11.00	3.60	3810.	10174.	2668.	0.	16652.
151	11.82	3.67	5599.	37574.	43370.	0.	86543.
152	12.17	3.57	2163.	11543.	0.	0.	13706.
157	7.50	10.83	2.	0.	0.	0.	2.
158	8.75	10.50	16.	1.	0.	0.	17.
159	9.17	11.17	8.	0.	0.	0.	8.
161	11.31	10.97	12.	0.	0.	0.	12.
162	12.37	11.03	5.	0.	0.	0.	5.
163	13.17	10.83	3.	0.	0.	0.	3.
166	7.17	9.83	259.	78.	0.	62130.	62467.
167	8.17	9.84	184.	0.	53600.	0.	53784.
170	11.17	9.50	4.	0.	0.	0.	4.
171	12.58	10.17	13.	0.	0.	0.	13.
172	13.18	9.51	99.	0.	0.	0.	99.
173	14.59	9.64	14.	0.	0.	0.	14.
174	15.17	9.50	7.	0.	0.	0.	7.
175	7.29	8.67	573.	0.	0.	0.	573.
176	8.47	8.86	13.	0.	0.	0.	13.
177	9.45	8.60	7.	0.	0.	0.	7.
178	7.48	7.98	5947.	5474.	802.	0.	12223.
179	8.32	7.73	683.	703.	0.	0.	1385.
180	9.43	7.51	209.	434.	0.	0.	643.
181	7.45	6.75	3204.	11804.	19398.	0.	34405.
182	7.47	5.65	5080.	38365.	4806.	39.	48290.
183	7.43	4.56	7579.	71974.	90845.	0.	170399.
184	7.32	3.90	4080.	8985.	23693.	0.	36758.
185	7.48	2.78	5944.	11493.	145.	384.	17966.
186	8.70	2.90	7393.	90281.	44073.	0.	141747.
187	9.50	2.83	14216.	47896.	60300.	90485.	212897.
188	10.55	2.91	9412.	101257.	47597.	0.	158266.
189	11.40	2.88	5689.	56584.	16017.	0.	78290.
190	12.17	3.14	118.	55.	0.	0.	173.
194	7.52	1.65	25100.	27829.	10379.	0.	63308.
195	8.48	1.67	8994.	52805.	34958.	0.	96757.
196	9.41	2.12	6002.	13220.	46840.	78650.	144712.
197	10.52	2.04	2993.	35982.	3029.	5247.	47251.
198	11.17	2.16	629.	12067.	6988.	0.	19684.
203	7.80	1.17	16142.	31528.	1092.	0.	48762.
204	8.65	1.17	1633.	13793.	11930.	0.	27356.
205	9.50	1.17	904.	17465.	0.	0.	18369.
206	10.37	0.75	5793.	65144.	14673.	0.	85609.
TOTAL			555565.	2271693.	2736954.	1044487.	6608700.

TABLEAU 2.5

EMISSIONS DE SO2 (PRITEPS 1980)
EN TONNES METRIQUES

#SOURCES	X	Y	SOURCES ETENDUES	SOURCES PONCTUELLES			EMISSIONS TOTALES
				#1	#2	#3	
2	11.17	8.50	24.	0.	0.	0.	24.
8	13.17	8.50	73.	0.	0.	0.	73.
11	14.17	8.50	1.	0.	0.	0.	1.
12	14.50	8.50	1.	0.	0.	0.	1.
13	10.83	8.17	12.	0.	0.	0.	12.
14	11.17	8.17	22.	0.	0.	0.	22.
18	12.50	8.17	0.	0.	0.	0.	0.
20	13.17	8.17	12.	0.	0.	0.	12.
21	13.50	8.17	329.	0.	0.	0.	329.
22	13.83	8.17	18.	0.	0.	0.	18.
23	14.17	8.17	349.	0.	0.	0.	349.
24	14.50	8.17	9.	0.	0.	0.	9.
29	12.17	7.83	179.	0.	0.	0.	179.
32	13.17	7.83	7.	0.	0.	0.	7.
33	13.50	7.84	3199.	729.	0.	0.	3928.
34	13.83	7.84	247.	0.	22770.	0.	23017.
35	14.17	7.84	220.	0.	0.	0.	220.
37	10.83	7.50	46.	74.	0.	0.	120.
38	11.17	7.50	33.	0.	0.	0.	33.
39	11.50	7.50	102.	176.	0.	0.	278.
40	11.83	7.50	20.	0.	0.	0.	20.
41	12.17	7.50	58.	0.	0.	0.	58.
42	12.50	7.50	327.	420.	0.	0.	747.
43	12.83	7.50	121.	0.	0.	0.	121.
44	13.17	7.50	300.	0.	0.	0.	300.
45	13.50	7.50	2088.	1791.	0.	0.	3879.
46	13.83	7.50	933.	4422.	0.	0.	5355.
47	14.17	7.50	861.	276.	0.	0.	1137.
49	10.83	7.17	413.	823.	0.	0.	1236.
50	11.17	7.17	743.	0.	134500.	0.	135243.
51	11.50	7.17	666.	0.	0.	0.	666.
52	11.83	7.17	6.	0.	0.	0.	6.
53	12.17	7.17	11.	0.	0.	0.	11.
54	12.50	7.17	286.	230.	0.	0.	516.
55	12.83	7.17	2372.	10760.	0.	0.	13132.
56	13.17	7.17	1163.	290.	0.	0.	1453.
57	13.50	7.17	1076.	3187.	0.	0.	4263.
58	13.83	7.17	648.	3236.	0.	0.	3884.
59	10.83	6.83	9.	0.	0.	0.	9.
60	11.17	6.84	272.	0.	0.	0.	272.
61	11.50	6.83	4.	0.	0.	0.	4.
62	11.83	6.83	8.	0.	0.	0.	8.
63	12.17	6.84	55.	0.	0.	0.	55.
64	12.50	6.84	1090.	460.	0.	0.	1550.
65	12.83	6.83	8620.	2911.	0.	0.	11531.
66	13.17	6.84	764.	0.	0.	0.	764.
67	13.50	6.83	372.	1076.	0.	0.	1448.
68	13.83	6.83	1917.	139.	0.	0.	2056.
69	10.83	6.50	1393.	18570.	28490.	186700.	235153.
70	11.17	6.50	440.	1863.	0.	0.	2303.
71	11.50	6.50	237.	0.	0.	0.	237.
72	11.83	6.50	512.	0.	0.	0.	512.
73	12.17	6.50	1723.	0.	0.	0.	1723.
74	12.50	6.50	17650.	19980.	859.	0.	38489.
75	12.83	6.50	3466.	101.	0.	0.	3567.

TABLEAU 2.5 (suite)

EMISSIONS DE SO2 (PRITEMS 1980)
EN TONNES METRIQUES

#SOURCES	X	Y	SOURCES ETENDUES	SOURCES PONCTUELLES			EMISSIONS TOTALES
				#1	#2	#3	
76	13.17	6.50	737.	0.	0.	0.	737.
77	13.50	6.50	119.	4934.	0.	0.	5053.
78	13.83	6.50	765.	1986.	0.	0.	2751.
79	10.83	6.17	131.	0.	0.	0.	131.
80	11.17	6.17	399.	0.	0.	0.	399.
81	11.50	6.17	178.	0.	0.	0.	178.
82	11.83	6.17	4680.	131.	0.	0.	4811.
83	12.17	6.17	2561.	4014.	0.	0.	6575.
84	12.50	6.17	33660.	2258.	0.	0.	35918.
85	12.83	6.17	2302.	855.	0.	0.	3157.
86	13.17	6.17	240.	6280.	0.	0.	6520.
87	13.50	6.17	877.	16330.	0.	0.	17207.
88	13.83	6.17	113.	0.	0.	0.	113.
90	11.17	8.83	27.	0.	0.	0.	27.
91	11.50	9.17	5.	0.	0.	0.	5.
94	13.52	8.87	474.	0.	0.	0.	474.
95	14.50	9.17	130.	0.	0.	0.	130.
96	15.16	8.89	90.	0.	0.	0.	90.
98	15.15	8.23	339.	0.	0.	0.	339.
99	10.49	7.50	167.	1215.	0.	0.	1382.
100	15.04	7.68	414.	0.	0.	0.	414.
101	8.38	7.04	878.	7186.	1402.	0.	9466.
102	8.91	6.94	2056.	4914.	14478.	0.	21448.
103	9.58	6.91	76.	536.	0.	0.	612.
104	10.17	7.17	91.	40422.	0.	0.	40513.
105	14.24	6.91	5853.	6373.	0.	0.	12226.
106	15.09	6.97	5808.	11802.	8685.	0.	26295.
107	8.18	6.43	2311.	22744.	18283.	0.	43338.
108	9.01	6.20	921.	44566.	0.	0.	45487.
109	9.57	6.43	402.	5991.	4115.	0.	10507.
110	10.18	6.22	1404.	7372.	0.	0.	8775.
111	14.22	6.48	7010.	4581.	11820.	0.	23411.
112	14.83	6.50	3931.	4576.	3757.	0.	12264.
113	8.44	5.67	1859.	23355.	18612.	0.	43826.
114	9.11	5.64	4330.	21021.	75261.	0.	100612.
115	9.60	5.57	1558.	16221.	29111.	0.	46890.
116	10.41	5.57	2911.	25071.	43320.	0.	71303.
117	11.07	5.53	36327.	23722.	45340.	0.	105389.
118	11.69	5.53	4317.	36055.	4821.	0.	45193.
119	12.45	5.53	2059.	29056.	5366.	0.	36481.
120	13.11	5.55	2676.	39269.	20045.	0.	61990.
121	13.50	5.83	87.	1230.	0.	0.	1317.
122	14.36	5.83	36.	0.	0.	0.	36.
124	8.41	5.01	3331.	43685.	19459.	0.	66475.
125	9.1	5.14	17655.	75452.	47275.	933.	141315.
126	9.66	4.97	11307.	15196.	0.	0.	26503.
127	10.34	5.05	9517.	110437.	89190.	1.	209145.
128	11.03	4.95	3460.	59272.	43968.	0.	106700.
129	11.72	4.92	2731.	28768.	18430.	8052.	57980.
130	12.39	4.89	23992.	47202.	40120.	164.	111478.
131	13.00	5.09	4283.	21654.	26631.	0.	52568.
132	13.50	5.17	0.	19.	0.	0.	19.
135	8.40	4.30	8239.	32063.	221760.	0.	262062.
136	9.03	4.28	4851.	55682.	123665.	0.	184198.
137	9.65	4.25	14675.	46900.	73066.	72470.	207111.

TABLEAU 2.5 (suite)

EMISSIONS DE SO2 (PRITEMPS 1980)
EN TONNES METRIQUES

#SOURCES	X	Y	SOURCES	SOURCES PONCTUELLES			EMISSIONS TOTALES
			ETENDUES	#1	#2	#3	
138	10.45	4.24	2594.	21619.	152530.	132500.	309243.
139	10.98	4.44	4557.	57285.	160880.	226890.	449612.
140	11.76	4.36	8267.	39451.	58022.	3.	105743.
141	12.24	4.41	12799.	79684.	5150.	0.	97633.
146	8.49	3.70	1966.	11287.	83690.	0.	96942.
147	9.01	3.61	4255.	24774.	109367.	77600.	215996.
148	9.61	3.79	6212.	24192.	33690.	20.	64115.
149	10.37	3.80	2785.	28197.	4555.	38420.	73957.
150	10.99	3.60	2806.	9649.	2668.	0.	15123.
151	11.82	3.69	4650.	29577.	35945.	0.	70172.
152	12.17	3.55	1825.	8164.	0.	0.	9989.
157	7.50	10.83	2.	0.	0.	0.	2.
158	8.78	10.50	11.	1.	0.	0.	12.
159	9.17	11.17	7.	0.	0.	0.	7.
161	11.33	11.00	6.	0.	0.	0.	6.
162	12.33	11.17	2.	0.	0.	0.	2.
163	13.17	10.83	1.	0.	0.	0.	1.
166	7.17	9.83	170.	78.	0.	62130.	62378.
167	8.17	9.84	131.	0.	53600.	0.	53731.
170	11.17	9.50	2.	0.	0.	0.	2.
171	12.64	10.17	7.	0.	0.	0.	7.
172	13.17	9.50	80.	0.	0.	0.	80.
173	14.61	9.61	9.	0.	0.	0.	9.
174	15.17	9.50	6.	0.	0.	0.	6.
175	7.30	8.67	412.	0.	0.	0.	412.
176	8.44	8.81	12.	0.	0.	0.	12.
177	9.44	8.61	6.	0.	0.	0.	6.
178	7.50	7.98	4676.	2939.	29.	0.	7645.
179	8.33	7.73	544.	703.	0.	0.	1247.
180	9.43	7.51	179.	434.	0.	0.	613.
181	7.40	6.76	2696.	9150.	23646.	0.	35492.
182	7.51	5.63	4680.	36858.	3480.	27.	45045.
183	7.42	4.57	7463.	61033.	70877.	0.	139373.
184	7.34	3.92	4012.	7530.	14613.	0.	26155.
185	7.47	2.77	5413.	9836.	127.	384.	15760.
186	8.69	2.92	6167.	65074.	31042.	0.	102283.
187	9.50	2.81	12514.	39375.	44059.	82708.	178656.
188	10.54	2.90	7097.	96137.	41026.	0.	144260.
189	11.40	2.86	4118.	55476.	14578.	0.	74172.
190	12.7	3.13	89.	35.	0.	0.	124.
194	7.52	1.63	18761.	27730.	9242.	0.	55733.
195	8.48	1.67	7989.	52529.	26641.	0.	87160.
196	9.40	2.11	5528.	10586.	40073.	65850.	122037.
197	10.53	2.04	2960.	35127.	1932.	4971.	44991.
198	11.17	2.15	558.	9576.	5022.	0.	15155.
203	7.81	1.17	11883.	31653.	1092.	0.	44628.
204	8.65	1.17	1540.	13686.	11340.	0.	26566.
205	9.52	1.17	882.	16216.	0.	0.	17098.
206	10.37	0.75	5531.	60937.	13288.	0.	79756.
TOTAL			463716.	1998487.	2246803.	959825.	5668831.

TABLEAU 2.6

EMISSIONS DE SO2 (ETE 1980)
EN TONNES METRIQUES

#SOURCES	X	Y	SOURCES ETENDUES	SOURCES PONCTUELLES			EMISSIONS TOTALES
				#1	#2	#3	
2	11.17	8.50	18.	0.	0.	0.	18.
8	13.17	8.50	53.	0.	0.	0.	53.
11	14.17	8.50	1.	0.	0.	0.	1.
12	14.50	8.50	1.	0.	0.	0.	1.
13	10.83	8.17	8.	0.	0.	0.	8.
14	11.17	8.17	17.	0.	0.	0.	17.
20	13.17	8.17	9.	0.	0.	0.	9.
21	13.50	8.17	237.	0.	0.	0.	237.
22	13.83	8.17	12.	0.	0.	0.	12.
23	14.17	8.17	369.	0.	0.	0.	369.
24	14.50	8.17	6.	0.	0.	0.	6.
29	12.17	7.83	134.	0.	0.	0.	134.
32	13.17	7.83	4.	0.	0.	0.	4.
33	13.50	7.84	3549.	729.	0.	0.	4278.
34	13.83	7.84	186.	0.	22770.	0.	22956.
35	14.17	7.84	172.	0.	0.	0.	172.
37	10.83	7.50	35.	74.	0.	0.	109.
38	11.17	7.50	23.	0.	0.	0.	23.
39	11.50	7.50	76.	176.	0.	0.	252.
40	11.83	7.50	14.	0.	0.	0.	14.
41	12.17	7.50	43.	0.	0.	0.	43.
42	12.50	7.50	238.	420.	0.	0.	658.
43	12.83	7.50	90.	0.	0.	0.	90.
44	13.17	7.50	257.	0.	0.	0.	257.
45	13.50	7.50	1766.	1791.	0.	0.	3557.
46	13.83	7.50	685.	5617.	0.	0.	6302.
47	14.17	7.50	640.	276.	0.	0.	916.
49	10.83	7.17	324.	823.	0.	0.	1147.
50	11.17	7.17	547.	0.	134500.	0.	135047.
51	11.50	7.17	482.	0.	0.	0.	482.
52	11.83	7.17	4.	0.	0.	0.	4.
53	12.17	7.17	10.	0.	0.	0.	10.
54	12.50	7.17	203.	230.	0.	0.	433.
55	12.83	7.17	1790.	10760.	0.	0.	12550.
56	13.17	7.17	852.	290.	0.	0.	1142.
57	13.50	7.17	802.	2918.	0.	0.	3720.
58	13.83	7.17	474.	3236.	0.	0.	3710.
59	10.83	6.83	7.	0.	0.	0.	7.
60	11.17	6.84	205.	0.	0.	0.	205.
61	11.50	6.83	4.	0.	0.	0.	4.
62	11.83	6.83	6.	0.	0.	0.	6.
63	12.17	6.84	41.	0.	0.	0.	41.
64	12.50	6.84	794.	460.	0.	0.	1254.
65	12.83	6.83	6583.	2911.	0.	0.	9494.
66	13.17	6.84	565.	0.	0.	0.	565.
67	13.50	6.83	313.	584.	0.	0.	898.
68	13.83	6.83	1361.	139.	0.	0.	1500.
69	10.83	6.50	1064.	18570.	28490.	186700.	234824.
70	11.17	6.50	337.	1863.	0.	0.	2200.
71	11.50	6.50	171.	0.	0.	0.	171.
72	11.83	6.50	374.	0.	0.	0.	374.
73	12.17	6.50	1247.	0.	0.	0.	1247.
74	12.50	6.50	13130.	19920.	859.	0.	33909.
75	12.83	6.50	2550.	101.	0.	0.	2651.
76	13.17	6.50	541.	0.	0.	0.	541.

TABLEAU 2.6 (suite) EMISSIONS DE SO2 (ETE 1980)
EN TONNES METRIQUES

#SOURCES	X	Y	SOURCES ETENDUES	SOURCES PONCTUELLES			EMISSIONS TOTALES
				#1	#2	#3	
77	13.50	6.50	119.	4739.	0.	0.	4858.
78	13.83	6.50	546.	1978.	0.	0.	2524.
79	10.83	6.17	129.	0.	0.	0.	129.
80	11.17	6.17	342.	0.	0.	0.	342.
81	11.50	6.17	135.	0.	0.	0.	135.
82	11.83	6.17	3375.	131.	0.	0.	3506.
83	12.17	6.17	1864.	4084.	0.	0.	5948.
84	12.50	6.17	24820.	2091.	0.	0.	26911.
85	12.83	6.17	1642.	799.	0.	0.	2441.
86	13.17	6.17	188.	5454.	0.	0.	5642.
87	13.50	6.17	727.	10580.	0.	0.	11307.
88	13.83	6.17	81.	0.	0.	0.	81.
90	11.17	8.83	20.	0.	0.	0.	20.
91	11.50	9.17	1.	0.	0.	0.	1.
94	13.52	8.87	324.	0.	0.	0.	324.
95	14.50	9.16	92.	0.	0.	0.	92.
96	15.16	8.89	65.	0.	0.	0.	65.
98	15.15	8.23	228.	0.	0.	0.	228.
99	10.49	7.50	133.	1215.	0.	0.	1348.
100	15.03	7.68	295.	0.	0.	0.	295.
101	8.35	7.05	739.	6461.	2206.	0.	9407.
102	8.91	6.93	2148.	4666.	16686.	0.	23500.
103	9.58	6.91	56.	536.	0.	0.	592.
104	10.17	7.17	64.	40422.	0.	0.	40486.
105	14.23	6.89	4109.	8580.	0.	0.	12689.
106	15.09	6.97	4144.	15222.	11088.	0.	30454.
107	8.19	6.42	1873.	15071.	17705.	0.	34649.
108	9.01	6.20	697.	44791.	0.	0.	45488.
109	9.58	6.42	260.	5581.	3048.	0.	8889.
110	10.18	6.22	1214.	7319.	0.	0.	8533.
111	14.20	6.48	4947.	4582.	16000.	0.	25529.
112	14.83	6.50	2694.	4831.	5083.	0.	12608.
113	8.44	5.67	1338.	18999.	15724.	0.	36061.
114	9.10	5.65	3579.	20143.	74570.	0.	98292.
115	9.59	5.57	1124.	15925.	32834.	0.	49883.
116	10.42	5.56	2392.	23694.	43270.	0.	69356.
117	11.06	5.53	28194.	21833.	47010.	0.	97037.
118	11.70	5.53	3278.	34449.	6264.	0.	43991.
119	12.46	5.53	1312.	26815.	5581.	0.	33707.
120	13.11	5.53	1625.	33138.	20798.	0.	55561.
121	13.50	5.83	55.	300.	0.	0.	354.
122	14.37	5.83	25.	0.	0.	0.	25.
124	8.35	4.97	2901.	64498.	18156.	0.	85555.
125	9.11	5.15	14586.	75572.	58518.	1146.	149821.
126	9.67	4.96	9870.	14811.	0.	0.	24681.
127	10.34	5.05	7715.	103734.	104050.	3.	215502.
128	11.01	4.96	2758.	53572.	66674.	0.	123004.
129	11.72	4.92	1390.	28111.	19681.	8387.	57569.
130	12.41	4.90	15063.	54859.	44520.	164.	114606.
131	13.01	5.09	3093.	21583.	32324.	0.	57000.
132	13.50	5.17	0.	19.	0.	0.	19.
135	8.39	4.29	7100.	36170.	282210.	0.	325480.
136	9.02	4.27	4352.	53296.	142545.	0.	200192.
137	9.67	4.24	12527.	44050.	92168.	61730.	210475.
138	10.45	4.23	2251.	20150.	172430.	147600.	342431.

