

Université du Québec

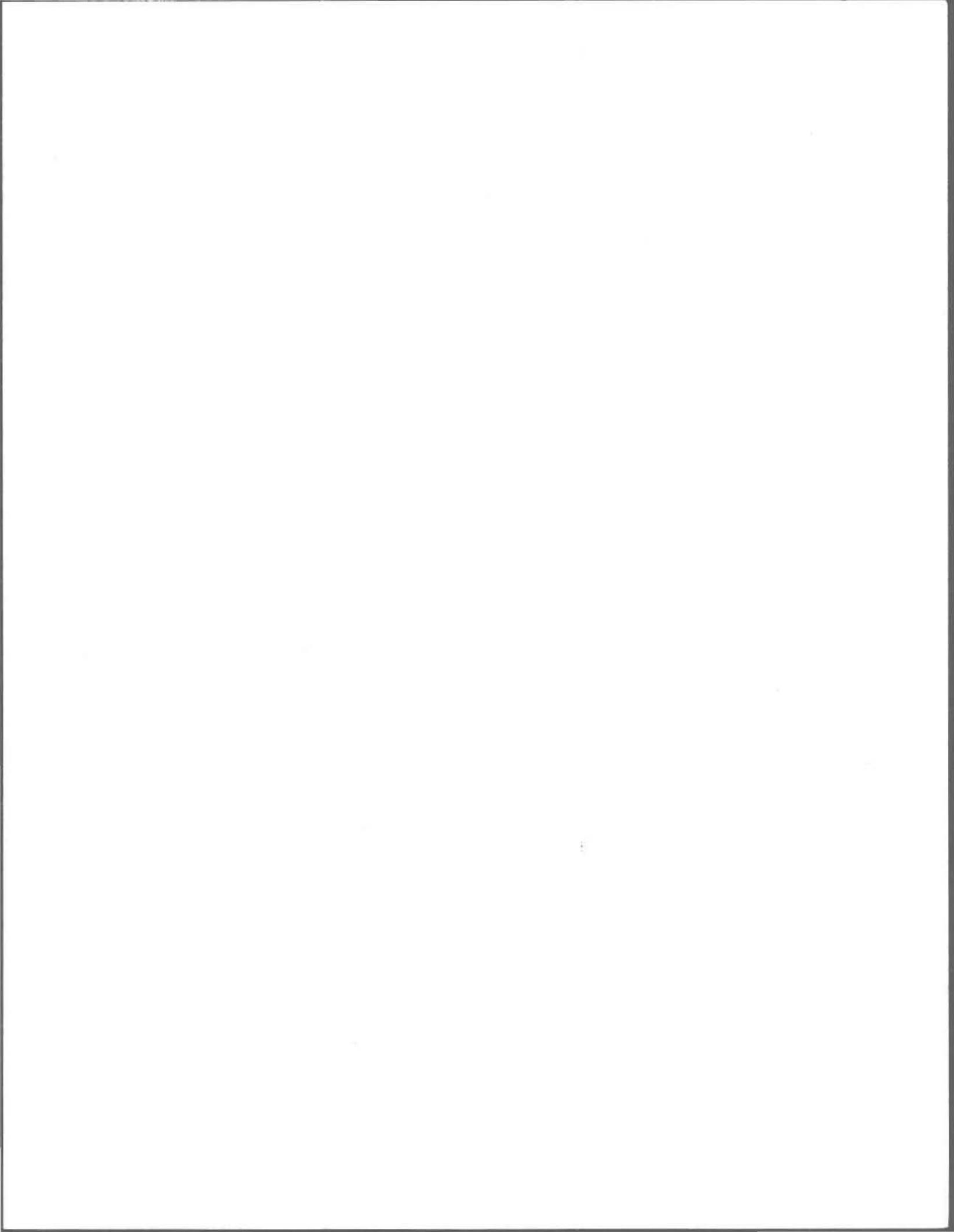
Mémoire présenté à

L'INSTITUT NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

comme exigence partielle  
de la  
maîtrise ès sciences  
par  
Sylvie Boucher

Etude des précipitations horaires au Québec méridional

Avril 1985



## REMERCIEMENTS

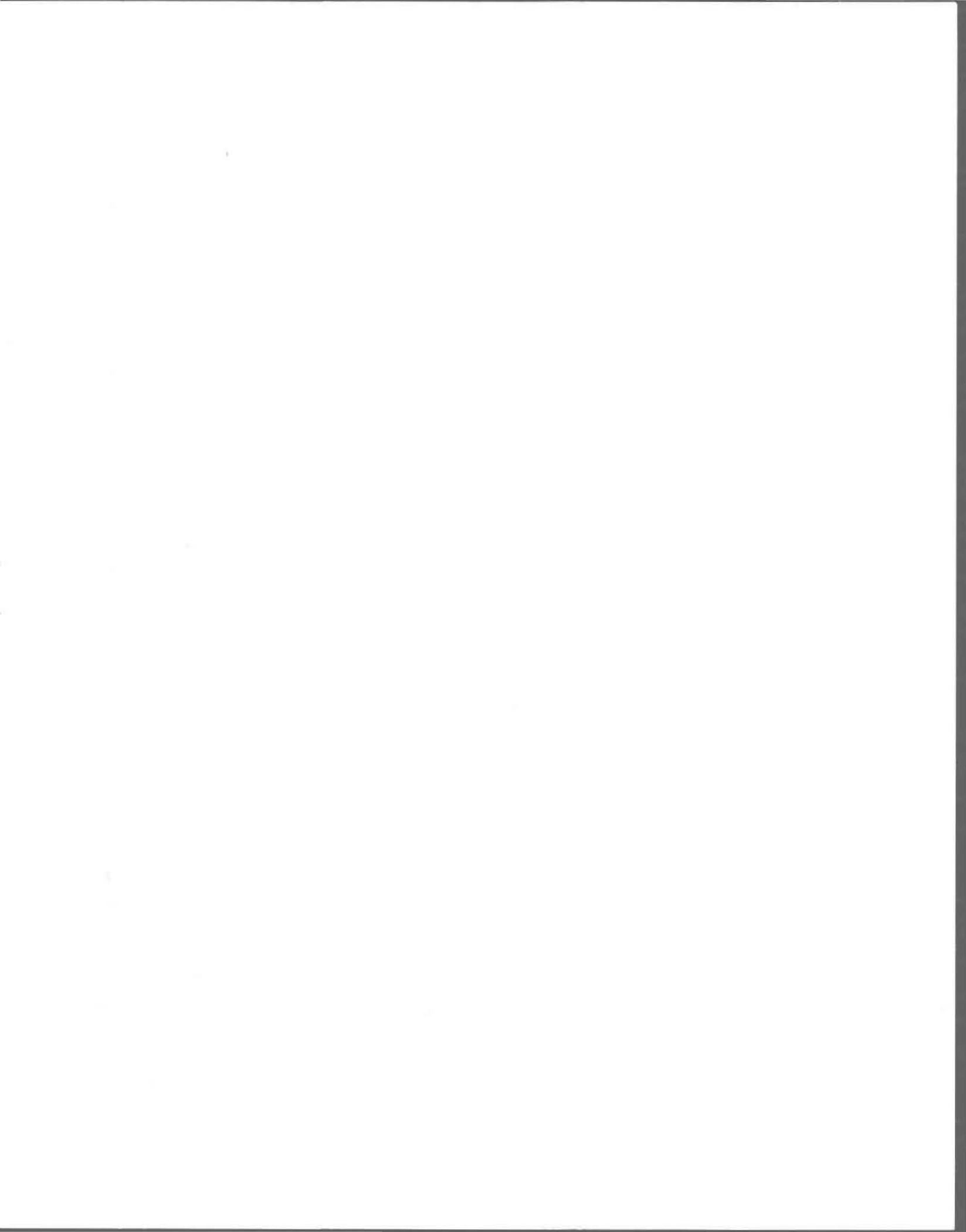
Qu'il me soit permis de remercier monsieur Jean-Pierre Fortin, professeur à INRS-Eau ainsi que monsieur Ghislain Jacques, chef de service à la Direction de la météorologie du ministère de l'Environnement du Québec qui ont dirigé conjointement ma recherche. Leurs conseils nombreux et constants m'ont été d'un précieux concours. Je tiens à leur témoigner ma reconnaissance pour l'enthousiasme et la disponibilité manifestés tout au long de cette étude.

Je tiens à remercier spécialement monsieur Cameron Dalsto, qui au cours de mon stage à la Direction de la météorologie du Québec, s'est occupé de concevoir les programmes d'informatique demandant l'utilisation du logiciel SAS.

Mes remerciements vont également à messieurs Rémi Lessard et André Parent qui ont travaillé à l'élaboration respective des cartes et des figures de la présente étude.

J'adresse un merci tout particulier à madame Elaine Parent pour le travail soigné de dactylographie.

Enfin, mes sincères remerciements à tous ceux qui de près et de loin ont permis la réalisation de ce travail.



## SOMMAIRE

Le phénomène des précipitations est extrêmement complexe et les informations concernant le régime pluviométrique du Québec, qu'il est possible de tirer d'atlas climatologiques ne sont pas suffisantes pour répondre adéquatement au besoin de la recherche touchant les phénomènes hydrologiques et le problème des pluies acides, pour ne nommer que ces deux domaines. Dans l'évolution actuelle de la recherche liée au cycle de l'eau, les études pluviométriques se veulent de plus en plus précises à l'échelle régionale et de plus, doivent correspondre à un pas de temps plus adéquat, c'est-à-dire l'heure et non seulement au niveau journalier ou mensuel. Cette première étude des précipitations horaires à l'échelle du Québec méridional, vient donc compléter et préciser la connaissance des variations spatiales et temporelles de la pluviométrie pour les mois de mai à octobre. En plus de constituer une ouverture vers une intégration meilleure et rapide de l'information pluviométrique horaire, elle apporte au niveau de la climatologie, une meilleure compréhension de l'évolution dynamique, spatiale et temporelle des précipitations au Québec. Cette analyse traite de deux thèmes principaux soit l'analyse proprement dite des précipitations horaires et celle des épisodes pluvieux.