TABLEAU 2.6 (suite)

EMISSIONS DE SO2 (ETE 1980)
EN TONNES METRIQUES

#SOURCES	X	Y	SOURCES ETENDUES	SOURCES PONCTUELLES			EMISSIONS TOTALES
				#1	#2	#3	
139	11.00	4.44	3179.	57843.	185680.	235460.	482162.
140	11.76	4.35	5269.	50804.	65468.	0.	121541.
141	12.25	4.40	6806.	86430.	5795.	0.	99031.
146	8.49	3.68	1758.	9086.	105590.	0.	116434.
147	9.00	3.60	3702.	25935.	128343.	111300.	269280.
148	9.59	3.79	5194.	31148.	54560.	19.	90921.
149	10.35	3.76	2108.	34375.	5905.	40920.	83308.
150	10.99	3.60	2276.	9165.	2312.	0.	13752.
151	11.82	3.66	4152.	34353.	40566.	0.	79071.
152	12.17	3.57	1618.	7356.	0.	0.	8974.
157	7.50	10.83	2.	0.	0.	0.	2.
158	8.83	10.50	8.	1.	0.	0.	9.
159	9.17	11.17	6.	0.	0.	0.	6.
161	11.37	11.03	5.	0.	0.	0.	5.
166	7.17	9.83	152.	78.	0.	62130.	62360.
167	8.17	9.84	114.	0.	53600.	0.	53714.
170	11.17	9.50	2.	0.	0.	0.	2.
171	12.61	10.17	3.	0.	0.	0.	3.
172	13.17	9.50	58.	0.	0.	0.	58.
173	14.70	9.57	5.	0.	0.	0.	5.
174	15.17	9.50	5.	0.	0.	0.	5.
175	7.30	8.67	366.	0.	0.	0.	366.
176	8.45	8.89	13.	0.	0.	0.	13.
177	9.43	8.63	5.	0.	0.	0.	5.
178	7.50	8.04	4225.	2061.	29.	0.	6315.
179	8.33	7.73	407.	702.	0.	0.	1110.
180	9.43	7.51	141.	434.	0.	0.	575.
181	7.60	6.69	2245.	7554.	5846.	0.	15645.
182	7.58	5.61	3882.	52711.	4309.	31.	60932.
183	7.40	4.56	6732.	78206.	84512.	0.	169450.
184	7.35	3.91	3759.	11910.	22419.	0.	38088.
185	7.52	2.81	4324.	13571.	944.	384.	19223.
186	8.70	2.89	4675.	87224.	41916.	0.	133815.
187	9.51	2.79	11002.	40292.	57529.	109472.	218294.
188	10.54	2.89	5398.	107580.	37465.	0.	150443.
189	11.38	2.86	3082.	60505.	19641.	0.	83228.
190	12.17	3.13	67.	33.	0.	0.	100.
194	7.53	1.61	6576.	28177.	9469.	0.	44222.
195	8.48	1.68	6158.	52916.	48927.	0.	108001.
196	9.42	2.11	4828.	13020.	48068.	85510.	151426.
197	10.47	2.05	2705.	38927.	5292.	9665.	56589.
198	11.17	2.16	483.	11870.	14050.	0.	26403.
203	7.81	1.17	3661.	34918.	1092.	0.	39671.
204	8.70	1.17	1345.	15311.	20290.	0.	36946.
205	9.49	1.17	822.	17729.	0.	0.	18551.
206	10.40	0.75	5096.	66027.	18854.	0.	89976.
TOTAL			346440.	2114991.	2626234.	1060622.	6148286.

TABLEAU 2.7

EMISSIONS DE SO2 (AUTOMNE 1980)
EN TONNES METRIQUES

#SOURCES	X	Y	SOURCES ETENDUES	SOURCES PONCTUELLES			EMISSIONS TOTALES
				#1	#2	#3	
2	11.17	8.50	22.	0.	0.	0.	22.
8	13.17	8.50	70.	0.	0.	0.	70.
11	14.17	8.50	1.	0.	0.	0.	1.
12	14.50	8.50	1.	0.	0.	0.	1.
13	10.83	8.17	11.	0.	0.	0.	11.
14	11.17	8.17	21.	0.	0.	0.	21.
18	12.50	8.17	0.	0.	0.	0.	0.
20	13.17	8.17	10.	0.	0.	0.	10.
21	13.50	8.17	325.	0.	0.	0.	325.
22	13.83	8.17	18.	0.	0.	0.	18.
23	14.17	8.17	452.	0.	0.	0.	452.
24	14.50	8.17	9.	0.	0.	0.	9.
29	12.17	7.83	172.	0.	0.	0.	172.
32	13.17	7.83	8.	0.	0.	0.	8.
33	13.50	7.84	4301.	729.	0.	0.	5030.
34	13.83	7.84	248.	0.	22770.	0.	23018.
35	14.17	7.84	229.	0.	0.	0.	229.
37	10.83	7.50	42.	74.	0.	0.	116.
38	11.17	7.50	31.	0.	0.	0.	31.
39	11.50	7.50	98.	176.	0.	0.	274.
40	11.83	7.50	18.	0.	0.	0.	18.
41	12.17	7.50	56.	0.	0.	0.	56.
42	12.50	7.50	320.	420.	0.	0.	740.
43	12.83	7.50	119.	0.	0.	0.	119.
44	13.17	7.50	326.	0.	0.	0.	326.
45	13.50	7.50	2307.	1791.	0.	0.	4098.
46	13.83	7.50	888.	7409.	0.	0.	8297.
47	14.17	7.50	821.	276.	0.	0.	1097.
49	10.83	7.17	370.	823.	0.	0.	1193.
50	11.17	7.17	725.	0.	134500.	0.	135225.
51	11.50	7.17	660.	0.	0.	0.	660.
52	11.83	7.17	6.	0.	0.	0.	6.
53	12.17	7.17	11.	0.	0.	0.	11.
54	12.50	7.17	289.	230.	0.	0.	519.
55	12.83	7.17	2429.	10760.	0.	0.	13189.
56	13.17	7.17	1159.	290.	0.	0.	1449.
57	13.50	7.17	1007.	3029.	0.	0.	4036.
58	13.83	7.17	599.	3236.	0.	0.	3835.
59	10.83	6.83	8.	0.	0.	0.	8.
60	11.17	6.84	259.	0.	0.	0.	259.
61	11.50	6.83	3.	0.	0.	0.	3.
62	11.83	6.83	7.	0.	0.	0.	7.
63	12.17	6.84	54.	0.	0.	0.	54.
64	12.50	6.84	1069.	460.	0.	0.	1529.
65	12.83	6.83	9009.	2911.	0.	0.	11920.
66	13.17	6.84	748.	0.	0.	0.	748.
67	13.50	6.83	356.	1714.	0.	0.	2070.
68	13.83	6.83	1789.	139.	0.	0.	1928.
69	10.83	6.50	1231.	18570.	28490.	186700.	234991.
70	11.17	6.50	409.	1863.	0.	0.	2272.
71	11.50	6.50	227.	0.	0.	0.	227.
72	11.83	6.50	505.	0.	0.	0.	505.
73	12.17	6.50	1714.	0.	0.	0.	1714.
74	12.50	6.50	17830.	20420.	859.	0.	39109.
75	12.83	6.50	3382.	101.	0.	0.	3483.

TABLEAU 2.7 (suite)

EMISSIONS DE SO2 (AUTOMNE 1980)
EN TONNES METRIQUES

#SOURCES	X	Y	SOURCES ETENDUES	SOURCES PONCTUELLES			EMISSIONS TOTALES
				#1	#2	#3	
76	13.17	6.50	722.	0.	0.	0.	722.
77	13.50	6.50	119.	4866.	0.	0.	4985.
78	13.83	6.50	705.	1981.	0.	0.	2686.
79	10.83	6.17	136.	0.	0.	0.	136.
80	11.17	6.17	382.	0.	0.	0.	382.
81	11.50	6.17	162.	0.	0.	0.	162.
82	11.83	6.17	4533.	131.	0.	0.	4664.
83	12.17	6.17	2436.	4033.	0.	0.	6469.
84	12.50	6.17	33940.	2386.	0.	0.	36326.
85	12.83	6.17	2285.	832.	0.	0.	3117.
86	13.77	6.17	219.	6014.	0.	0.	6233.
87	13.50	6.17	826.	9784.	0.	0.	10610.
88	13.83	6.17	107.	0.	0.	0.	107.
90	11.17	8.83	24.	0.	0.	0.	24.
91	11.50	9.17	6.	0.	0.	0.	6.
94	13.52	8.87	439.	0.	0.	0.	439.
95	14.50	9.16	122.	0.	0.	0.	122.
96	15.16	8.89	89.	0.	0.	0.	89.
98	15.15	8.23	318.	0.	0.	0.	318.
99	10.49	7.50	151.	1215.	0.	0.	1366.
100	15.04	7.67	397.	0.	0.	0.	397.
101	8.37	7.03	855.	8276.	2249.	0.	11380.
102	8.97	6.97	2159.	3424.	10748.	0.	16331.
103	9.58	6.91	74.	536.	0.	0.	609.
104	10.17	7.17	82.	40422.	0.	0.	40504.
105	14.23	6.89	5486.	11898.	0.	0.	17384.
106	15.09	6.98	6083.	20353.	14693.	0.	41129.
107	8.19	6.42	2329.	16070.	15888.	0.	34287.
108	9.01	6.21	909.	40585.	0.	0.	41494.
109	9.58	6.42	384.	5986.	3506.	0.	9876.
110	10.19	6.25	1347.	4105.	0.	0.	5452.
111	14.20	6.48	6679.	4583.	22250.	0.	33512.
112	14.83	6.50	3881.	5214.	7072.	0.	16167.
113	8.44	5.65	1860.	16767.	13680.	0.	32307.
114	9.10	5.64	4281.	19647.	60745.	0.	84672.
115	9.61	5.58	1518.	15590.	28395.	0.	45503.
116	10.43	5.55	2832.	26354.	59211.	0.	88397.
117	11.04	5.52	32950.	23345.	73110.	0.	129405.
118	11.70	5.53	4038.	34820.	7862.	0.	46720.
119	12.45	5.53	1944.	30309.	4937.	0.	37190.
120	13.11	5.54	2486.	40284.	16771.	0.	59541.
121	13.50	5.83	77.	424.	0.	0.	501.
122	14.36	5.83	34.	0.	0.	0.	34.
124	8.41	5.03	3316.	48254.	14192.	0.	65762.
125	9.12	5.13	17052.	73340.	50258.	1156.	141806.
126	9.66	4.97	11057.	16762.	0.	0.	27819.
127	10.33	5.04	9535.	102820.	89720.	4.	202079.
128	11.00	4.97	3539.	52668.	70004.	0.	126211.
129	11.72	4.92	2508.	29683.	19244.	9058.	60493.
130	12.40	4.89	21677.	59821.	41810.	37.	123345.
131	12.97	5.07	4102.	21016.	23454.	0.	48573.
132	13.50	5.17	0.	20.	0.	0.	20.
135	8.40	4.29	7962.	34983.	235730.	0.	278675.
136	9.02	4.27	4747.	52821.	126575.	0.	184143.
137	9.67	4.24	14338.	42366.	91162.	67100.	214966.

TABLEAU 2.7 (suite)

EMISSIONS DE SO2 (AUTOMNE 1980)
EN TONNES METRIQUES

#SOURCES	X	Y	SOURCES ETENDUES	SOURCES PONCTUELLES			EMISSIONS TOTALES
				#1	#2	#3	
138	10.46	4.22	2499.	45816.	141690.	155000.	345005.
139	10.99	4.44	4419.	55765.	186440.	231890.	478514.
140	11.77	4.35	7901.	52715.	59722.	2.	120340.
141	12.22	4.40	11547.	88099.	6358.	0.	106004.
146	8.49	3.70	1954.	10240.	85260.	0.	97454.
147	9.04	3.61	4142.	25635.	129500.	57350.	216627.
148	9.59	3.80	6024.	20606.	50390.	20.	77041.
149	10.37	3.79	2752.	26794.	5549.	30840.	65935.
150	11.01	3.61	2727.	9614.	1334.	0.	13675.
151	11.82	3.64	4549.	32494.	32871.	0.	69914.
152	12.17	3.56	1751.	6973.	0.	0.	8724.
157	7.42	10.92	4.	0.	0.	0.	4.
158	8.83	10.50	10.	1.	0.	0.	11.
159	9.17	11.17	7.	0.	0.	0.	7.
161	11.31	10.98	7.	0.	0.	0.	7.
162	12.33	11.17	2.	0.	0.	0.	2.
163	13.17	10.83	1.	0.	0.	0.	1.
166	7.17	9.83	178.	78.	0.	62130.	62386.
167	8.17	9.84	120.	0.	53600.	0.	53720.
170	11.17	9.50	2.	0.	0.	0.	2.
171	12.58	10.17	8.	0.	0.	0.	8.
172	13.17	9.50	77.	0.	0.	0.	77.
173	14.64	9.60	7.	0.	0.	0.	7.
174	15.17	9.50	6.	0.	0.	0.	6.
175	7.29	8.68	428.	0.	0.	0.	428.
176	8.45	8.83	13.	0.	0.	0.	13.
177	9.43	8.63	5.	0.	0.	0.	5.
178	7.50	7.95	4623.	4054.	117.	0.	8794.
179	8.33	7.73	492.	703.	0.	0.	1195.
180	9.43	7.51	160.	434.	0.	0.	594.
181	7.42	6.76	2745.	8964.	18515.	0.	30225.
182	7.48	5.66	4823.	28153.	3977.	35.	36988.
183	7.42	4.55	7398.	62037.	70791.	0.	140226.
184	7.32	3.89	3973.	7852.	19841.	0.	31666.
185	7.73	2.59	5149.	11297.	36289.	384.	53119.
186	8.72	2.90	6251.	91421.	41641.	0.	139313.
187	9.49	2.82	12593.	41420.	57319.	92349.	203681.
188	10.54	2.92	6729.	86056.	40409.	0.	133195.
189	11.39	2.89	3912.	53046.	17657.	0.	74615.
190	12.17	3.14	86.	47.	0.	0.	132.
194	7.54	1.65	13682.	27966.	11224.	0.	52873.
195	8.49	1.69	7985.	52808.	38629.	0.	99422.
196	9.40	2.11	5613.	11497.	45261.	64850.	127221.
197	10.48	2.05	2883.	36914.	2998.	7732.	50527.
198	11.17	2.16	553.	11002.	9172.	0.	20727.
203	7.81	1.17	7920.	31980.	1092.	0.	40991.
204	8.68	1.17	1508.	14552.	16110.	0.	32170.
205	9.50	1.17	860.	17457.	0.	0.	18317.
206	10.38	0.78	5470.	57347.	11470.	0.	74287.
TOTAL			443570.	2042045.	2485111.	966637.	5937363.

Précisons que la position (X,Y) des centroïdes d'émission a été évaluée sur une sous-grille de la grille stéréographique polaire utilisée par le Centre météorologique canadien. La position relative de ces grilles est indiquée à la figure 2.7. D'autre part, nous avons supposé (faute de données plus précises) que les émissions se produisaient au centre de chacun des carrés de 127 km de côté. Le centroïde d'émission des régions sources ayant 254 km ou 381 km de côté a été évalué comme étant le centre de gravité de ces régions. Pour ce faire, nous avons accordé aux éléments de 127 km de côté qui constituent ces régions sources, un poids proportionnel à leurs émissions totales.

Soulignons finalement que quelques modifications ont été apportées à la banque de données d'émissions originale. Ces modifications ont trait aux émissions de l'Inco à Sudbury. En fait, l'Inco a cessé toute production de juin 1982 à mars 1983 inclusivement. Les émissions de SO₂ de cette source ont donc été nulles lors de cette période. Nous tiendrons compte de ceci dans la suite de notre étude.

2.3 Données de précipitation

Les données de précipitation qui sont incorporées dans le modèle sont les durées moyennes des épisodes humides (épisodes avec précipitation) et des épisodes secs (épisodes sans précipitation). Ces durées ont été évaluées par Fortin et al. (1985) pour quelques stations du Québec et des provinces avoisinantes. Les résultats ont été compilés saisonnièrement sur la période couvrant les années 1968 à 1977. Ainsi, on dispose pour chaque saison de l'année, des durées moyennes des épisodes secs et humides.

La figure 2.8 illustre les stations retenues dans cette étude pour déterminer les durées moyennes des épisodes secs et humides. Notons que, pour les sources québécoises, on utilise le cycle sec-humide évalué à la station la plus près possible des sources. Par exemple, pour les trajectoires provenant des sources de l'Abitibi, on utilise les caractéristiques de précipitation de la station de Val-d'Or. Par contre, pour les sources

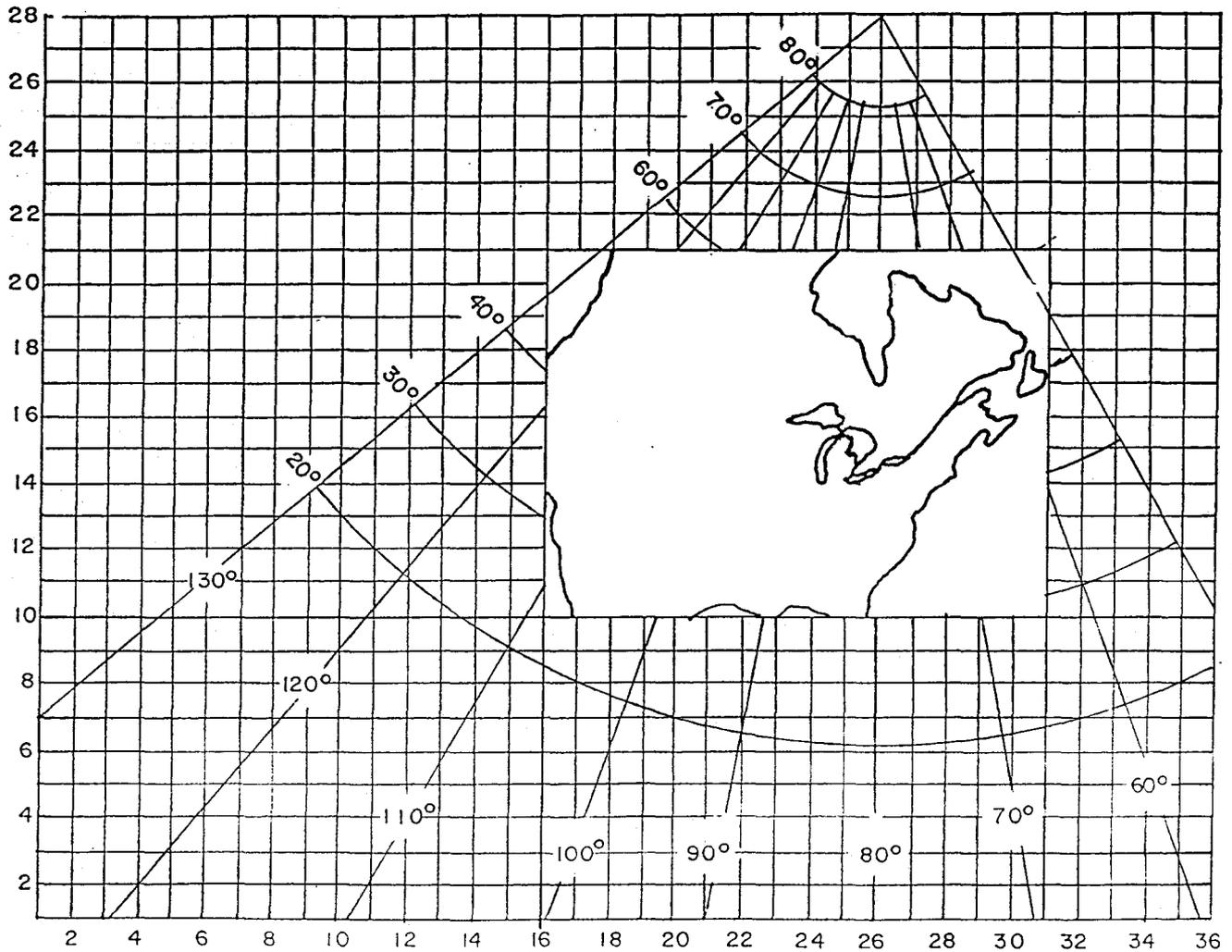


FIGURE 2.7 Position relative de la grille utilisée pour situer la position (X,Y) des centroïdes d'émission par rapport à la grille (381 km x 381 km) du Centre météorologique canadien. Le point (1,1) de la grille des émissions correspond au point (16,10) de la grille du CMC.

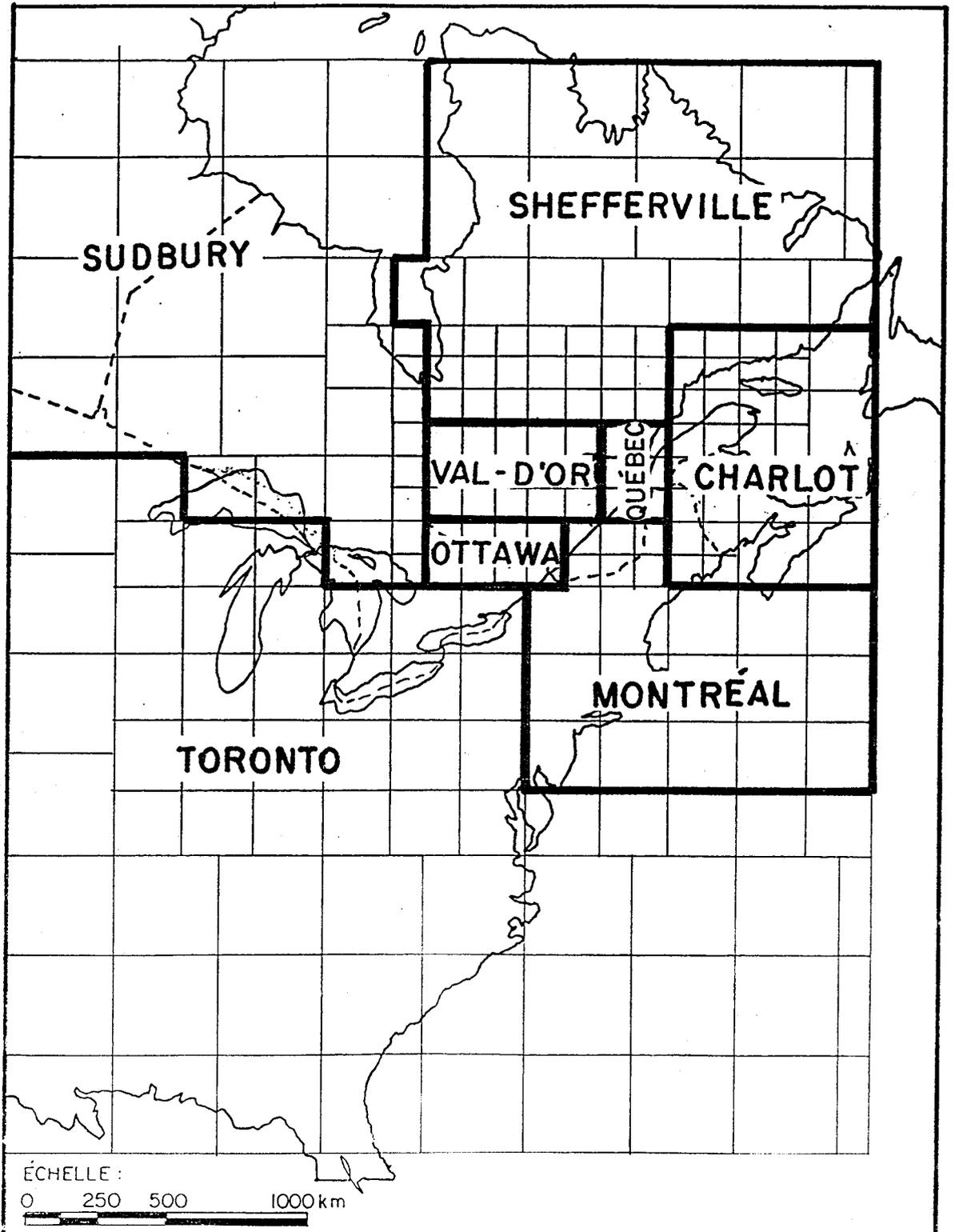


FIGURE 2.8 Stations utilisées pour déterminer les durées moyennes des cycles secs-humides. Les durées obtenues sont associées aux trajectoires provenant des différentes régions sources.

situées loin du Québec, on préfère utiliser des caractéristiques de précipitation représentatives du trajet moyen des parcelles de pollution. Ainsi, la précipitation de la région de Toronto est associée aux parcelles issues de la majorité des sources américaines.

Comme nous le verrons au chapitre 3, plusieurs tests ont été réalisés avec le modèle afin de déterminer la sensibilité de ce dernier face à la précipitation. En outre, nous avons déterminé laquelle des chaînes de Markov, double ou simple, permettait de reproduire le plus adéquatement possible les dépôts de sulfates mesurés sur le Québec. Précisons que les chaînes de Markov permettent d'évaluer la durée moyenne des épisodes secs et humides. Avec les chaînes de Markov doubles, on suppose que la distribution des épisodes en fonction de leur durée est décrite par deux distributions Markoviennes: on additionne deux chaînes de Markov qui représentent séparément les épisodes de courte durée et ceux de longue durée.

Intuitivement, on devrait s'attendre à ce que les chaînes de Markov doubles donnent une description plus réaliste de la durée des précipitations. En effet, nous savons que la précipitation est gouvernée par deux processus: les systèmes synoptiques agissent sur une échelle de temps de quelques jours et les averses opèrent sur une échelle de temps de quelques heures. Toutefois, dans un rapport récent, Lelièvre (1986) conclut qu'un biais systématique introduit dans la durée des épisodes secs et humides a des conséquences particulièrement importantes sur les résultats. Ce biais vient du fait que les données de précipitation sont rapportées sur une base horaire. L'erreur (relative) qui en découle est plus importante pour les courts épisodes et décroît lorsque la durée des épisodes augmente. Ainsi, la durée des courts épisodes obtenue à l'aide d'une chaîne de Markov double est entachée d'une erreur relative considérable. La chaîne de Markov simple pondère l'erreur associée aux courts épisodes et donne ainsi une description plus réaliste de la précipitation. D'autre part, Lelièvre (1986) a suggéré une méthode itérative permettant de retrouver la distribution réelle des épisodes en fonction de leur durée à partir de la distribution discrète qui est mesurée. Ceci devrait permettre éventuellement d'évaluer les durées

moyennes des épisodes secs et humides avec une meilleure précision. Des tests visant à déterminer l'efficacité de la méthode proposée sont actuellement en cours.

2.4 Données de vent

Les données de vent des niveaux 1000 mb, 850 mb et 700 mb nous ont été fournies par le Centre météorologique canadien (CMC). Ces données sont estimées à des intervalles de six heures sur une grille stéréographique polaire dont la longueur de maille est de 381 km.

Il a d'abord été nécessaire d'interpoler les vents dans la verticale aux points de grille, afin d'obtenir les vents à 925 mb. L'interpolation quadratique dans la verticale des composantes (U,V) du vent a été retenue. D'autre part, comme le calcul des trajectoires requiert les vents à des intervalles de trois heures, il a été nécessaire d'interpoler dans le temps les vents du niveau 925 mb. Nous avons utilisé une interpolation polynomiale d'ordre 3 pour obtenir les champs de vitesse du vent à toutes les trois heures.

Enfin, précisons que seules les données de vent des saisons d'hiver 1981-1982, de printemps 1982 et d'été 1982 nous ont été fournies à temps par le CMC. Malheureusement, aucune donnée de 1983 et de 1984 n'était disponible lors de la réalisation de cette étude.

CHAPITRE 3

CALCUL DES TRAJECTOIRES ET DES DÉPÔTS

3. CALCUL DES TRAJECTOIRES ET DES DÉPÔTS

3.1 Calcul des trajectoires: méthodologie

Les trajectoires des parcelles d'air ont été calculées pour chaque région source en prenant comme position initiale des parcelles les coordonnées des centroïdes d'émission (tableaux 2.3 à 2.7). Chaque trajectoire a été évaluée à l'aide d'un pas de temps de trois heures et pour une durée totale de 96 heures. L'heure de départ des trajectoires a été fixée à 0Z, 6Z, 12Z et 18Z. On obtient ainsi pour chaque région source, quatre trajectoires par jour. Précisons également que, pour le calcul des trajectoires, nous avons tenu compte de l'accélération du vent au cours des pas de temps de trois heures du modèle. Pour ce faire, nous avons utilisé l'algorithme de Olson et al. (1978).

3.2 Détermination des paramètres moyens de chaque couple source-récepteur

3.2.1 Définition des régions réceptrices

Le Québec et les parties des provinces et des états qui lui sont voisins ont été divisés en environ 300 régions réceptrices. Ces dernières ont la forme de carrés de 127 km de côté et ont été définies à partir de la grille stéréographique polaire utilisée par le Centre météorologique canadien (figure 3.1). Cette discrétisation en des régions réceptrices plus petites que celles définies par Fortin et al. (1985) a l'avantage de faciliter la cartographie des dépôts de sulfates.

3.2.2 Calcul des paramètres moyens

Nous décrivons ici les paramètres moyens qui ont été calculés pour chaque couple source-récepteur. Le lecteur qui désire connaître la méthode utilisée pour évaluer l'ensemble de ces paramètres pourra consulter le chapitre 3 du rapport de Fortin et al. (1985). On y explique en détail les différentes étapes permettant de calculer ces paramètres.

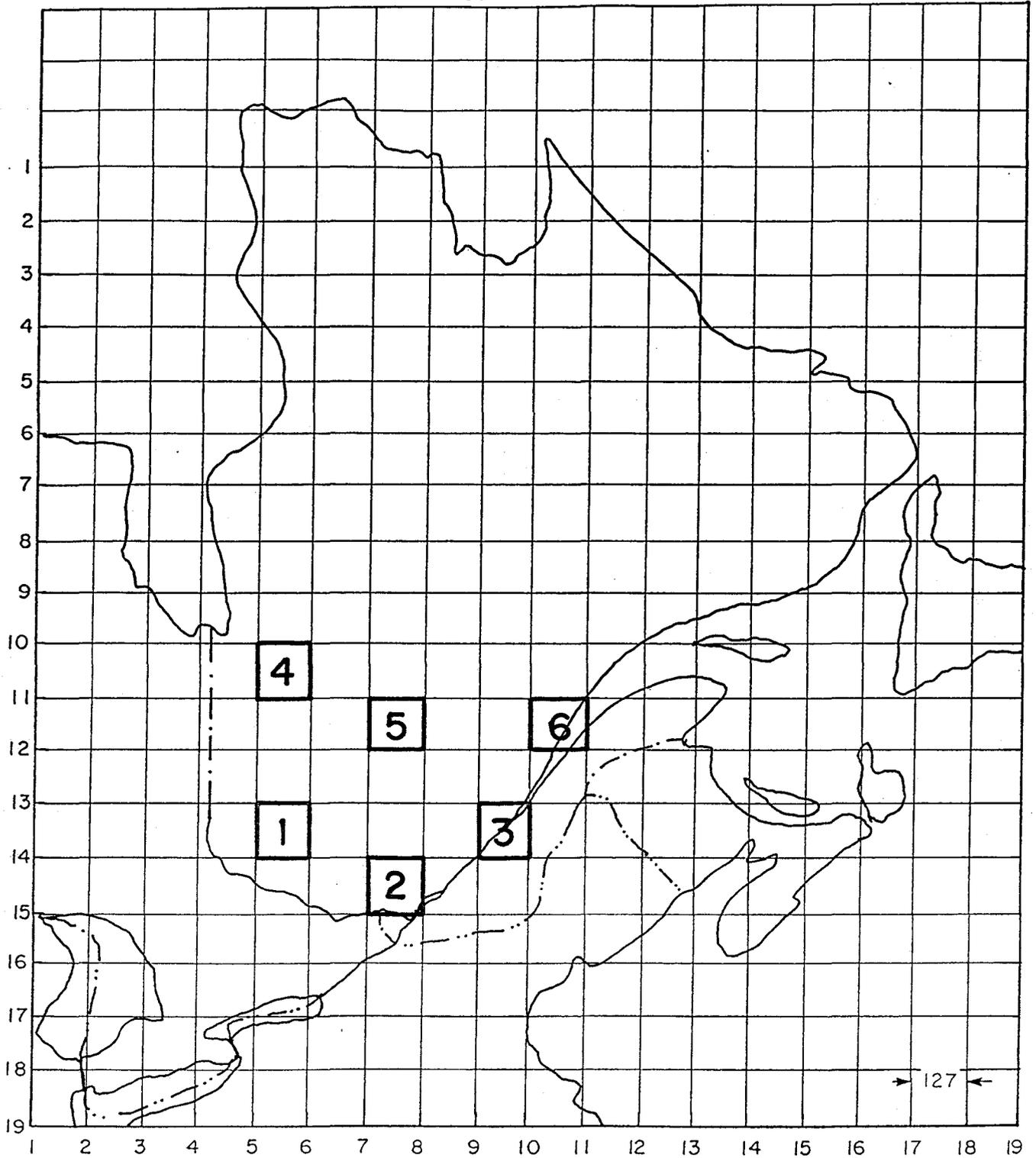


FIGURE 3.1 Régions réceptrices utilisées dans cette étude. Les numéros identifient les régions réceptrices retenues pour l'étude des champs de $F(\theta)$.

Les paramètres moyens de chaque couple source-récepteur qui ont été calculés sont:

- \bar{T} : le temps moyen requis par les parcelles pour se déplacer d'une source à un récepteur;
- \bar{r} : la distance séparant une source d'un récepteur;
- et le facteur $F(\theta)$ défini comme:

$$F(\theta) = \frac{n/N}{\theta/2\pi}$$

où θ = angle sous-tendu par la région réceptrice lorsque cette dernière est vue de la source;

n = nombre de trajectoires atteignant la région réceptrice;

N = nombre total de trajectoires originant de la source.

Le facteur $F(\theta)$ indique la fréquence avec laquelle une source donnée affecte un récepteur donné. Ce facteur est égal à 1 lorsque les trajectoires sont uniformément distribuées autour de la source. Une valeur de $F(\theta)$ différente de 1 signifie que la fréquence de survol d'une région réceptrice est plus élevée ($F(\theta) > 1$) ou plus faible ($F(\theta) < 1$) que lorsque les trajectoires sont uniformément distribuées.

Les paramètres moyens \bar{T} , \bar{r} et $F(\theta)$ de chaque couple source-récepteur ont été évalués pour chacune des saisons d'hiver 1981-1982, de printemps 1982 et d'été 1982. Étant donné la taille de cette banque de données, nous n'avons pas jugé utile d'en présenter le contenu dans le présent rapport. Toutefois, nous décrivons à la prochaine section quelques champs de $F(\theta)$ que nous avons obtenus.

3.2.3 Présentation et interprétation des cartes de $F(\theta)$

Diverses façons de présenter les champs de $F(\theta)$ ont été envisagées. La méthode suivante a finalement été retenue. Nous avons d'abord choisi six régions réceptrices (ou cibles) sur le Québec méridional. La répartition géographique de ces régions réceptrices est indiquée à la figure 3.1. Les valeurs de $F(\theta)$ calculées pour chaque couple source-cible ont ensuite été reportées aux centroïdes d'émission des régions sources. On obtient ainsi un ensemble de cartes qui illustrent la provenance des parcelles d'air qui ont survolé chacune des cibles. La figure 3.2 présente les différentes cartes que nous avons obtenues pour les saisons d'hiver 1981-1982, du printemps 1982 et d'été 1982.

Voyons d'abord à l'aide d'un exemple simple comment on doit interpréter ces cartes. Considérons pour ce faire la figure 3.2a. Cette figure présente le champ de $F(\theta)$ associé à la cible No 1 lors de la saison d'hiver 1981-1982. On remarque un $F(\theta)$ de 4 dans le sud-est des États-Unis. Ceci indique que les trajectoires issues de cette région survolent la cible No 1 quatre fois plus souvent que si leur distribution était uniforme autour de la région source.

Voyons maintenant quelles informations on peut tirer de toutes ces cartes. Nous analyserons d'abord les champs de $F(\theta)$ de la saison d'hiver 1981-1982, puis ceux de l'été 1982. Ces saisons devraient être, en théorie, celles qui sont les plus différentes. Nous discuterons ensuite des cartes de $F(\theta)$ du printemps 1982. Enfin, nous expliquerons pourquoi il est difficile de trouver une bonne corrélation entre la circulation atmosphérique décrite par les cartes de $F(\theta)$ et les dépôts de sulfates mesurés.