Dans un premier temps, l'ajustement statistique aux hauteurs mensuelles de précipitations horaires de certaines des lois dérivées de la loi gamma, démontre que la loi gamma à deux paramètres est la plus apte à représenter l'ensemble des distributions mensuelles. Pour 10 stations pluviographiques jugées représentatives du Québec méridional, la répartition des contributions mensuelles en pourcentage de la pluie saisonnière et les fréquences de pluie horaire sont présentées. Les résultats démontrent la tendance générale à l'augmentation des valeurs du pourcentage de la pluie saisonnière de mai à juillet suivie d'une diminution de ces valeurs jusqu'en octobre. Les schémas mensuels des fréquences de précipitations horaires varient généralement de façon inverse aux pourcentages; les fréquences sont élevées au mois

de mai et décroissent jusqu'en juillet pour ensuite subir une nouvelle augmentation d'août à octobre. Pour 70 stations pluviographiques du Québec méridional, les cartes mensuelles (mai à octobre) du taux moyen horaire de précipitations et des fréquences des précipitations horaires sont présentées. Les fluctuations saisonnières du taux moyen horaire et des fréquences de précipitations ont respectivement les mêmes tendances mensuelles que le pourcentage de la pluie saisonnière et des fréquences des précipitations horaires. Différents facteurs physiographiques et météorologiques influençant les variations spatiales des deux paramètres pluviométriques cartographiés ont été mis en évidence à partir de l'interprétation des cartes. Ainsi, la valeur du taux moyen horaire de pluie semble fortement liée l'été, à la température maximale moyenne mensuelle choisie comme indice de l'effet convectif. Par contre, la fréquence des précipitations horaires semble surtout influencée par la position en latitude et en altitude de chaque station. L'étude des répartitions horaires des fréquences moyennes des précipitations pour trois stations continentales et une station côtière du Québec, a révélé des fréquences maximales de pluie durant la nuit à la station côtière, tandis que les stations continentales présentent généralement des maxima en fin d'après-midi et en fin de soirée. Le test de Student portant sur l'égalité des valeurs minimales et maximales des répartitions horaires du nombre moyen d'occurrences de pluie mesurable a été utilisé dans le but de déterminer s'il existe un cycle diurne de la pluie.

En dernier lieu, on a procédé à l'analyse des épisodes pluvieux à 10 stations sélectionnées. Cette analyse porte sur les répartitions mensuelles des fréquences, les intensités moyennes et les durées ainsi que les distributions mensuelles des fréquences de différentes classes de durées et d'intensités moyennes. Les contributions de la pluie mensuelle totale de chacune des classes de durée d'épisodes pluvieux sont présentées dans cette section. Ce dernier chapitre a permis de constater les variations spatiales et saisonnières des différents types d'épisodes pluvieux au Québec méridional.

## TABLE DES MATIERES

	<u>Page</u>
REMERCIEMENTS .....	i
SOMMAIRE .....	iii
TABLE DES MATIERES .....	v
LISTE DES TABLEAUX .....	ix
LISTE DES FIGURES .....	xiii
LISTE DES CARTES .....	xvii
1. INTRODUCTION A L'ETUDE DES PRECIPITATIONS HORAIRES AU QUEBEC MÉRIDIONAL .....	 1
1.1 Introduction .....	3
1.2 Bref aperçu du régime pluviométrique du Québec méridional ..	7
1.3 Revue de littérature sur les précipitations horaires .....	10
1.4 Réseau pluviographique du Québec méridional .....	14
1.5 Source, précision et traitement informatique des données ...	17
2. ANALYSE DES PRECIPITATIONS HORAIRES .....	21
2.1 Ajustement statistique de la distribution mensuelle des précipitations horaires .....	 23
2.1.1 Distribution mensuelle des précipitations horaires à la station Montréal-International-A .....	 23
2.1.2 Ajustement des précipitations horaires par des lois statistiques .....	 28
2.1.3 Description des lois statistiques utilisées .....	29

	<u>Page</u>
2.1.4 Résultats de l'application des méthodes d'ajustement pour la station Montréal-International-A (mois: mai et juillet) .....	35
2.1.5 Application des méthodes d'ajustement à la station Lennoxville-CDA et Val-d'Or-A .....	44
2.2 Répartition mensuelle de la pluie saisonnière et des fréquences des précipitations horaires .....	51
2.2.1 Quelques précisions sur les données utilisées .....	52
2.2.2 Répartition mensuelle des précipitations en pourcentage de la pluie saisonnière .....	53
2.2.3 Répartition mensuelle des fréquences relatives des précipitations horaires .....	58
2.2.4 Comparaison entre les répartitions mensuelles de la pluie saisonnière et de la fréquence des précipitations horaires .....	62
2.2.5 Répartition des classes de hauteur de précipitations horaires .....	63
2.3 Taux moyen horaire et fréquences des précipitations horaires pour les mois de mai à octobre sur le Québec méridional ....	65
2.3.1 Données utilisées .....	66
2.3.2 Taux moyen horaire sur la base mensuelle .....	67
2.3.3 Fréquence des précipitations horaires sur la base mensuelle .....	79
2.4 La répartition horaire des fréquences de précipitations pour quatre stations du Québec méridional .....	94

	<u>Page</u>
2.4.1 La répartition horaire des précipitations .....	94
2.4.2 Méthode d'analyse des répartitions horaires des fréquences de précipitations: application à la station Montréal-International-A .....	96
2.4.3 Application de la méthode à trois autres stations pluviographiques du Québec méridional .....	106
2.4.4 Comparaison entre les répartitions horaires et les résultats du test de Student aux quatre stations pluviographiques analysées .....	114
 3. LES EPISODES PLUVIEUX .....	 119
3.1 Caractéristiques saisonnières des fréquences, durées et intensités des épisodes pluvieux à dix stations pluviographiques du Québec méridional .....	121
3.2 Distribution mensuelle des fréquences, durées et intensités moyennes des épisodes pluvieux .....	124
3.3 Distributions mensuelles des fréquences des durées et intensités des épisodes pluvieux .....	133
3.4 Distribution mensuelle de la contribution à la pluie totale des épisodes pluvieux en fonction de leur durée .....	140
 4. CONCLUSION .....	 149
 REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES .....	 155
 ANNEXE A Inventaires des stations pluviographiques de la banque de données des précipitations horaires (Québec, 1980) .....	 163

	<u>Page</u>
ANNEXE B L'effet de conversion au système international sur les données de pluie horaire .....	171
ANNEXE C Les valeurs des erreurs absolues résultant des ajustements statistiques .....	181
ANNEXE D Pourcentages mensuels des données manquantes aux stations sélectionnées pour l'étude des précipitations horaires .....	185
ANNEXE E Analyse des matrices de corrélation entre les variables explicatives du taux moyen et de la fréquence des précipitations horaires pour les mois de mai à octobre .....	189
ANNEXE F Distribution mensuelle des fréquences des durées et des intensités moyennes des épisodes pluvieux ainsi que celle de la contribution à la pluie totale des épisodes pluvieux en fonction de leur durée, à sept stations pluviographiques du Québec méridional .....	195

## LISTE DES TABLEAUX

		<u>Page</u>
Tableau 2.1	Statistiques mensuelles sur les hauteurs de précipitations horaires à la station Montréal-International-A (1961-1980) .....	26
Tableau 2.2	Relations entre les moments de la population et les paramètres des lois statistiques .....	31
Tableau 2.3	Valeurs estimées des paramètres des lois statistiques et des moments à partir des échantillons des mois de mai et juillet, à la station Montréal-International-A (1961-1980) .....	37
Tableau 2.4	Statistiques sur les hauteurs de précipitations horaires aux stations Lennoxville-CDA et Val-d'Or-A, pour les mois de mai et juillet (1961-1980) .....	45
Tableau 2.5	Valeurs estimées des paramètres des lois statistiques et des moments à partir des échantillons de mai et juillet (1961-1980) .....	47
Tableau 2.6	Fréquences relatives des différentes classes de hauteur de précipitations horaires au Québec méridional (1966-1980) .....	64
Tableau 2.7	Statistiques mensuelles sur le taux moyen horaire des précipitations à la station Val-d'Or-A (1966-1980) .....	75