Hiver 1981-1982

Les champs de $F(\theta)$ de la saison d'hiver 1981-1982 sont caractérisés par deux maxima. Ces derniers ont des valeurs de 2, 3, 4 ou 5. L'un de ces maxima se retrouve dans la région des Grands Lacs et sur l'Ontario tandis

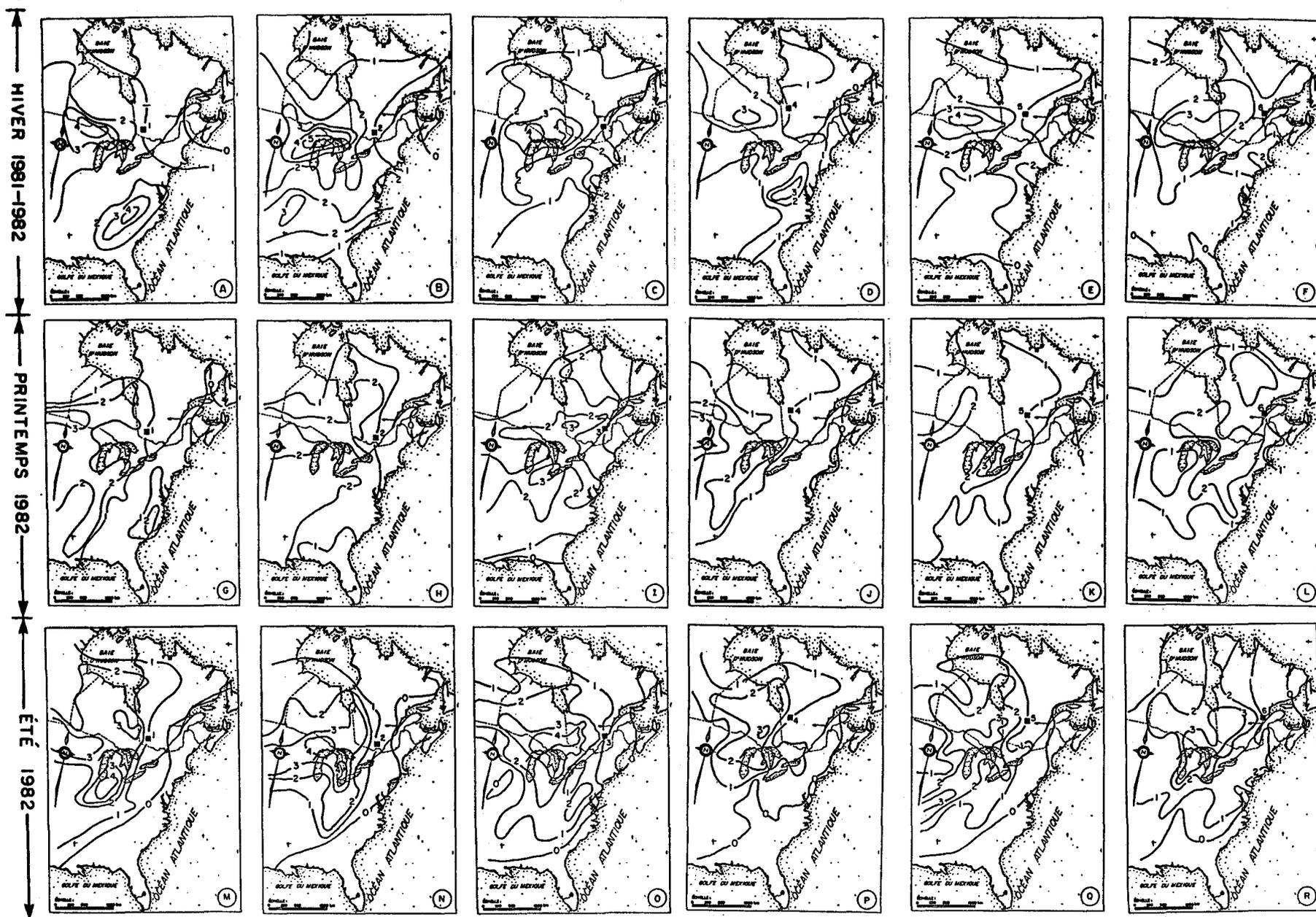


FIGURE 3.2 Champs de $F(\theta)$ associés à diverses régions réceptrices pour les saisons d'hiver 1981-1982, de printemps 1982 et d'été 1982. L'emplacement des régions réceptrices est indiqué par des carrés.

que l'autre se situe le long de la côte est américaine. Or, ces valeurs relativement élevées de $F(\theta)$ sur la côte est des États-Unis sont probablement reliées au déplacement d'une ou plusieurs perturbations propres à la saison d'hiver. Ces perturbations proviennent généralement du Golfe du Mexique et longent la côte est américaine. Bref, ces perturbations drainent vers le Québec les polluants provenant de la partie est des États-Unis. Soulignons également que les valeurs de $F(\theta)$ égales à 0 sont peu nombreuses lors de la saison d'hiver 1981-1982. De fait, l'isoligne $F(\theta) = 0$ passe généralement sur l'extrême est de la province et sur les Maritimes. Le Québec a donc été visité par des trajectoires en provenance d'à peu près toutes les sources lors de l'hiver 1981-1982.

Été 1982

Pour cette saison, on constate que les parcelles d'air provenant de la côte est américaine et du sud des États-Unis survolent très peu souvent le Québec. En effet, pour les cibles No 1, No 2, No 4 et No 5 (i.e. les cibles les plus à l'ouest), on remarque que l'isoligne $F(\theta) = 0$ longe la côte est américaine. De plus, cette isoligne passe généralement loin au nord de la Floride. Or, ceci concorde assez bien avec nos connaissances actuelles sur les systèmes météorologiques qui caractérisent la saison d'été. En effet, lors de cette saison, les systèmes météorologiques ne sont habituellement pas très intenses. Ainsi, les vents du sud ou du sud-ouest ne sont pas suffisamment intenses lors de l'été pour drainer vers le Québec les polluants provenant du sud des États-Unis. D'où une extension limitée vers le sud des champs de $F(\theta)$ lors de l'été 1982. D'autre part, on remarque que les valeurs maximales de $F(\theta)$ sont de 2, 3 ou 4. Ces maxima se retrouvent généralement autour des Grands Lacs et s'étendent parfois sur le Mid West américain. Rappelons que c'est dans cette région (le Mid West américain) que l'on retrouve la plus grande concentration de sources de SO_2 .

Printemps 1982

Peu de choses vraiment particulières distinguent les champs de $F(\theta)$ du printemps 1982 de ceux de l'hiver 1981-1982 et de l'été 1982. Or, ceci n'est pas surprenant puisque le printemps devrait être, du point de vue de la circulation atmosphérique, une saison de transition entre l'hiver et l'été. Remarquons tout de même que les valeurs de $F(\theta)$ égales à 0 sont peu nombreuses lors du printemps 1982. Des trajectoires provenant d'à peu près toutes les sources ont donc survolé le Québec lors de cette saison. De plus, les valeurs maximales de $F(\theta)$ se retrouvent généralement dans la région des Grands Lacs. Ces maxima s'étendent parfois vers le Mid West américain ou vers la côte est des États-Unis. Enfin, il est intéressant de remarquer que les maxima de $F(\theta)$ sont généralement moins prononcés lors du printemps 1982 que lors des saisons d'hiver 1981-1982 et d'été 1982. Les valeurs maximales de $F(\theta)$ sont de 2 ou 3 lors du printemps 1982 alors qu'elles sont de 3, 4 ou même 5 lors de l'hiver 1981-1982 et de l'été 1982.

Les cartes de $F(\theta)$ permettent donc de visualiser la circulation atmosphérique. Toutefois, le lecteur remarquera qu'en général, il est assez difficile d'établir un lien entre les cartes de dépôts de sulfates (voir le chapitre 1) et les cartes de $F(\theta)$ dont nous venons de discuter. Par exemple, il n'est pas évident que les cartes de $F(\theta)$ permettent d'expliquer la variation saisonnière des dépôts de sulfates mesurés à un endroit spécifique. En fait, la circulation atmosphérique n'est qu'un des nombreux facteurs que l'on doit considérer lorsqu'on désire interpréter les dépôts de sulfates. La précipitation joue également un rôle important que l'on ne peut négliger. Par exemple, il se peut que la circulation atmosphérique d'une saison donnée favorise le transport vers le Québec des polluants provenant de régions fortement industrialisées (comme le Mid West américain). Toutefois, ces polluants peuvent être lessivés en grande partie quelques heures après leur émission. Dans ce cas, une fraction relativement faible de ces polluants atteindra le Québec. Cet exemple particulier illustre bien l'importance des précipitations. D'autre part, il est également possible qu'un événement spécifique (par exemple le passage d'une

dépression) explique une grande partie des dépôts saisonniers mesurés à un site donné. Ceci complique évidemment l'interprétation des cartes de dépôts. Bref, ces exemples ainsi que plusieurs autres que l'on pourrait présenter ici illustrent pourquoi il peut être difficile d'établir une bonne corrélation entre la circulation atmosphérique d'une saison donnée et les dépôts de sulfates mesurés lors de cette saison.

3.3 Étalonnage des paramètres du modèle

3.3.1 Introduction

L'un des objectifs de cette étude est d'étalonner les paramètres du MTGDPA afin que ce dernier reproduise le plus adéquatement possible les dépôts saisonniers de sulfates mesurés par le REPQ. Les saisons retenues pour réaliser ce travail sont les saisons d'hiver 1981-1982, de printemps 1982 et d'été 1982. Rappelons que ce sont les seules saisons pour lesquelles on dispose actuellement des données de vent en altitude. Ces données sont essentielles pour faire fonctionner le modèle.

Dans le but d'étalonner le MTGDPA, nous avons fait varier les paramètres suivants du modèle:

- la hauteur de la couche limite;
- les taux de lessivage du SO_2 et du SO_4 ;
- les vitesses de déposition du SO_2 et du SO_4 ;
- le taux de transformation chimique;
- la diffusivité verticale.

De plus, les simulations ont été réalisées avec les chaînes de Markov simples et doubles. Rappelons que les chaînes de Markov permettent de déterminer la longueur moyenne des épisodes secs et humides.

3.3.2 Estimation des dépôts de sulfates

Pour chaque simulation, les résultats fournis par le modèle sont:

- concentration de SO_2 sec (C_1);
- concentration de SO_2 humide (C_2);
- concentration de SO_4 sec (C_3);
- concentration de SO_4 humide (C_4);
- dépôts de SO_2 sec pendant les périodes sèches (D_1);
- dépôts de SO_2 sec pendant les périodes humides (D_2);
- dépôts de SO_4 sec pendant les périodes sèches (D_3);
- dépôts de SO_4 sec pendant les périodes humides (D_4);
- dépôts de SO_2 humide (W_2);
- dépôts de SO_4 humide (W_4).

Dans le but de comparer les résultats fournis par le modèle aux dépôts de sulfates mesurés par le REPO, nous avons regroupé les termes suivants:

$$\text{dépôts de } SO_4 \text{ lors des périodes humides} = 1,5 (D_2 + W_2) + D_4 + W_4$$

où le facteur 1,5 tient compte du poids moléculaire différent du SO_2 et du SO_4 . Nous avons supposé ici que les dépôts de SO_2 lors des périodes humides se transforment totalement en dépôts de sulfates. En d'autres termes, nous avons fait l'hypothèse que le SO_2 recueilli par les collecteurs du REPO s'oxyde totalement en sulfates. Cette hypothèse est tout à fait réaliste puisque le SO_2 est soluble dans l'eau et que l'oxydation du SO_2 en SO_4 est une réaction particulièrement rapide¹.

D'autre part, il importe de rappeler ici que nous avons supposé l'existence de dépôts secs et de dépôts humides de SO_4 lors des périodes

¹ Communication personnelle du professeur G. Jones de l'INRS-Eau.

humides. Or, il semble que les dépôts secs de SO_4 lors des périodes humides sont à toute fin pratique négligeables¹. En effet, comme les particules de sulfates sont hygroscopiques, elles constituent d'excellents noyaux de condensation. La condensation de la vapeur d'eau sur ces particules favorise donc leur sédimentation sous la forme de dépôts humides. Toutefois, comme les dépôts secs de SO_4 calculés à l'aide du modèle sont généralement négligeables lors des épisodes humides (voir Fortin et al., 1985), ceci a peu de conséquence sur nos calculs.

3.3.3 Présentation et discussion des résultats

Dans cette section, nous présentons les principaux résultats que nous avons obtenus à l'aide du modèle. Une description détaillée des simulations réalisées pour la saison d'hiver 1981-1982 permettra d'illustrer la méthodologie que nous avons utilisée. Nous nous limiterons par la suite à décrire les simulations qui ont donné les résultats les plus significatifs pour les saisons de printemps et d'été 1982. L'annexe 1 fournit d'une manière détaillée l'ensemble des résultats que nous avons obtenus pour ces deux saisons.

On présente au tableau 3.1 les valeurs attribuées aux différents paramètres du modèle pour les simulations relatives à la saison d'hiver 1981-1982. Les dépôts de sulfates calculés à l'aide de ces paramètres sont présentés aux figures 3.3 à 3.7. À titre de comparaison, nous présentons à la figure 3.8 les dépôts de sulfates mesurés lors de la saison d'hiver 1981-1982. Enfin, on remarquera que les valeurs attribuées aux différents paramètres se retrouvent habituellement à l'intérieur de la gamme des valeurs que l'on peut trouver dans la littérature (voir à ce sujet le rapport final du groupe de travail États-Unis - Canada, 1982).

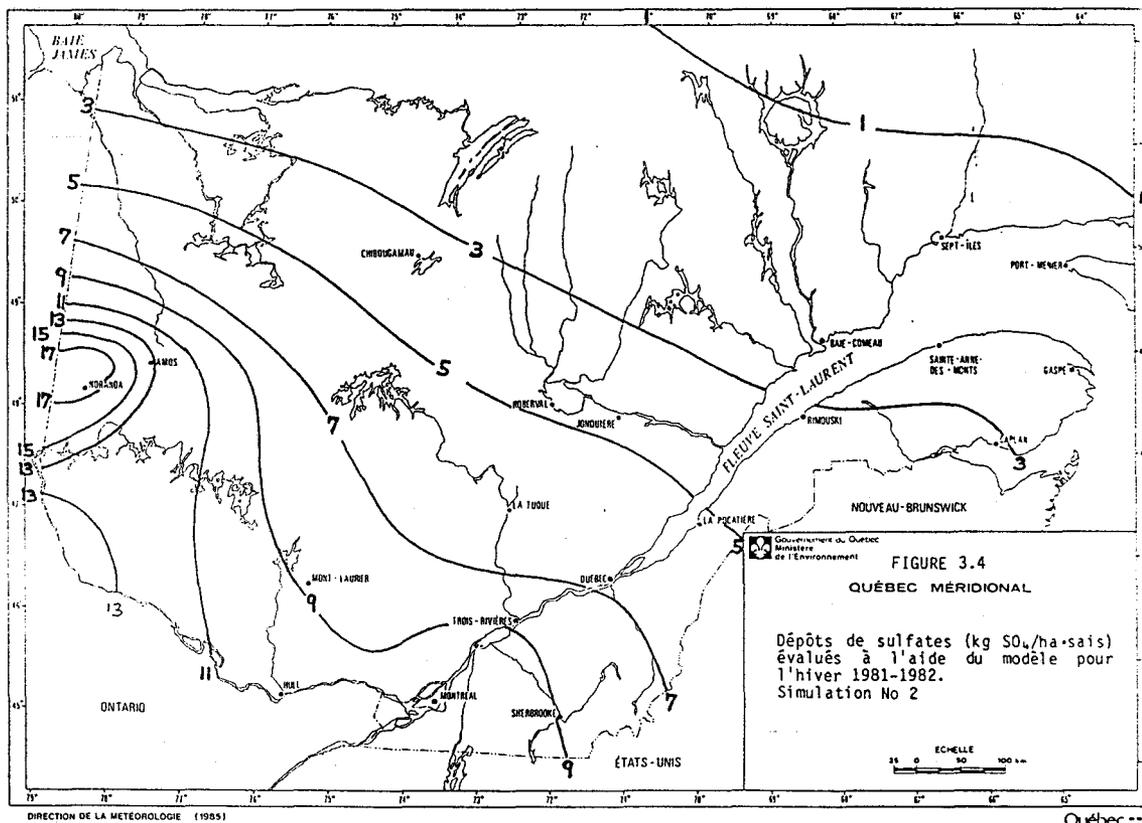
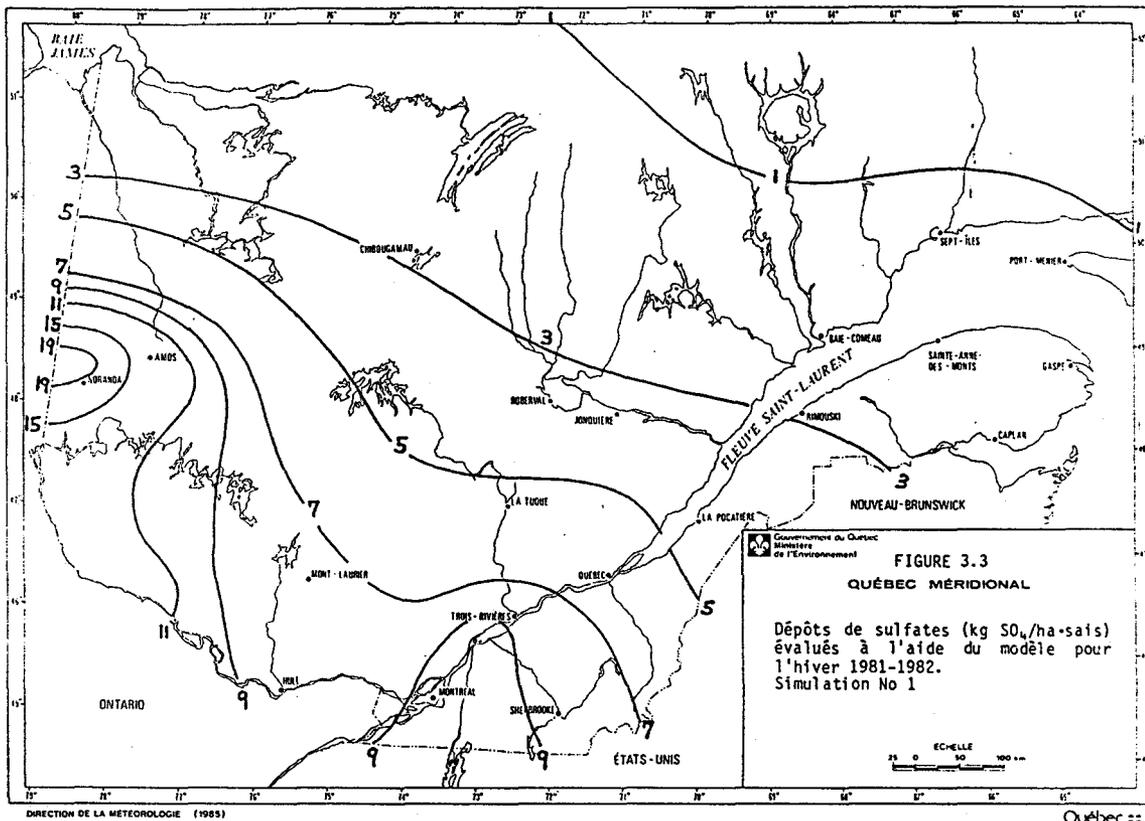
¹ Communication personnelle du professeur G. Jones de l'INRS-Eau.