	<u>Page</u>
Tableau 2.8 Coefficients de corrélation entre le taux mensuel moyen horaire des précipitations et différentes variables météorologiques et physiographiques .....	78
Tableau 2.9 Statistiques mensuelles sur les fréquences des précipitations horaires à la station Val-d'Or-A (1966-1980) .....	87
Tableau 2.10 Les coefficients de corrélation entre la fréquence mensuelle moyenne des précipitations horaires et diverses variables explicatives (1966-1980) .....	92
Tableau 2.11 Résultats du test de Student portant sur l'égalité des valeurs maximales (MAX) et minimales (MIN) d'occurrences moyennes de précipitations horaires pour les mois de mai à octobre, à la station Montréal-International-A (1966-1980) .....	107
Tableau 2.12 Résultats du test de Student portant sur l'égalité des valeurs maximales (MAX) et minimales (MIN) d'occurrences moyennes de précipitations horaires pour les mois de mai à octobre, à trois stations pluviographiques du Québec méridional (1966-1980) .....	112
Tableau 3.1 Distribution mensuelle des fréquences des durées d'épisodes pluvieux .....	135
Tableau 3.2 Distribution mensuelle des fréquences des intensités moyennes d'épisodes pluvieux .....	137

	<u>Page</u>
Tableau 3.3	Distribution mensuelle de la contribution à la pluie totale des épisodes pluvieux en fonction de leur durée ..... 142
Tableau A.1	Inventaire des stations pluviographiques contenues dans la banque de données (Québec, 1980) ..... 165
Tableau B.1	Types d'intervalles choisis pour le classement des hauteurs de précipitations horaires en fonction de différentes périodes d'observations ..... 176
Tableau C.1	Valeurs des erreurs absolues résultant des ajustements des précipitations horaires par les lois statistiques dérivées de la loi gamma à la station Montréal-International-A (1961-1980) ..... 183
Tableau C.2	Valeurs des erreurs absolues résultant des ajustements des précipitations horaires par les lois statistiques dérivées de la loi gamma aux stations Lennoxville-CDA et Val-d'Or-A (1961-1980) ..... 184
Tableau D.1	Pourcentages mensuels des données manquantes aux stations sélectionnées pour l'étude (1966-1980) ..... 187
Tableau E.1	Matrices des coefficients de corrélation entre les variables explicatives du taux moyen et de la fréquence des précipitations horaires pour le mois de mai à octobre ..... 193

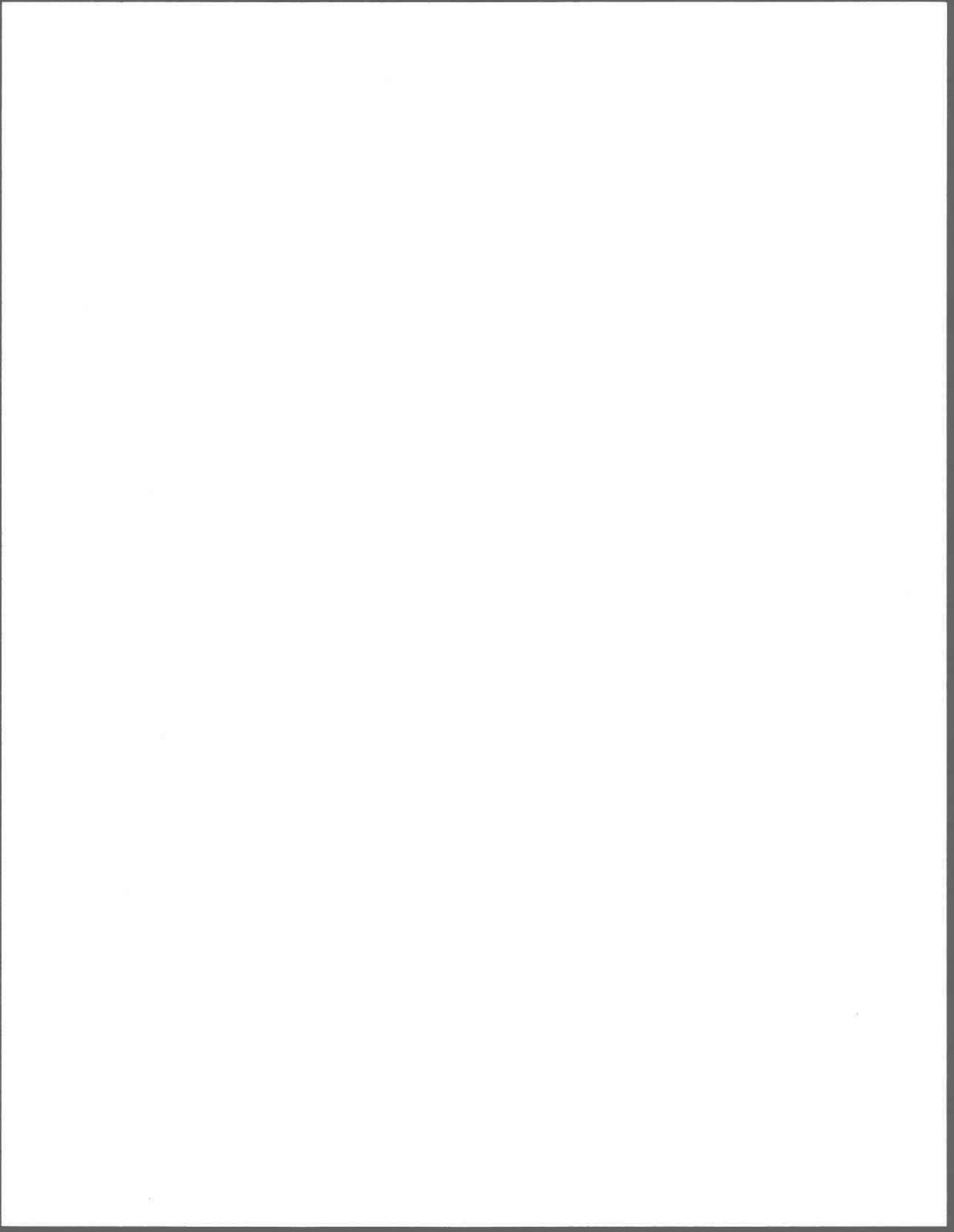
	<u>Page</u>
Tableau F.1 Distribution mensuelle des fréquences des durées d'épisodes pluvieux .....	197
Tableau F.2 Distribution mensuelle des fréquences des intensités moyennes d'épisodes pluvieux .....	200
Tableau F.3 Distribution mensuelle de la contribution à la pluie totale des épisodes pluvieux en fonction de leur durée .....	203