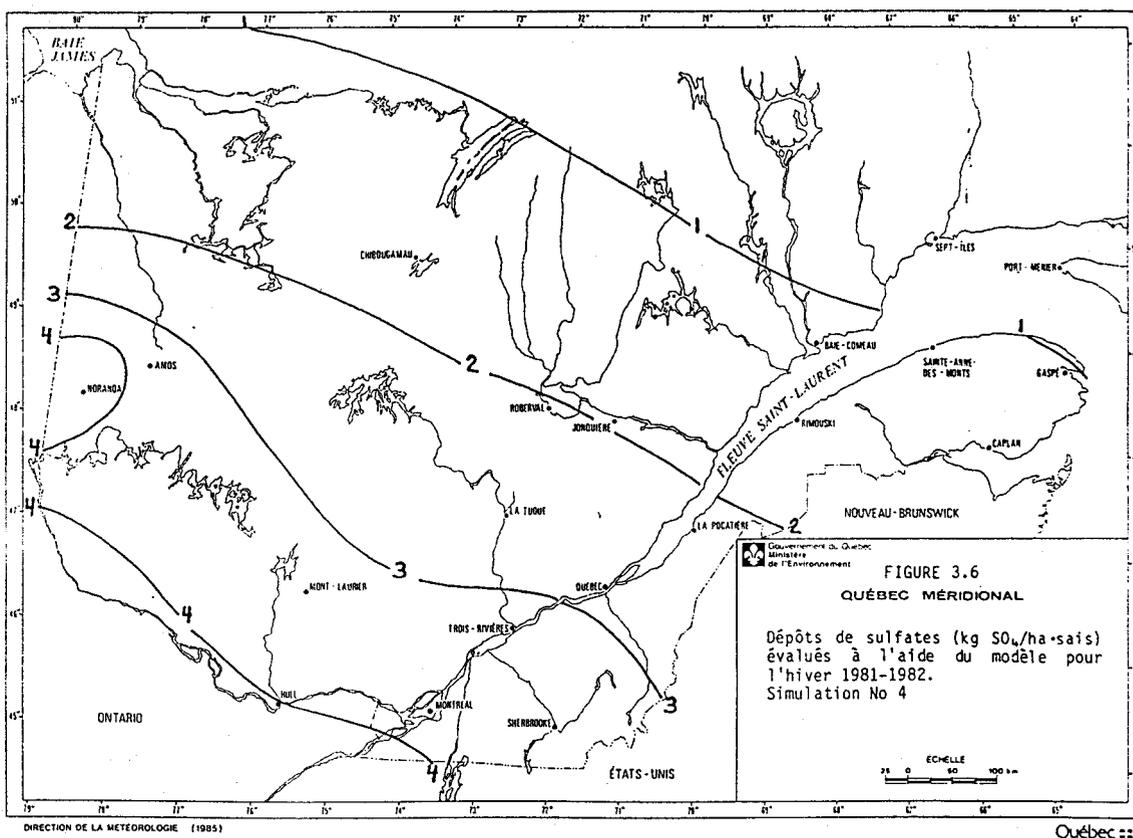
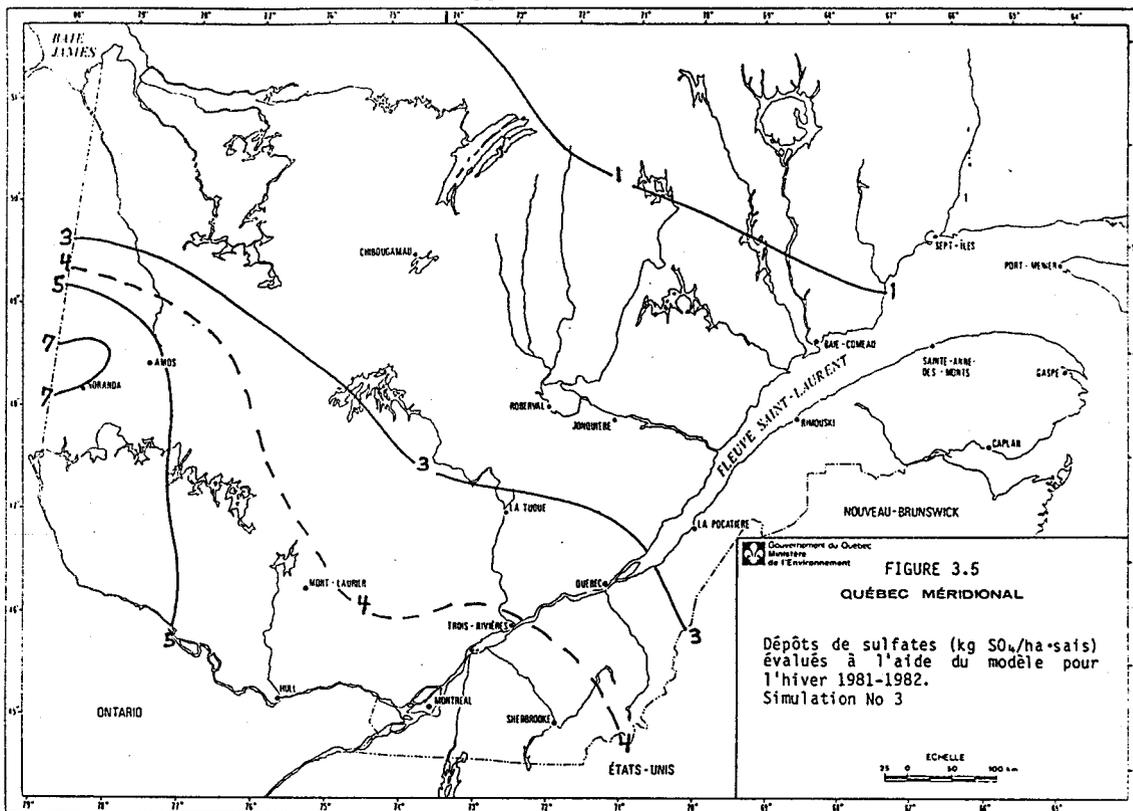
TABLEAU 3.1 Valeurs attribuées aux paramètres du modèle pour les simulations relatives à la saison d'hiver 1981-1982.

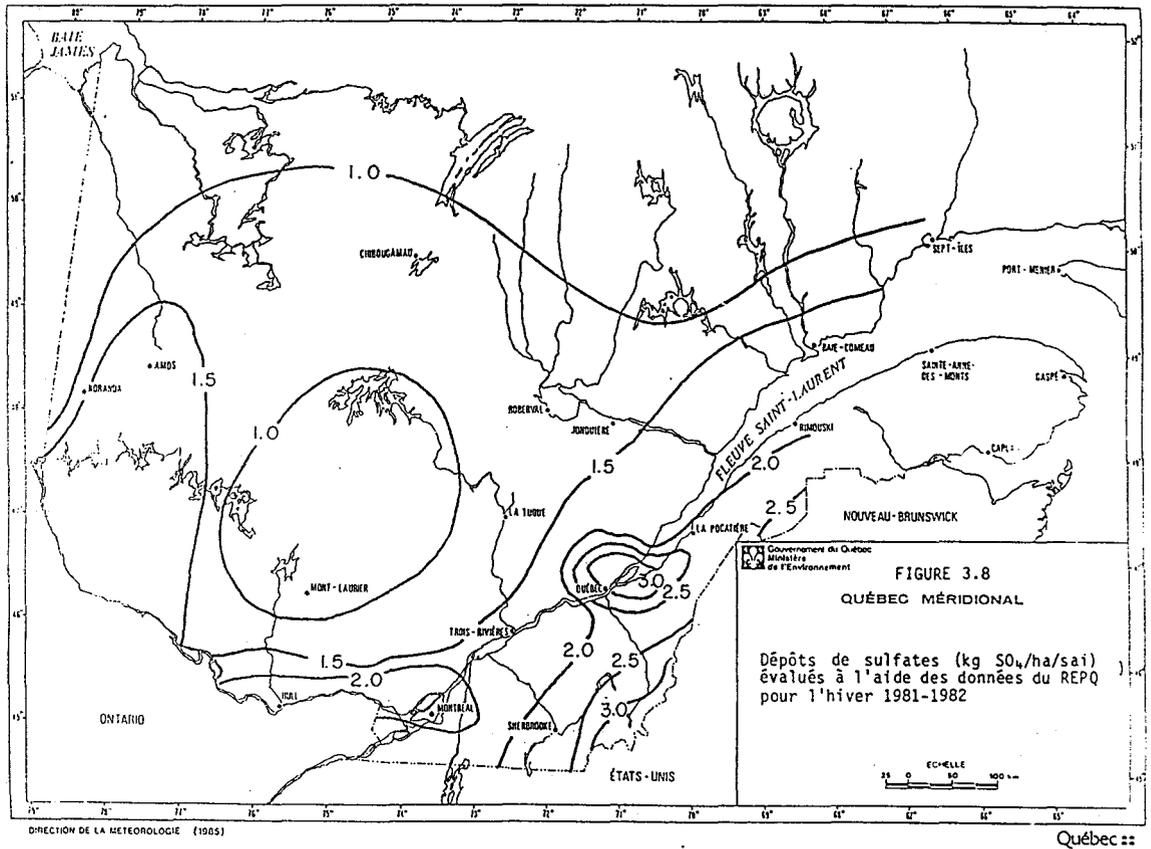
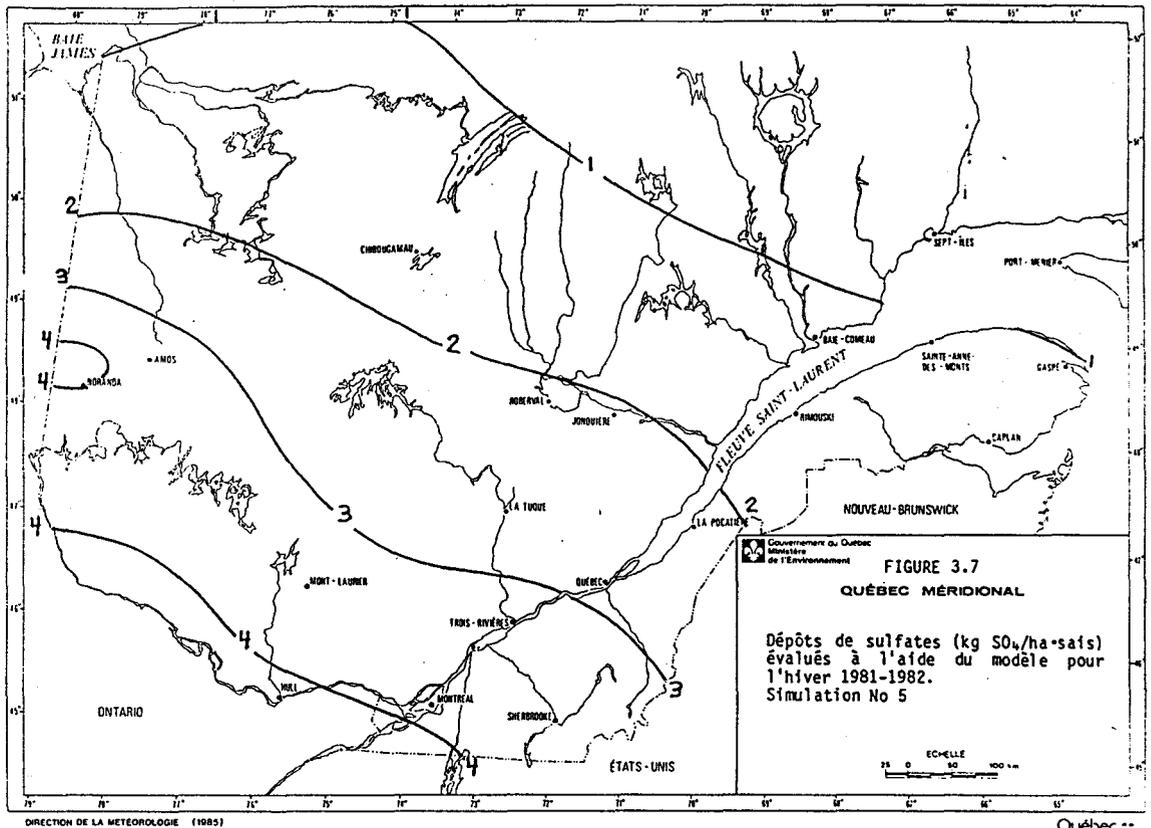
Paramètres	Simulations				
	No 1	No 2	No 3	No 4	No 5
Coefficient de diffusivité (m ² /s)	5	5	5	5	5
Épaisseur de la couche limite (m)	800	800	800	800	800
Taux de transformation chimique (%/h)	1,0	1,0	1,0	0,5	0,5
Vitesse de retombée du SO ₂ (mm/s)	5,0	5,0	5,0	1,2	1,2
Vitesse de retombée du SO ₄ (mm/s)	1,0	1,0	1,0	0,5	0,5
Coefficient de lessivage du SO ₂ (s ⁻¹)	1,5 x 10 ⁻⁵	1,5 x 10 ⁻⁵	1,5 x 10 ⁻⁶	1,5 x 10 ⁻⁶	5,0 x 10 ⁻⁷
Coefficient de lessivage du SO ₄ (s ⁻¹)	5,0 x 10 ⁻⁵	5,0 x 10 ⁻⁵	5,0 x 10 ⁻⁶	5,0 x 10 ⁻⁶	1,0 x 10 ⁻⁵
Précipitation	MD ¹	MS ²	MS	MS	MS

¹ MD = Markov double.

² MS = Markov simple.







Cinq essais ont été réalisés pour la saison d'hiver 1981-1982. Tel qu'indiqué au tableau 3.1, nous avons posé l'épaisseur de la couche limite égale à 800 m pour chacune de ces simulations. Les deux premières simulations avaient pour but d'évaluer l'effet du type de chaîne de Markov sur les dépôts de sulfates calculés. Le premier essai (figure 3.3) a donc été réalisé avec une chaîne de Markov double et le second (figure 3.4) avec une chaîne de Markov simple. Rappelons qu'au chapitre 2, nous avons mentionné que les chaînes de Markov doubles surestiment considérablement la longueur des épisodes humides courts (averses). L'examen des figures 3.3 et 3.4 permet de constater que, près des sources importantes (Mines Noranda par exemple), les dépôts de sulfates sont plus élevés lorsqu'on utilise une chaîne de Markov double plutôt qu'une chaîne de Markov simple. Ceci s'explique par un effet trop important du lessivage du soufre par les averses. À grande distance des sources (au nord de Sept-Îles par exemple) les dépôts de sulfates calculés à l'aide d'une chaîne de Markov double deviennent moins importants que ceux évalués avec une chaîne de Markov simple. Ceci s'explique par le fait que les pertes de SO_4 et de SO_2 à courte distance (ou près des sources) limitent la quantité de SO_4 disponible à grande distance (ou loin des sources). D'autre part, lorsqu'on compare les dépôts calculés (figures 3.3 et 3.4) avec les dépôts mesurés (figure 3.8) on constate que le modèle surestime systématiquement les dépôts de sulfates pendant les périodes humides. On remarque également que le gradient des dépôts calculés est beaucoup trop important.

Dans le but de diminuer les dépôts de SO_4 , les coefficients de lessivage du SO_2 et du SO_4 ont ensuite été divisés par un facteur 10. Précisons que la chaîne de Markov simple a été retenue pour ce test. La figure 3.5 (simulation No 3) présente les dépôts de sulfates que nous avons obtenus. L'effet de la diminution des coefficients de lessivage se fait sentir aussi bien près que loin des sources. Comparativement aux essais précédents, on constate que les dépôts de SO_4 pendant les périodes humides ont diminué par un facteur 2 ou 3. Toutefois, lorsqu'on compare les dépôts mesurés (figure 3.8) aux dépôts calculés (figure 3.5), on remarque que ces derniers sont encore beaucoup trop importants. Le gradient des dépôts calculés est également trop élevé.

Le test suivant a consisté à diminuer les vitesses de déposition du SO_2 et du SO_4 à des valeurs de 1,2 mm/s et 0,5 mm/s respectivement. L'utilisation de valeurs aussi faibles pour les vitesses de déposition peut se justifier assez facilement. En effet, l'hiver est une saison peu propice aux transferts turbulents des polluants vers le sol. Le sol est relativement lisse puisqu'il est recouvert de neige. De plus, la végétation est dépourvue de feuilles. Or, on sait que les feuilles constituent un puit important pour le SO_2 . D'autre part, la diminution des vitesses de déposition devrait favoriser le transport des polluants à longue distance. Ceci devrait permettre de diminuer le gradient beaucoup trop élevé que nous avons observé jusqu'à maintenant. Soulignons enfin que nous avons également diminué le taux de transformation chimique à 0,5%/h. Cette valeur semble plus représentative de la saison d'hiver.

La figure 3.6 (simulation No 4) présente les dépôts de sulfates que nous avons obtenus suite à ces changements. On remarque que les dépôts ont diminué sur l'ensemble du Québec méridional. Toutefois, on ne parvient pas encore à reproduire les dépôts de sulfates mesurés (figure 3.8). Les dépôts calculés sont encore trop élevés d'autant plus qu'en principe, on devrait ajouter un bruit de fond à ces dépôts. Ce bruit de fond a été évalué à 1,5 kg/ha•saison par le ministère de l'Environnement de l'Ontario (rapport interne, 1982).

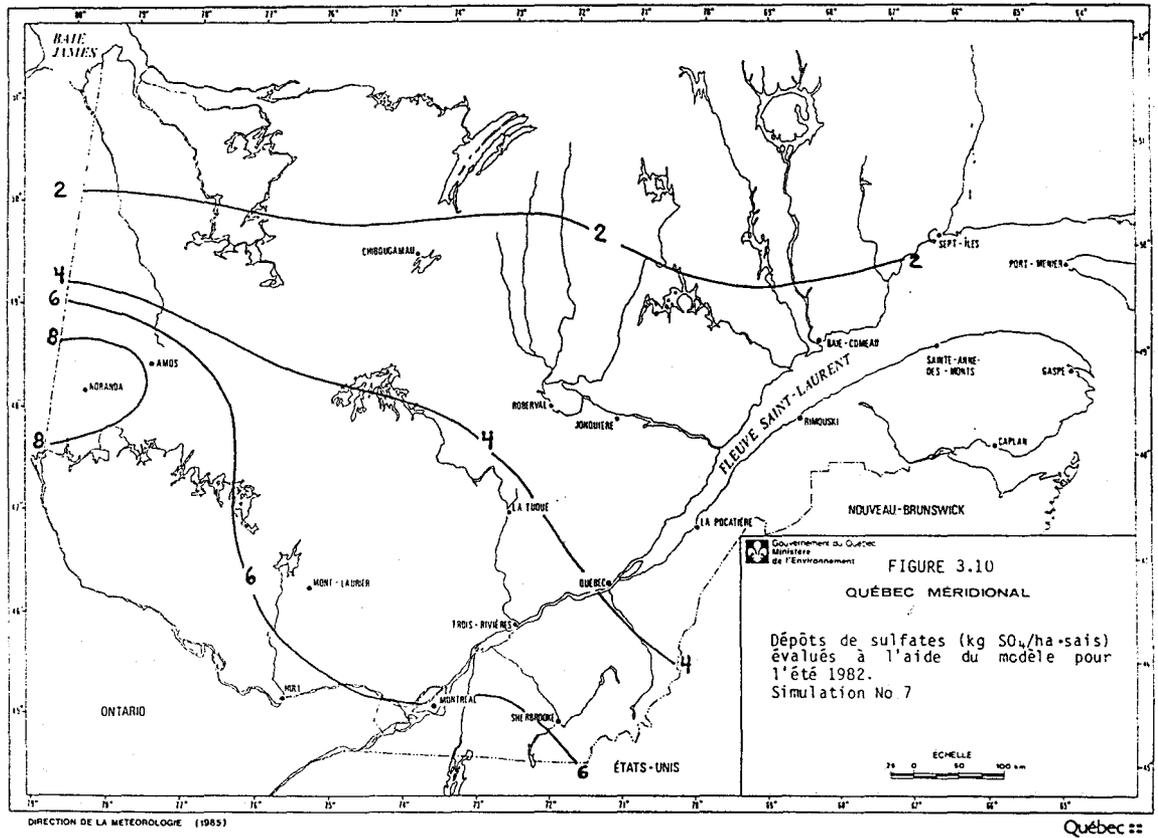
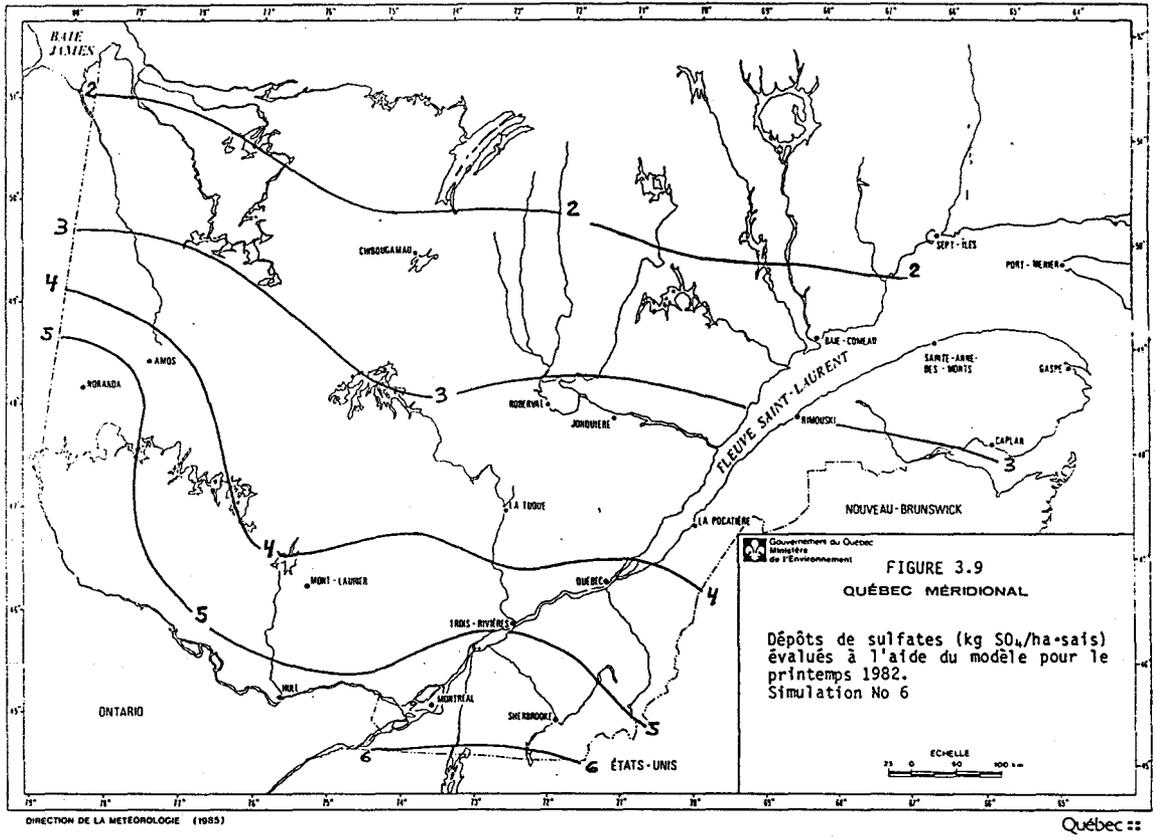
D'autres simulations ont également été réalisées pour la saison d'hiver 1981-1982. Toutefois, ces simulations n'ont pas permis d'améliorer sensiblement les résultats. On présente d'ailleurs à la figure 3.7 les résultats de l'une de ces simulations. Dans ce cas, nous avons diminué le coefficient de lessivage du SO_2 à $5 \times 10^{-7} \text{ s}^{-1}$ et nous avons augmenté celui du SO_4 à $1 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$. Ceci devait, en principe, favoriser le transport des polluants à longue distance. Toutefois comme on peut le constater sur la figure 3.7, les dépôts n'ont pas variés beaucoup. On observe tout de même une légère diminution des dépôts dans la région de Noranda (comparativement à la figure 3.6). En résumé, les nombreuses simulations que nous avons réalisées n'ont pas permis de reproduire fidèlement les dépôts de sulfates mesurés au cours de l'hiver 1981-1982.