## LISTE DES FIGURES

		<u>Page</u>
Figure 1.1	Nombre et pourcentage de pluviographes au Québec ayant une durée d'observation (en 1980) égale ou supérieure au nombre d'années indiquées .....	15
Figure 1.2	Nombre et pourcentage de stations pluviographiques au Québec (en 1980) situées à une altitude égale ou supérieure au nombre de mètres indiqués .....	16
Figure 2.1	Histogrammes des fréquences relatives cumulées des hauteurs de précipitations horaires pour les mois de mai à octobre, à la station Montréal-International-A (1961-1980) .....	25
Figure 2.2	Ajustements de lois statistiques aux fréquences relatives cumulées des hauteurs de précipitations horaires de mai (échelle de gauche) et erreurs d'ajustements associées (échelle de droite) à la station Montréal-International-A (1961-1980) .....	38
Figure 2.3	Ajustements de lois statistiques aux fréquences relatives cumulées des hauteurs de précipitations horaires de juillet (échelle de gauche) et erreurs d'ajustements associées (échelle de droite) à la station Montréal-International-A (1961-1980) .....	39

	<u>Page</u>
Figure 2.4	Ajustements de lois statistiques aux fréquences relatives cumulées des hauteurs de précipitations horaires (échelle de gauche) et erreurs d'ajustements associées (échelle de droite) à la station Lennoxville-CDA (1961-1980) ..... 48
Figure 2.5	Ajustements de lois statistiques aux fréquences relatives cumulées des hauteurs de précipitations horaires (échelle de gauche) et erreurs d'ajustements associées (échelle de droite) à la station Val-d'Or-A (1961-1980) ..... 49
Figure 2.6	Répartition horaire du nombre moyen d'occurrences de précipitations mesurables à la station Montréal-International-A (1966-1980) ..... 99
Figure 2.7	Répartition horaire du nombre moyen d'occurrences de précipitations mesurables à la station Bagotville-A (1966-1980) ..... 109
Figure 2.8	Répartition horaire du nombre moyen d'occurrences de précipitations mesurables à la station Natashquan-A (1969-1980) ..... 110
Figure 2.9	Répartition horaire du nombre moyen d'occurrences de précipitations mesurables à la station Val-d'Or-A (1966-1980) ..... 111
Figure 2.10	Distribution des précipitations horaires par rapport à une loi uniforme ..... 115

Figure B.1    Histogrammes des fréquences relatives des hauteurs  
de précipitations horaires pour la période de mai à  
octobre, à la station Québec-A ..... 178

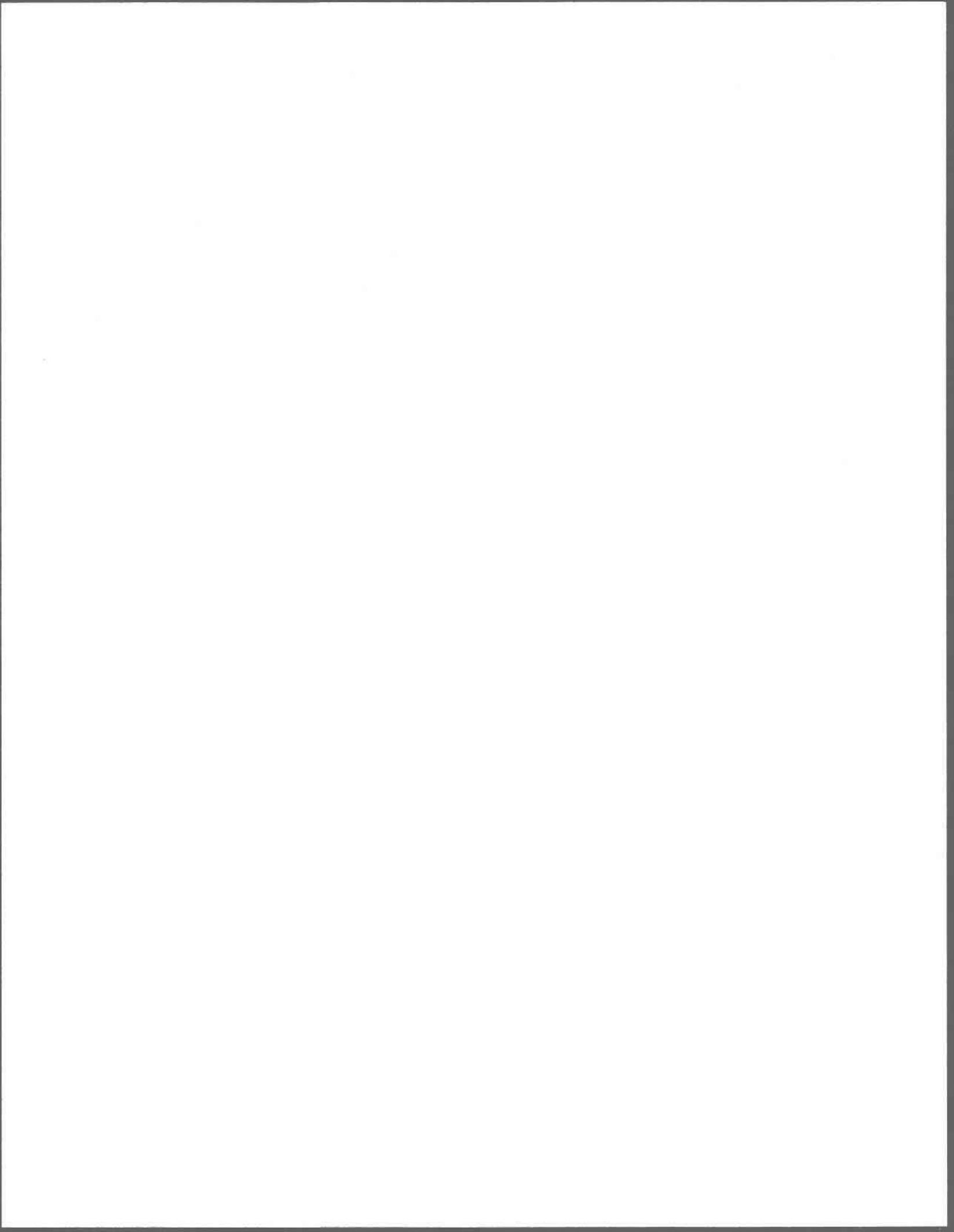


## LISTE DES CARTES

		<u>Page</u>
Carte 1.1	Réseau pluviographique utilisé pour l'étude des précipitations horaires (Québec méridional, 1966-1980) .	18
Carte 2.1	Répartition mensuelle des précipitations en pourcentage de la pluie saisonnière au Québec méridional (mai à octobre, 1966-1980) .....	55
Carte 2.2	Régime des précipitations aux Etats-Unis et au Canada ..	57
Carte 2.3	Répartition mensuelle des fréquences relatives des précipitations horaires au Québec méridional (mai à octobre, 1966-1980) .....	61
Carte 2.4	Taux moyen horaire des précipitations au Québec méridional (mai, 1966-1980) .....	69
Carte 2.5	Taux moyen horaire des précipitations au Québec méridional (juin, 1966-1980) .....	70
Carte 2.6	Taux moyen horaire des précipitations au Québec méridional (juillet, 1966-1980) .....	71
Carte 2.7	Taux moyen horaire des précipitations au Québec méridional (août, 1966-1980) .....	72
Carte 2.8	Taux moyen horaire des précipitations au Québec méridional (septembre, 1966-1980) .....	73

	<u>Page</u>
Carte 2.9	Taux moyen horaire des précipitations au Québec méridional (octobre, 1966-1980) ..... 74
Carte 2.10	Fréquences moyennes des précipitations horaires au Québec méridional (mai, 1966-1980) ..... 81
Carte 2.11	Fréquences moyennes des précipitations horaires au Québec méridional (juin, 1966-1980) ..... 82
Carte 2.12	Fréquences moyennes des précipitations horaires au Québec méridional (juillet, 1966-1980) ..... 83
Carte 2.13	Fréquences moyennes des précipitations horaires au Québec méridional (août, 1966-1980) ..... 84
Carte 2.14	Fréquences moyennes des précipitation horaires au Québec méridional (septembre, 1966-1980) ..... 85
Carte 2.15	Fréquences moyennes des précipitations horaires au Québec méridional (octobre, 1966-1980) ..... 86
Carte 2.16	Moyennes des précipitations totales au Québec méridional (mai, 1951-1980) ..... 90
Carte 3.1	Répartition mensuelle des fréquences relatives des épisodes pluvieux au Québec méridional (mai à octobre, 1966-1980) ..... 125

	<u>Page</u>
Carte 3.2	Répartition mensuelle des durées moyennes des épisodes pluvieux au Québec méridional (mai à octobre, 1966-1980) ..... 129
Carte 3.3	Répartition mensuelle des intensités moyennes des épisodes pluvieux au Québec méridional (mai à octobre, 1966-1980) ..... 130
Carte 3.4	Cycle saisonnier des intensités moyennes et des durées moyennes des épisodes pluvieux au Québec méridional (mai à octobre, 1966-1980) ..... 132



## CHAPITRE 1

### INTRODUCTION A L'ETUDE DES PRECIPITATIONS HORAIRES AU QUEBEC MERIDIONAL



# 1. INTRODUCTION A L'ETUDE DES PRECIPITATIONS HORAIRES AU QUEBEC MERIDIONAL

## 1.1 Introduction

L'eau, présente sous différentes formes dans l'environnement terrestre, constitue l'élément principal du cycle hydrologique. L'évolution de l'eau dans l'atmosphère et dans un lieu donné s'opère suivant divers processus tels que les précipitations, l'évaporation, l'infiltration et le ruissellement. Selon Debski (1966), la composante principale du cycle hydrologique est celle qui apparaît comme étant la somme des autres composantes et par conséquent, varie avec l'espace géographique sur lequel on dresse le bilan hydrologique. Dans le cas des continents, on retrouve comme composante principale, les précipitations. En effet, celle-ci équivaut à la somme de l'évaporation, de l'infiltration et du ruissellement continentaux. Ce n'est cependant pas le cas pour l'océan, où l'évaporation est le facteur dominant car son volume équilibre celui de la précipitation, du ruissellement et de l'infiltration.

Divers problèmes en hydrologie tels que l'estimation des débits de crue, le contrôle des réserves d'eau, l'évaluation des eaux du ruissellement, reliés tant au développement urbain, industriel, agricole que touristique, demandent une étude quantitative des variations spatiales et temporelles des précipitations. Au Québec, différents aspects généraux du régime pluviométrique, tels que les précipitations moyennes mensuelles et annuelles, sont déjà connus grâce à l'atlas climatologique de Houde (1978) et à l'étude de Proulx (1984) sur les précipitations et températures. Par contre, suivant l'évolution actuelle de la recherche liée au cycle de l'eau, les études pluviométriques doivent être de plus en plus précises à l'échelle régionale et selon un pas de temps plus fin c'est-à-dire l'heure et non seulement au niveau journalier ou mensuel. De plus, comme les précipitations durant la période estivale se produisent généralement sous forme d'averses, une analyse au niveau horaire est plus appropriée et permet de mieux décrire les caractéristiques réelles des précipitations qu'une analyse

au niveau journalier. La Direction de la météorologie du Québec fait la collecte de données de précipitation horaire depuis plus de vingt ans. Les hauteurs de précipitation horaires sont mesurées à l'aide du pluviographe à augets basculeurs et ce, pour environ 180 stations météorologiques distribuées à travers tout le Québec. La période de fonctionnement du pluviographe va généralement du 1er mai au 31 octobre.