Nous avons cherché à savoir si les données de précipitation qui ont été incorporées dans le modèle sont représentatives de la saison d'hiver 1981-1982. Pour les six stations québécoises pour lesquelles cette vérification a été effectuée, nous avons constaté que les précipitations de l'hiver 1981-1982 ont été de 7% à 30% inférieures aux précipitations hivernales moyennes de 1968 à 1977. Par exemple, pour la station de Val-d'Or, nous avons constaté que la précipitation de l'hiver 1981-1982 a été de 30% inférieure à la précipitation moyenne des hivers de 1968 à 1977. Ce déficit de précipitation pourrait expliquer, en partie, les difficultés que nous avons éprouvées à étalonner le MTGDPA sur la saison d'hiver 1981-1982. Ceci illustre d'ailleurs assez bien la nécessité d'incorporer dans le modèle des données de précipitation qui sont propres à la saison pour laquelle on désire calculer les dépôts. En effet, les données moyennes de précipitation ne sont pas nécessairement représentatives de la saison qui nous intéresse.

D'autre part, il est possible que la saison d'hiver ne soit pas la saison idéale pour étalonner le MTGDPA. En effet, il peut y avoir des phénomènes qui se produisent en hiver et qui ne sont pas bien pris en compte par le modèle. Par exemple, il arrive quelques fois en hiver (la nuit tout particulièrement) que l'épaisseur de la couche limite soit suffisamment faible pour qu'une partie des émissions de SO_2 se produisent au-delà du sommet de cette couche. Il est également possible que certains paramètres du modèle (le taux de transformation chimique et les taux de lessivage par exemple) varient appréciablement le long des trajectoires des parcelles d'air lors de la saison d'hiver.

Tel que mentionné précédemment, nous présentons maintenant, les simulations qui ont donné les résultats les plus significatifs pour les saisons de printemps et d'été 1982. Les figures 3.9 et 3.10 illustrent les dépôts de sulfates que nous avons obtenus lors de ces essais.

Lors de ces simulations, l'épaisseur de la couche limite a été fixée à 1000 m pour le printemps et à 1300 m pour l'été. Rappelons que ce paramètre a été fixé à 800 m lors des simulations relatives à la saison d'hiver



1981-1982. En ce qui concerne le taux de transformation chimique, des valeurs de 1%/h et 2%/h ont été utilisées pour le printemps et l'été respectivement. À titre de comparaison, mentionnons que nous avons utilisé une valeur de 0,5%/h pour la saison d'hiver 1981-1982. Enfin, les valeurs attribuées aux autres paramètres du modèle sont présentées au tableau 3.2.

Dans le but de comparer les dépôts de sulfates mesurés par le REPQ aux dépôts de sulfates calculés par le modèle, une valeur de 1,5 kg SO₄/ha·saison a été ajoutée aux dépôts calculés. Ceci permet de tenir compte du bruit de fond naturel et des émissions des sources lointaines. Les figures 3.11 et 3.12 présentent d'ailleurs les dépôts de sulfates obtenus en ajoutant ce bruit de fond aux dépôts calculés.

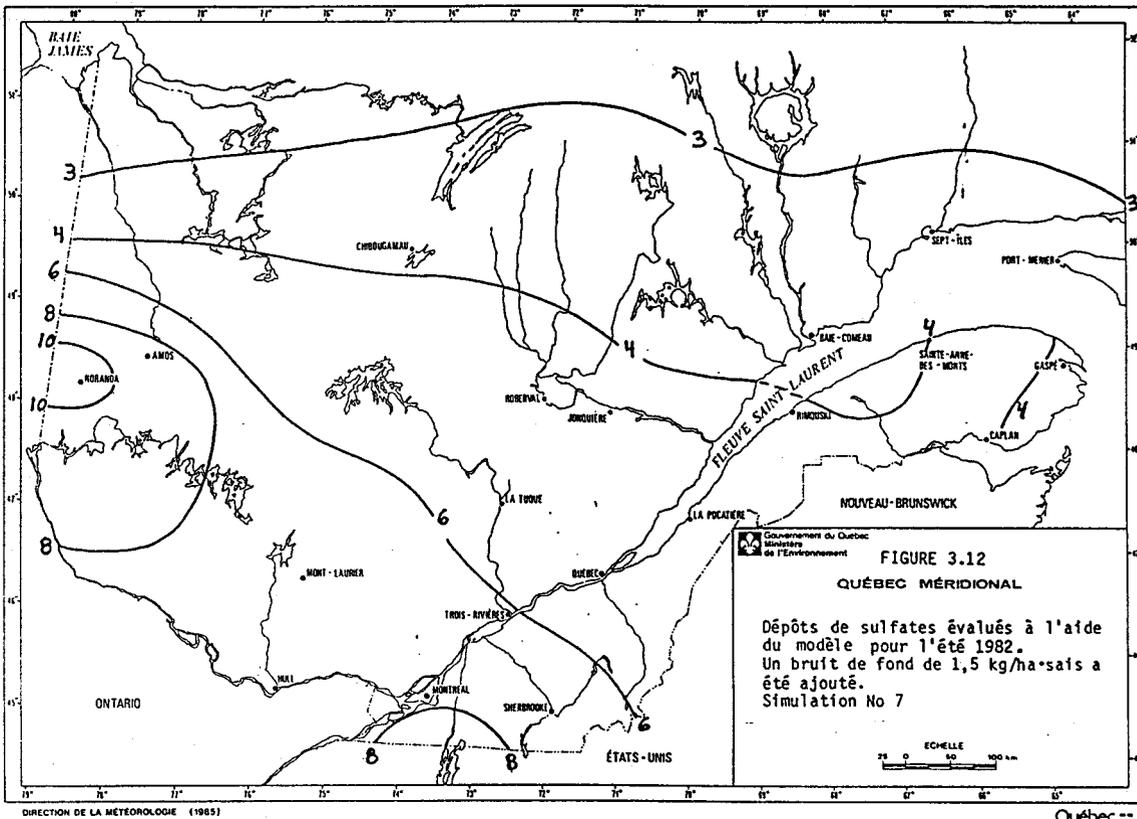
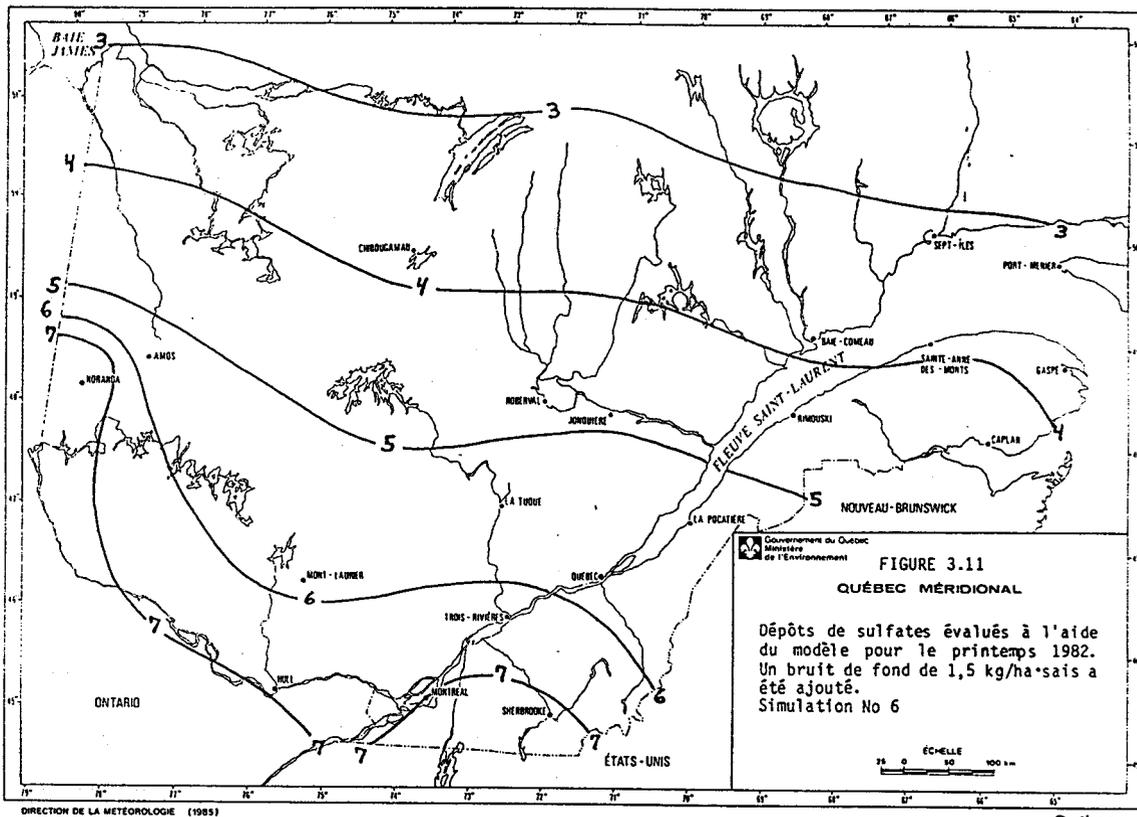
Nous avons évalué l'écart entre les dépôts calculés et les dépôts mesurés. Pour ce faire, nous avons superposé les cartes de dépôts calculés (figures 3.11 et 3.12) et les cartes de dépôts mesurés (figures 1.15 et 1.16). L'écart entre les valeurs simulées et les valeurs observées a ensuite été évalué aux intersections des isolignes de dépôts. Les figures 3.13 et 3.14 présentent la variation spatiale de l'écart ainsi obtenu. Précisons que l'écart est exprimé en kg SO₄/ha·saison et que les valeurs positives et négatives de cet écart indiquent respectivement que le modèle surestime et sous-estime les dépôts de sulfates.

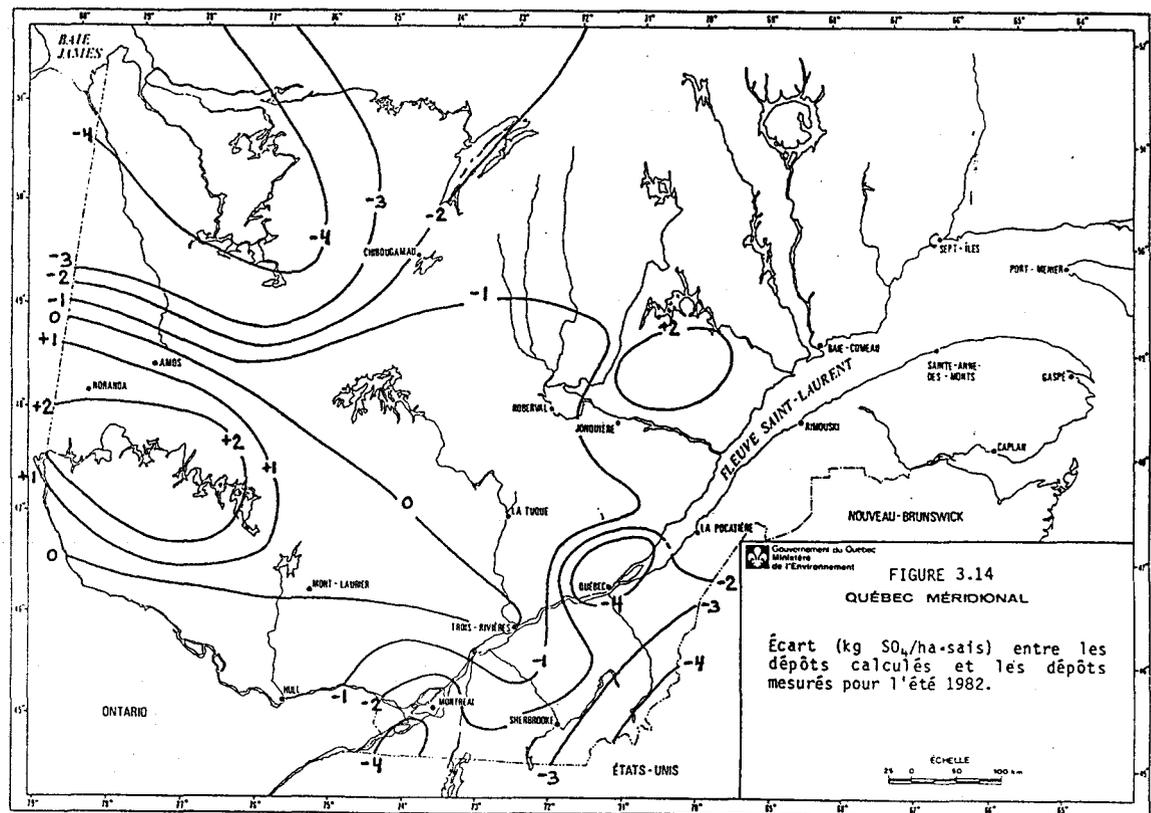
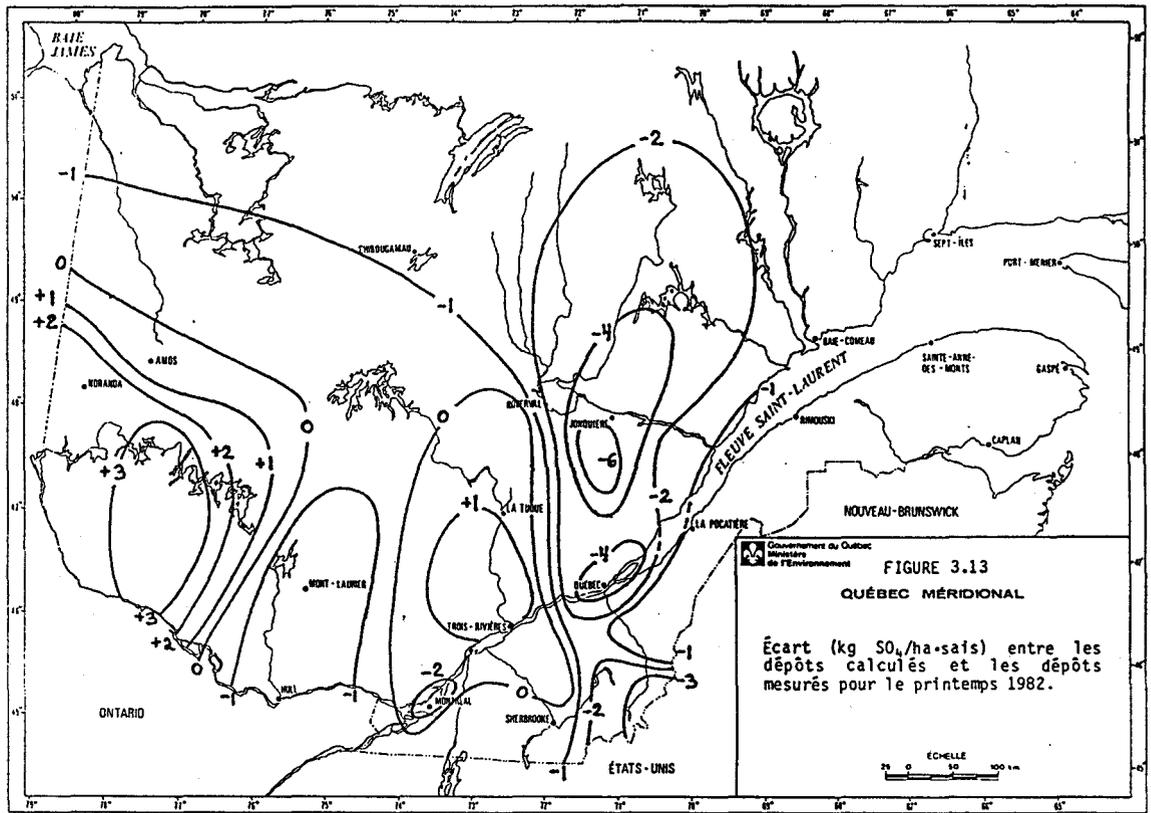
L'examen des figures 3.13 et 3.14 révèle pour le printemps et l'été 1982, des écarts importants entre les dépôts calculés et les dépôts mesurés. Pour le printemps 1982, l'écart varie entre -6 kg SO₄/ha·saison et +3 kg SO₄/ha·saison alors que pour l'été 1982, l'écart se situe entre -4 kg SO₄/ha·saison et +2 kg SO₄/ha·saison. Les différences les plus importantes se retrouvent entre autres dans la région de Québec, sur le massif laurentien situé au nord de Québec et dans la région située à l'est de Sherbrooke. Or, rappelons que les précipitations ont été particulièrement abondantes dans ces régions. Ainsi, plusieurs des minima et des maxima qui apparaissent sur les figures 3.13 et 3.14 correspondent à des valeurs maximales ou minimales dans les champs de précipitation. En fait, la version

TABLEAU 3.2 Valeurs attribuées aux paramètres du modèle pour les simulations relatives au printemps 1982 et à l'été 1982.

Paramètres	Simulations	
	No 6 (printemps 1982)	No 7 (été 1982)
Coefficient de diffusivité (m ² /s)	5,0	5,0
Épaisseur de la couche limite (m)	1000	1300
Taux de transformation chimique (%/h)	1,0	2,0
Vitesse de retombée du SO ₂ (mm/s)	1,2	5,0
Vitesse de retombée du SO ₄ (mm/s)	0,5	1,0
Coefficient de lessivage du SO ₂ (s ⁻¹)	5,0 x 10 ⁻⁶	5,0 x 10 ⁻⁵
Coefficient de lessivage du SO ₄ (s ⁻¹)	1,0 x 10 ⁻⁴	1,0 x 10 ⁻⁴
Précipitation	MS ¹	MS

¹ MS = Markov simple.





analytique du modèle ne permet pas de tenir compte de ces caractéristiques régionales de la précipitation. La variabilité spatiale des précipitations saisonnières explique donc une partie des difficultés que nous avons éprouvées à étalonner le modèle sur les dépôts saisonniers de sulfates. D'autre part, il est intéressant d'observer le comportement du modèle dans la région de Noranda où se retrouve évidemment la source québécoise de SO_2 la plus importante. On constate qu'à Noranda même ainsi qu'au sud de cette ville, le modèle surestime les dépôts de sulfates. Par contre, on remarque la situation inverse dans toutes les régions situées au nord du 49^{ième} parallèle. Ceci semble indiquer que le modèle ne favorise pas suffisamment le transport à grande distance des polluants atmosphériques. Les dépôts de sulfates évalués proches des sources importantes semblent trop élevés alors qu'à grande distance de ces sources les dépôts de sulfates sont sous-estimés. Soulignons que Fortin et al. (1985) ainsi que Boulet et al. (1985) ont également noté ce problème dans le passé. Toutefois, dans un rapport récent, Lelièvre (1986) identifie les causes probables de ce problème. Il ressort en effet de ce rapport que les données de précipitation qui sont incorporées dans le modèle surestiment la longueur des épisodes humides courts (averses). Cette surestimation de la longueur des averses entraîne une surestimation des dépôts près des sources. De nouvelles simulations devront être réalisées avec le modèle afin d'évaluer l'impact des améliorations proposées par Lelièvre (1986).



CONCLUSION

CONCLUSION

La présente étude avait pour but d'étalonner le MTGDPA afin que ce dernier reproduise le plus adéquatement possible les dépôts saisonniers de sulfates mesurés par le réseau d'échantillonnage des précipitations du Québec (REPQ). Pour ce faire, il a d'abord été nécessaire de cartographier les dépôts saisonniers de sulfates évalués à l'aide des données du REPQ. Nous avons ensuite réalisé une étude détaillée de la banque de données d'émissions dont nous disposions. Cette dernière répartit les émissions de SO_2 en quatre classes de niveaux. Précisons que cette banque nous a permis de discrétiser davantage les sources de polluants dans la vallée du Saint-Laurent. Les sources saguenéennes ont également été ajoutées au modèle. Le MTGDPA a finalement été étalonné sur les dépôts de sulfates des saisons d'hiver 1981-1982, du printemps 1982 et d'été 1982.

Les résultats obtenus révèlent des écarts importants entre les dépôts mesurés et les dépôts calculés. Ces écarts ont été attribués principalement à la précipitation. Ainsi, il a été démontré que les données de précipitation qui sont incorporées dans le modèle ne sont pas nécessairement représentatives des saisons que nous avons considérées. Ce fut le cas, par exemple, pour la saison d'hiver 1981-1982. Il serait donc préférable d'utiliser des données de précipitation propres aux saisons pour lesquelles on désire calculer les dépôts. Ceci pourrait être réalisé à l'aide des données pluviométriques du réseau météorologique du Québec.

D'autre part, nous avons constaté que la variabilité spatiale des précipitations saisonnières complique quelque peu l'étalonnage du MTGDPA. En fait, la version analytique du MTGDPA ne permet pas de tenir compte des caractéristiques régionales de la précipitation. On doit donc supposer que les caractéristiques de la précipitation sont constantes le long des trajectoires des parcelles d'air. Cette hypothèse a des conséquences non négligeables puisque les précipitations saisonnières ont une variabilité spatiale particulièrement importante.

Diverses solutions à ce problème peuvent être envisagées. D'abord, l'utilisation de la version numérique du MTGDPA ainsi qu'une meilleure connaissance du cycle sec-humide à l'échelle de la grille pour laquelle les équations sont solutionnées constitueraient sans doute une amélioration importante. D'autre part, il est important de mentionner que le modèle québécois a d'abord été conçu pour obtenir des statistiques à long terme sur les dépôts de sulfates. Or, la présente étude ainsi que celle de Boulet et al. (1985) démontrent clairement que, dans sa version actuelle, le modèle gagnerait à être étalonné sur les dépôts annuels plutôt que sur les dépôts saisonniers. Ceci permettrait de réduire l'effet de la variabilité spatiale des précipitations sur les dépôts mesurés. Une approche tout aussi valable consisterait à regrouper les mêmes saisons de quatre ou cinq années différentes. Par exemple, la moyenne des dépôts mesurés lors des saisons d'hiver de quatre ou cinq années pourrait être déterminée. Les dépôts résultants serviraient de données de base pour vérifier si le modèle peut reproduire fidèlement les dépôts hivernaux de SO_4 .

Cette étude a également permis de mettre en évidence un défaut du MTGDPA. Il semble en effet que le modèle ne permet pas aux polluants de diffuser suffisamment à longue distance. Les dépôts sont trop élevés proche des sources importantes de sorte qu'il ne reste pas suffisamment de polluants à grande distance. Ceci a été attribué en partie, à un lessivage trop important des polluants par la précipitation. Une solution à ce problème a d'ailleurs été proposée par Lelièvre (1986) dans un rapport récent. De nouvelles simulations devront donc être réalisées à l'aide du modèle afin d'évaluer l'impact des modifications proposées.

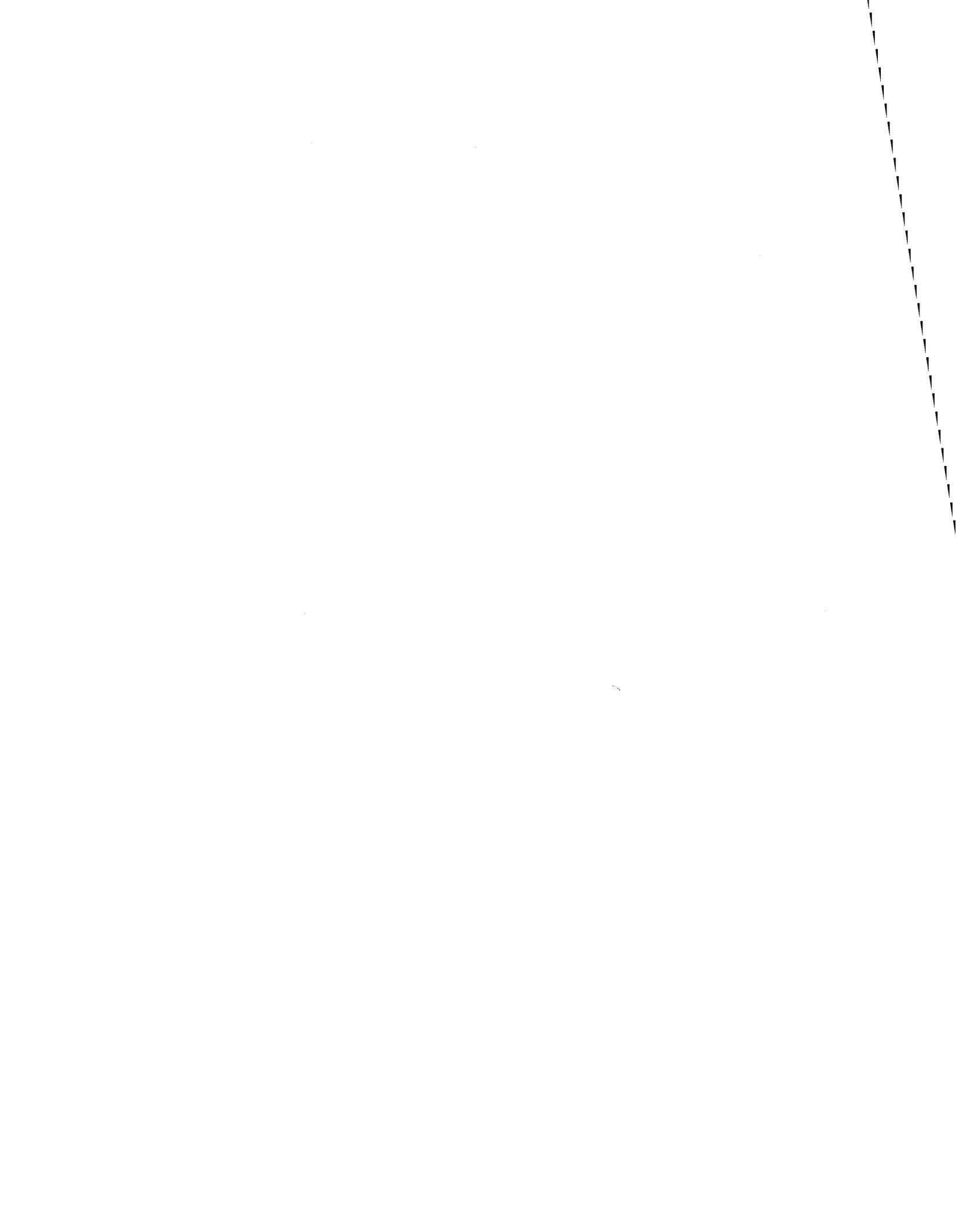
Enfin, une meilleure connaissance des phénomènes physiques qui influencent les paramètres du modèle serait nécessaire spécialement pour la saison d'hiver.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES



RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BOULET, G., G. JACQUES et C. LELIÈVRE (1985). Analyse des trajectoires des parcelles d'air sur le Québec et calibration du modèle TGDPA québécois. Rapport préliminaire, ministère de l'Environnement du Québec, ENVIRODOC No 850656, 100 p.
- ÉTATS-UNIS - CANADA (1982). Mémoire déclaratif d'intention concernant la pollution atmosphérique transfrontière. Groupe de travail 2 sur les sciences et analyses atmosphériques. Rapport final, rapport No 2F, novembre 1982.
- FORTIN, J.P., M. LACHANCE, C. LELIÈVRE et G. FERLAND (1985). Développement d'un modèle québécois de transport à longue distance de polluants atmosphériques. INRS-Eau, rapport scientifique No 151, 266 p.
- LELIÈVRE, C. (1986). Chaîne de Markov: effet de la discrétisation d'un processus continu. Rapport interne, ministère de l'Environnement du Québec, 22 p.
- MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT DE L'ONTARIO (1982). Background sulphur dioxide and sulphate concentrations and deposition rates. Rapport interne, OME, 4 p.
- OLSON, M.P., K.K. OIKAWA et A.W. MACAFEE (1978). A trajectory model applied to the long-range transport of air pollutants. Service de l'environnement atmosphérique du Canada, rapport de projet No 2.2.2, 24 p.
- PARADIS, D. (1985). Variabilité spatio-temporelle des précipitations acides sur le Québec méridional (1982-1983). Thèse de maîtrise, Université de Sherbrooke, 221 p.



ANNEXE 1

ANNEXE 1

On présente ici les diverses simulations que nous avons réalisées pour les saisons de printemps et d'été 1982. Les tableaux 1 et 2 indiquent les valeurs qui ont été attribuées aux différents paramètres du modèle. Les dépôts de sulfates calculés à l'aide de ces paramètres sont présentés aux figures 1 à 9.

TABLEAU 1. Valeurs attribuées aux paramètres du modèle pour les simulations relatives au printemps 1982.

Paramètres	Simulations			
	No 1	No 2	No 3	No 4
Coefficient de diffusivité (m ² /s)	5	5	5	5
Épaisseur de la couche limite (m)	1000	1000	1000	1000
Taux de transformation chimique (%/h)	1,0	1,0	1,0	1,0
Vitesse de retombée du SO ₂ (mm/s)	5,0	5,0	1,2	1,2
Vitesse de retombée du SO ₄ (mm/s)	1,0	1,0	0,5	0,5
Coefficient de lessivage du SO ₂ (s ⁻¹)	1,5 x 10 ⁻⁵	1,5 x 10 ⁻⁵	1,5 x 10 ⁻⁵	5,0 x 10 ⁻⁶
Coefficient de lessivage du SO ₄ (s ⁻¹)	5,0 x 10 ⁻⁵	5,0 x 10 ⁻⁵	5,0 x 10 ⁻⁵	1,0 x 10 ⁻⁴
Précipitation	MD ¹	MS ²	MS	MS

¹ MD = Markov double.

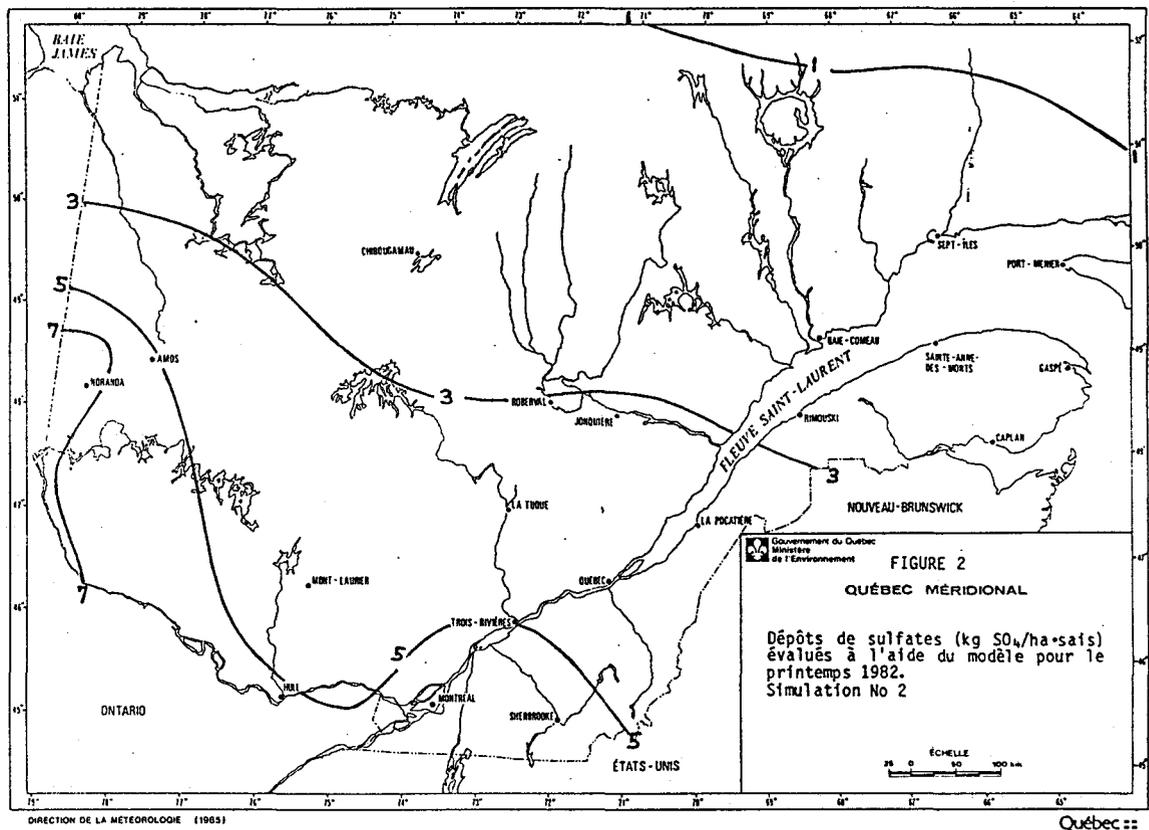
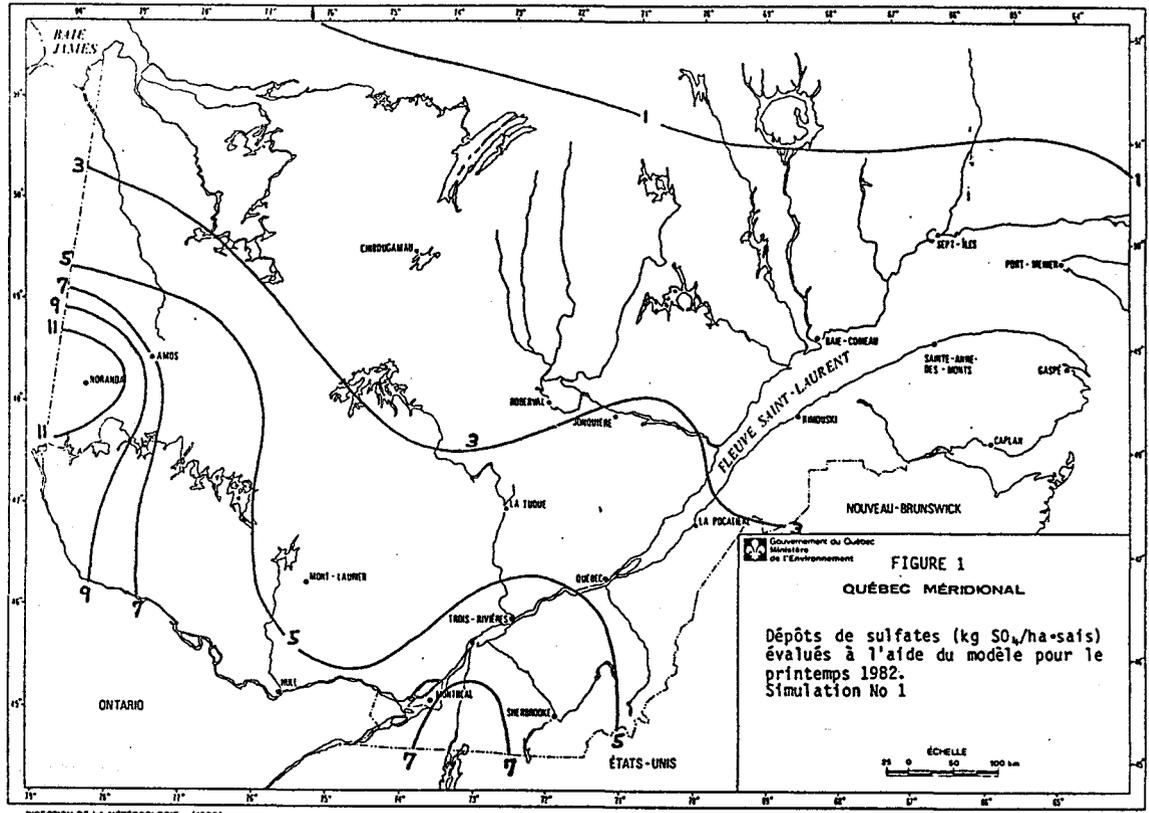
² MS = Markov simple.

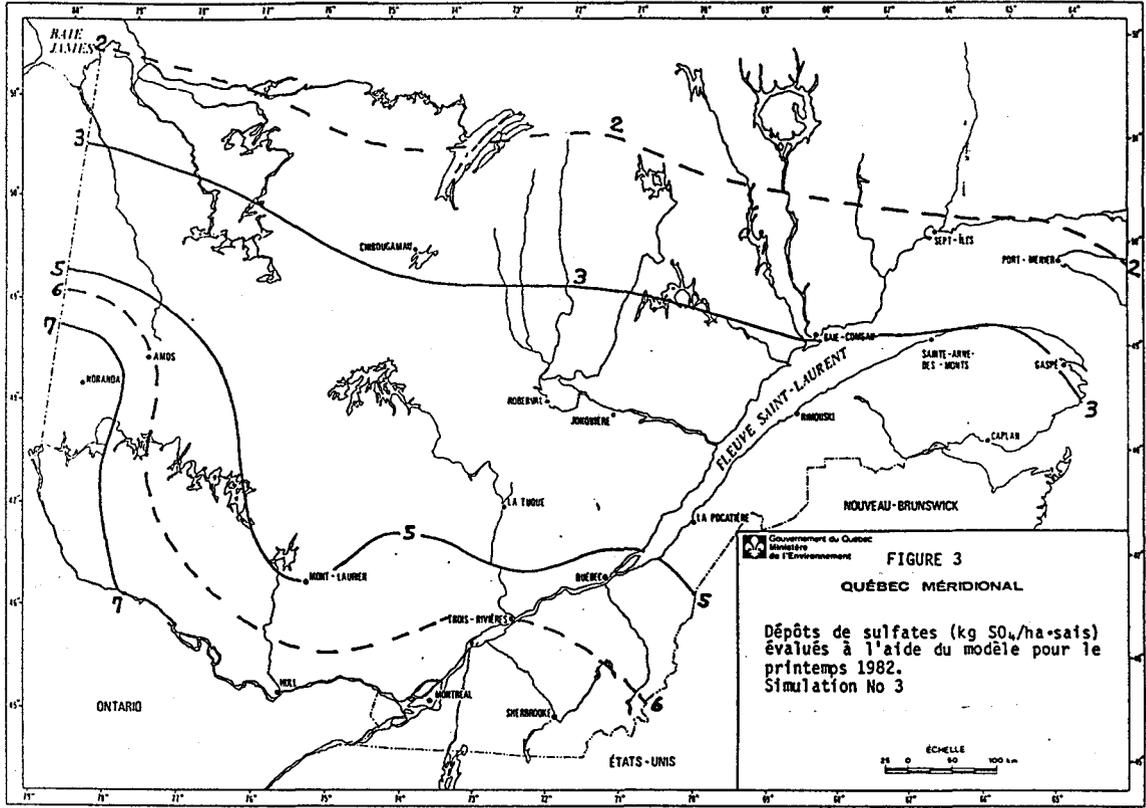
TABLEAU 2. Valeurs attribuées aux paramètres du modèle pour les simulations relatives à l'été 1982.