Dans le but de fournir aux scientifiques et aux personnes intéressées une documentation climatologique beaucoup plus approfondie dans le domaine des précipitations, cette thèse a pour objet l'étude fondamentale des précipitations horaires au Québec méridional. Elle est avant tout une étude de climatologie quantitative et permet de vérifier les hypothèses offertes par la climatologie physique. En effet, pour comprendre les mécanismes physiques qui régissent le temps et les précipitations, le climatologue doit posséder une bonne connaissance de la statistique. La problématique majeure en ce qui concerne l'utilisation des données de pluie horaires réside dans la multitude de données à dépouiller et conséquemment, dans la recherche, la mise en forme et la critique de ces données pour une région spécifique. Cette étude étant la première à l'échelle du Québec méridional, elle ne peut cependant répondre à tous les besoins des utilisateurs de telles données. Cependant l'utilité directe des divers regroupements comme, par exemple en taux moyen horaire ou fréquence mensuelle des précipitations horaires, aura l'avantage de faire apparaître les diversités régionales pour les mois de mai à octobre. Les répartitions mensuelles ou journalières de plusieurs caractéristiques des précipitations horaires peuvent être étudiées. Dans le cadre de cette étude, les caractéristiques ont été choisies dans le but de répondre à ces trois critères c'est-à-dire définir la fréquence des pluies horaires, quantifier la hauteur de pluie tombée pour ce type de précipitations et connaître avec quelle fréquence une certaine quantité de pluie est susceptible de se produire.

Dans le cadre de cette thèse, l'emphase n'est pas seulement mise sur un aspect particulier des précipitations horaires comme l'analyse des pluies horaires à une station spécifique (Gagnon, 1969) ou l'analyse des extrêmes

(Gagnon et al., 1970; Gagnon et Ferland, 1974). En fait, pour l'ensemble du Québec méridional, deux thèmes principaux sont développés soit l'analyse proprement dite des pluies horaires (chapitre 2) et celle des épisodes pluvieux (chapitre 3). Dans le texte qui suit, les pluies horaires archivées, correspondent à la hauteur totale de précipitations mesurables<sup>1</sup> enregistrées par le pluviographe, à l'intérieur de chaque heure civile. D'autre part, un épisode pluvieux est défini comme une séquence de précipitations horaires consécutives.

A l'intérieur du premier chapitre, il sera question des caractéristiques générales du régime pluviométrique au Québec méridional tel qu'il est connu jusqu'à présent. Une revue des différents auteurs ayant traité des précipitations horaires, dresse le bilan de ce qui s'est fait dans le domaine. Pour terminer ce chapitre, on énumère les différentes caractéristiques du réseau pluviographique du Québec, des données de pluie horaires et de leur traitement informatique.

Dans la première section du chapitre 2, les distributions des hauteurs de pluie horaires au niveau mensuel sont analysées. Etant donné que ces distributions sont similaires pour l'ensemble des stations. La présentation de ces distributions est limitée à trois stations; ces dernières présentent l'avantage d'avoir vingt ans d'observations. La majorité des études utilisant les pluies horaires consiste à modéliser les distributions des hauteurs de pluie horaire suivant diverses lois statistiques; ces modèles ont souvent trouvé leur application dans plusieurs études hydrologiques. Dans le cadre des études hydrologiques, on s'intéresse davantage à la modélisation des extrêmes de précipitations. S'inspirant de ces modèles, mais adoptant une approche plus climatologique, on recherche

---

<sup>1</sup> Précipitations mesurables: volume d'eau minimal pouvant être mesuré par le pluviographe à augets basculeurs, c'est-à-dire 0,2 mm.

parmi certaines lois dérivées de la loi gamma celle qui épouse le mieux l'ensemble de chaque distribution mensuelle.

La deuxième section est consacrée à l'analyse des répartitions mensuelles des précipitations horaires à 10 stations pluviographiques, sous deux aspects, soit en termes de pourcentage de la pluie saisonnière, soit en termes de fréquence. Ces répartitions nous renseignent sur le régime saisonnier des précipitations horaires à ces 10 stations. Les 10 stations ont été choisies pour représenter chaque région climatologique du Québec méridional.

Dans la troisième section, on retrouve pour une soixantaine de stations sélectionnées, la cartographie des valeurs mensuelles du taux moyen horaire des précipitations ainsi que de la fréquence des précipitations horaires. Pour la présentation des valeurs mensuelles du taux horaire moyen et des fréquences de pluie horaires, on aurait pu se limiter aux 10 stations étudiées à la section 2.1. Cependant, l'utilisation d'un plus grand nombre de stations permet de faire une analyse plus détaillée du régime des précipitations horaires. Cette section vient donc compléter l'information tirée de la section 2.1 et permet de mieux comprendre les phénomènes régissant les variations spatio-temporelles des pluies horaires. Des variables telles que la température maximale moyenne, l'altitude, la longitude et la latitude sont utilisées pour l'analyse des valeurs mensuelles des deux paramètres cartographiés à l'aide de coefficients de corrélation entre l'ensemble des variables. En réalité, les valeurs des coefficients veulent quantifier l'importance de l'influence mensuelle de ces variables sur les valeurs du taux moyen horaire et de la fréquence des précipitations. La dernière section du chapitre sur les données horaires de pluie, traite de la répartition horaire du nombre moyen d'occurrences de précipitations mesurables. Les répartitions horaires des fréquences de pluie pour des stations continentales montrent des patrons similaires, cependant les stations côtières semblent présenter des fluctuations journalières différentes. Quatre

stations, dont une côtière, situées à des latitudes différentes ont donc été choisies. Le but de cette section est de déterminer à l'intérieur de chaque répartition horaire de ces quatre stations pluviographiques, s'il existe, au cours de la journée et de façon significative, des heures préférentiellement pluvieuses. Pour ce faire, on utilisera le test de Student, portant sur l'égalité de la valeur maximale et minimale du nombre moyen d'occurrences de pluie mesurable sur chacune des répartitions horaires.

Le troisième chapitre est consacré à l'analyse des épisodes pluvieux à 10 stations pluviographiques réparties sur le Québec méridional. Les trois premières sections comportent un examen des répartitions mensuelles des fréquences, des durées et des intensités moyennes des épisodes pluvieux aux stations sélectionnées. Par la suite, l'étude des distributions mensuelles des fréquences relatives de diverses classes de durée et d'intensité moyenne des épisodes pluvieux, devrait permettre la connaissance des différents types de précipitations prévalant dans diverses régions du Québec. Enfin, la dernière section nous indique les contributions des épisodes pluvieux de diverses classes de durée à la pluie mensuelle totale.

Par son caractère général et ses objectifs, la présente étude peut être qualifiée d'innovatrice dans le domaine de la climatologie au Québec. Jusqu'à présent, en effet, très peu d'études climatologiques portant sur la pluviométrie horaire au Québec ont été réalisées, comme on le verra plus loin.