Paramètres	Simulations				
	No 5	No 6	No 7	No 8	No 9
Coefficient de diffusivité (m ² /s)	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Épaisseur de la couche limite (m)	1300	1300	1300	1300	1300
Taux de transformation chimique (%/h)	1,0	1,0	1,0	2,0	2,0
Vitesse de retombée du SO ₂ (mm/s)	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Vitesse de retombée du SO ₄ (mm/s)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Coefficient de lessivage du SO ₂ (s ⁻¹)	1,5 x 10 ⁻⁵	1,5 x 10 ⁻⁵	5,0 x 10 ⁻⁵	5,0 x 10 ⁻⁵	1,0 x 10 ⁻⁴
Coefficient de lessivage du SO ₄ (s ⁻¹)	5,0 x 10 ⁻⁵	5,0 x 10 ⁻⁵	1,0 x 10 ⁻⁴	1,0 x 10 ⁻⁴	2,0 x 10 ⁻⁴
Précipitation	MD ¹	MS ²	MS	MS	MS

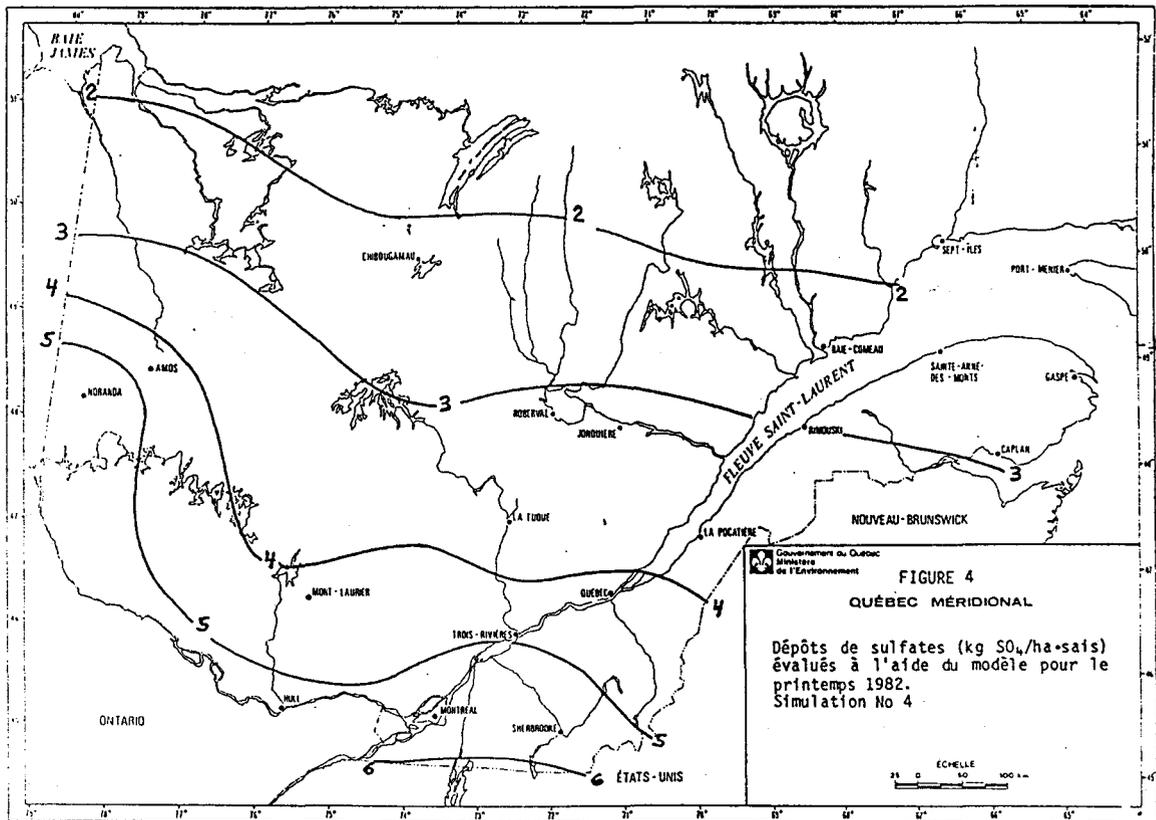
¹ MD = Markov double.

² MS = Markov simple.

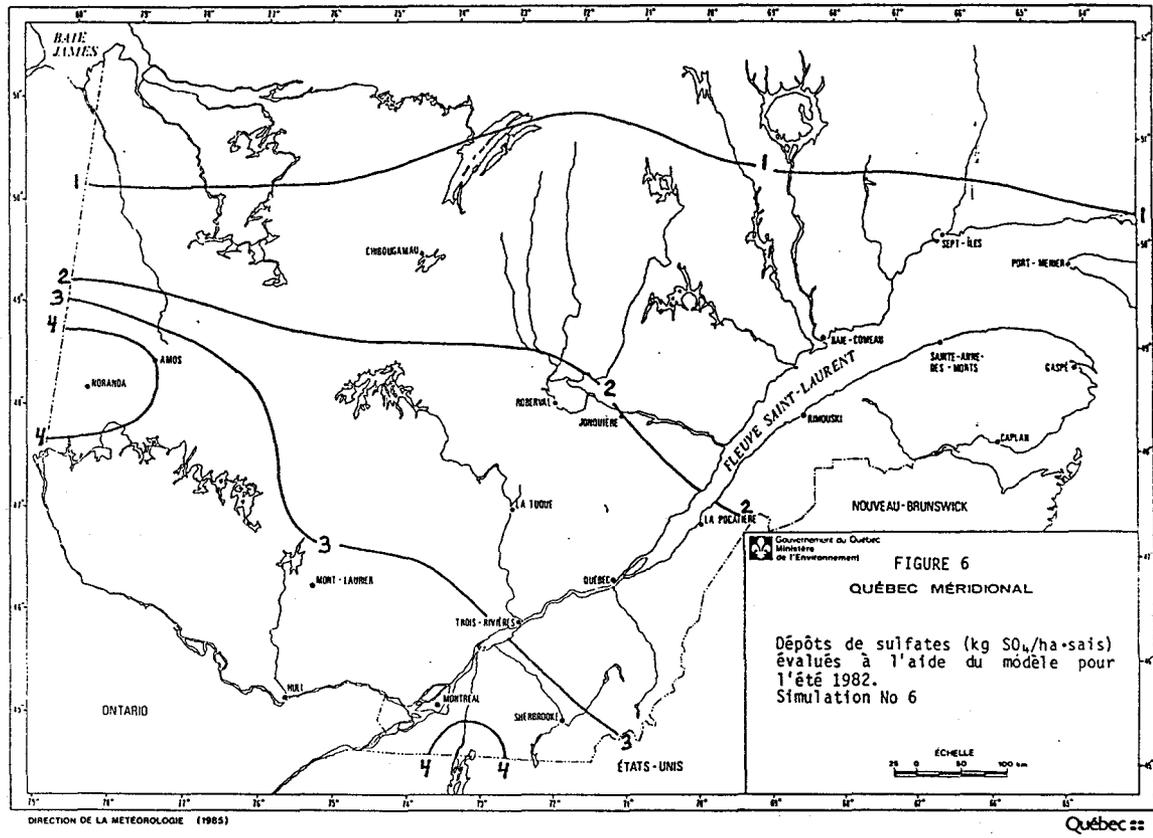
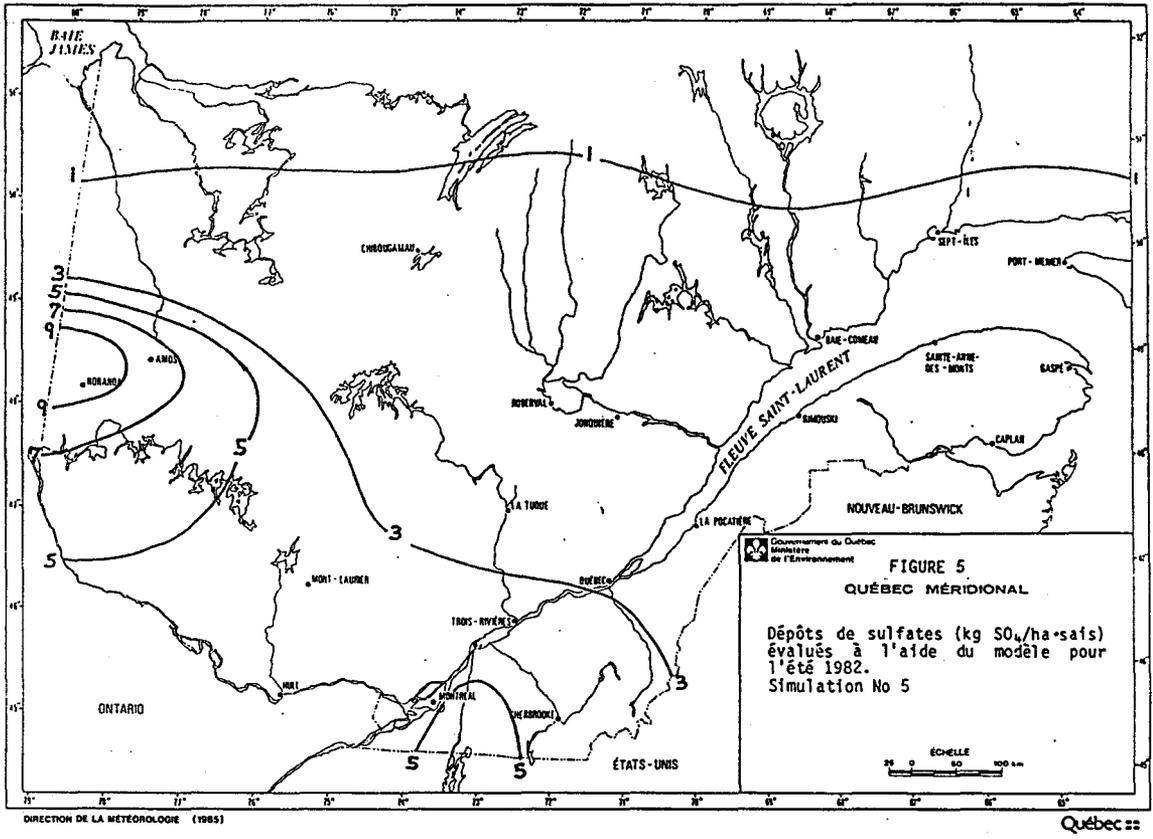


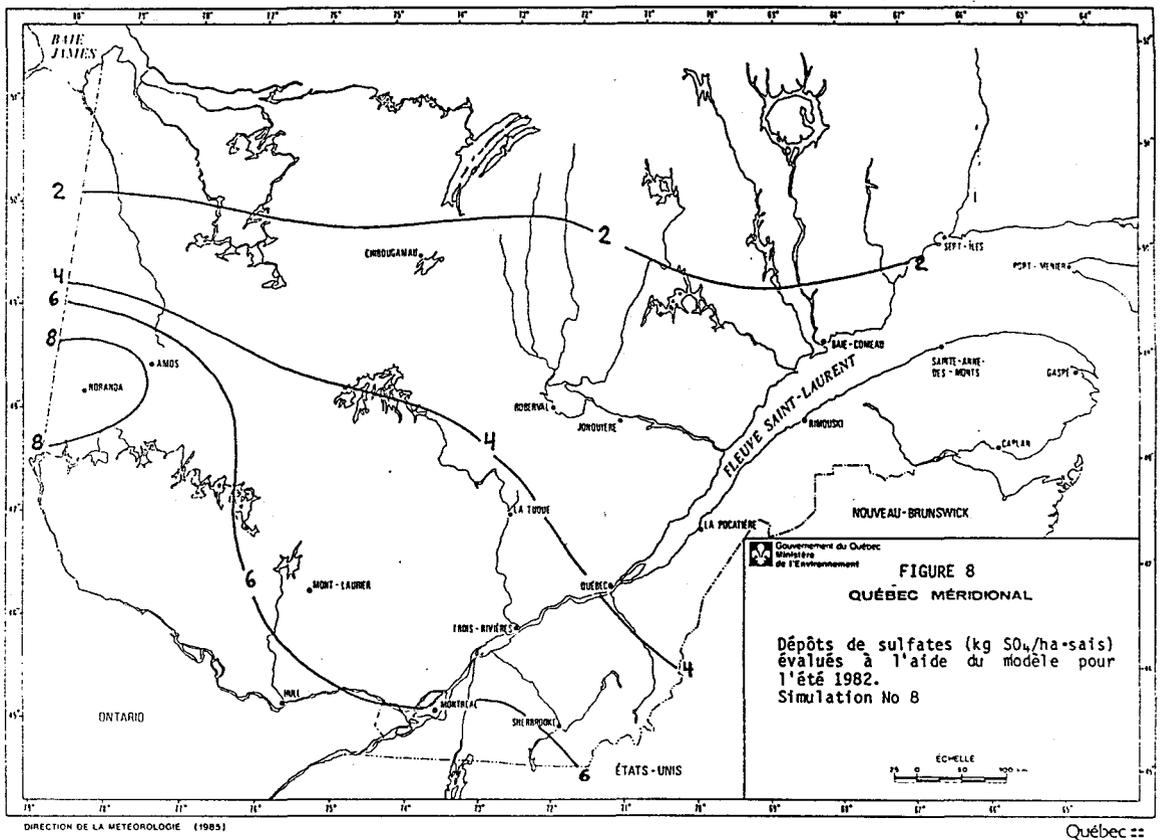
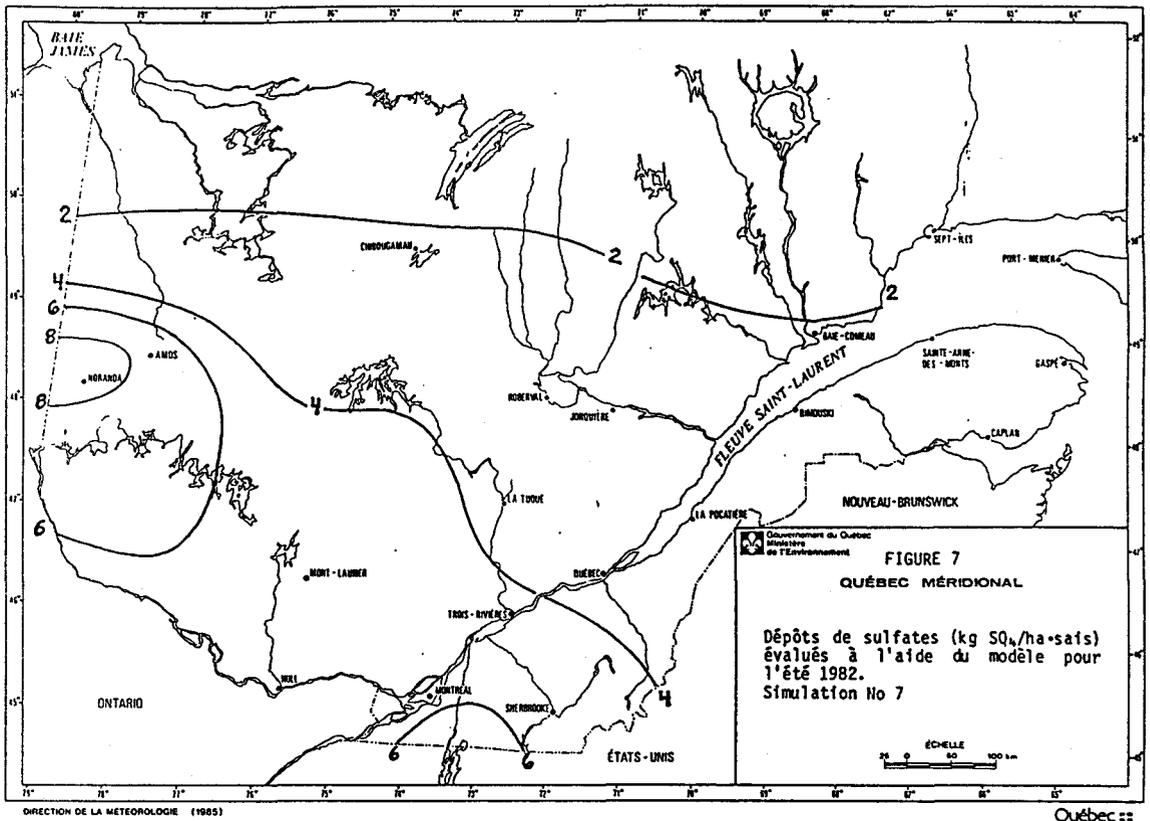


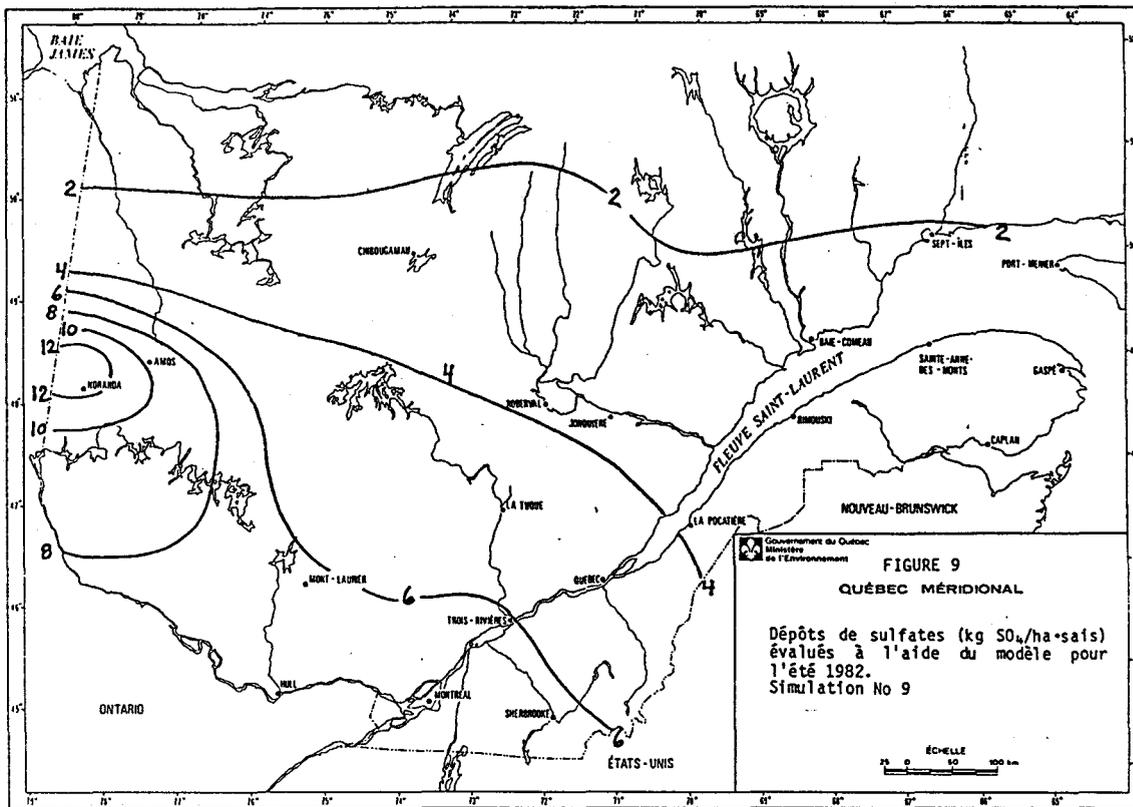
Québec



Québec









Université du Québec

Institut national de la recherche scientifique

Complexe scientifique, 2700 rue Einstein
Case postale 7500
Sainte-Foy, Québec, Canada
G1V 4C7
Téléphone: (418) 654-2524

INRS-Eau

Sainte-Foy, le 1er avril 1986

Monsieur Ghislain Jacques
Direction de la météorologie
2360, chemin Sainte-Foy - 2e étage
Sainte-Foy (Québec)
G1V 4H2

Objet: Rapport d'étape No 1 dans le cadre de la subvention intitulée "Calibration et optimisation du modèle québécois de transport à grandes distances des polluants atmosphériques"

Monsieur,

Conformément aux dispositions de la subvention accordée par votre Ministère à l'INRS-Eau, il me fait plaisir de vous transmettre notre premier rapport d'étape.

Espérant le tout à votre satisfaction, je vous prie de recevoir l'expression de mes sentiments les meilleurs.

Jean-Pierre Fortin
Professeur
INRS-Eau

JPF/ep

Pièce jointe