## 1.2 Bref aperçu du régime pluviométrique du Québec méridional

Il est utile tout d'abord de présenter une description des caractéristiques générales et des facteurs dominants qui régissent le processus pluviométrique du Québec méridional. On s'attardera surtout au régime pluviométrique estival, plus précisément à celui des mois de mai à octobre, mois pour lesquels les pluies sont mesurées sur une base horaire.

Les précipitations demeurent l'une des composantes climatiques importantes lors de la détermination du type de climat d'une région donnée. Dans

une étude du climat du Québec méridional, Villeneuve (1959) qualifie celui-ci de tempéré. Cependant, même si l'ensemble de la zone appartient à un climat tempéré de type continental, on retrouve pour l'estuaire, le golfe du Saint-Laurent et leur bordure, un climat tempéré de type maritime. A cause de la grande superficie du Québec méridional (859 615 km<sup>2</sup>)<sup>1</sup>, diverses régions possèdent des variations climatiques attribuables à leurs caractéristiques physiographiques, à leurs sites tantôt continentaux, tantôt à proximité des masses d'eau et à l'influence de la circulation atmosphérique.

La répartition spatiale des précipitations au Québec selon Wilson (1973) est le reflet du relief. De façon plus spécifique, Hufty (1976) affirme qu'en général, les pluies de fronts chauds sont assez régulièrement distribuées et augmentent avec le relief. Par contre, il précise que la répartition des averses est beaucoup plus aléatoire. Suite à l'analyse des cartes de précipitations mensuelles moyennes, Houde (1978) soutient que les facteurs régissant la répartition mensuelle des précipitations sont: la trajectoire des dépressions, la proximité des sources d'humidité et l'orientation du relief. Les valeurs pluviométriques les plus élevées sont enregistrées en été, au sud du Québec méridional. De façon générale, les précipitations diminuent du sud au nord.

La répartition des précipitations est expliquée en grande partie par le mouvement des masses d'air, leur cheminement et leur origine. La circulation atmosphérique traverse le Canada d'ouest en est. A cause du relief assez modéré du Québec méridional, les masses d'air circulent librement. Selon Llamas (1974), des barrières physiographiques telles que le Bouclier canadien et les Appalaches ne sont pas suffisantes pour modifier la direction ou les caractéristiques internes des masses d'air. La rencontre quelquefois brutale de masses d'air différentes au-dessus du Québec, est une des caractéristiques de son climat. Les masses d'air froid et sec provenant du nord et de l'ouest, sont souvent confrontées aux masses d'air tropical chaud

---

<sup>1</sup> La superficie est mesurée à partir des neuf régions administratives au Québec, situées au sud du 52° de latitude nord.

et humide venant du sud-ouest. Selon Wilson (1973), cette conjoncture synoptique envahissant l'est du Canada provoque des précipitations intenses en été. Les masses d'air se déplacent selon les saisons; les régions de latitudes moyennes, comme le Québec méridional, subissent de grands contrastes annuels. On attribue ces contrastes surtout à la migration estivale vers le nord, des trajectoires suivies par les dépressions atmosphériques. L'été, le réchauffement de l'air et du sol grâce à un degré d'ensoleillement plus élevé, incite le retrait des masses d'air froid vers le nord. Les régions telles que l'Abitibi, le Haut Saint-Laurent et le lac Saint-Jean sont donc plus rapprochées des centres dépressionnaires que peuvent l'être les régions du sud du Québec, au cours de la saison estivale.

L'altitude est une caractéristique physique qui n'est pas à négliger quant à son effet sur les précipitations. La montée des masses d'air humide des basses couches atmosphériques le long des versants redressés des montagnes, peut donner lieu à des pluies orographiques. Ces effets seront d'autant plus importants que le relief sera accentué. Houde (1978) constate ce phénomène dans les zones de haute altitude telles que les Chic-chocs, le sud de la colline Mistassini, les Appalaches à l'est de Sherbrooke et le parc des Laurentides. Cet auteur affirme aussi que les précipitations moyennes mensuelles augmentent approximativement de 10 mm par 150 mètres d'élévation. Le versant d'un relief prononcé qui est exposé aux vents, est généralement plus arrosé que le versant sous le vent où il existe des zones de subsidences moins pluvieuses. En prenant comme acquis qu'au Québec méridional, les vents dominants viennent de l'ouest, Houde (1978) mentionne, dans son étude, quelques zones où les versants sous le vent entraîneraient une diminution des précipitations. Ces régions sont situées à l'est du parc des Laurentides, au nord-est du massif gaspésien et dans piedmont québécois des Montagnes Blanches.

Les grandes masses d'eau entourant le Québec méridional tels le golfe du Saint-Laurent et la Baie James ont une influence sur les pluies des régions côtières. Les stations météorologiques côtières ont leurs précipitations moyennes mensuelles maximales en automne (Houde, 1978). On peut

expliquer ce phénomène grâce à l'interaction continent-océan qui s'exerce au cours de l'année. En effet, à l'automne lorsque l'air maritime doux et humide pénètre sur le continent plus froid, il se refroidit rapidement favorisant ainsi la condensation; les précipitations y sont donc plus propices. D'après Paul (1973), les conditions automnales favorisent au-dessus des masses d'eau, une instabilité accrue des masses d'air par la base. Pour les mois de juin à septembre, la situation inverse se produit; l'air au-dessus du golfe est plus frais que celui du continent, ce qui entraîne une stabilisation des masses d'air. Cette stabilisation tend à diminuer les précipitations sur le littoral. Cependant, Wilson (1973) écrit que les masses d'air chaud venant du sud-ouest en été, se refroidissent au-dessus du golfe plus froid et peuvent entraîner un temps froid accompagné de brouillard et de nuages sur les côtes.

Cet effet maritime sur les précipitations différencie les stations côtières des stations continentales. Pour la majorité des stations du sud du Québec, les valeurs pluviométriques les plus fortes se produisent généralement en été. Pour cette période, le sol chaud du continent chauffe la masse d'air par la base, ce qui favorise les mouvements convectifs et les pluies d'averses ou d'orages.

### 1.3 Revue de littérature sur les précipitations horaires

En climatologie, l'utilisation des données de précipitations horaires est peu commune; la multitude de données à traiter est une des raisons majeures. Comme l'écrit Haines (1973), la quantité de données horaires est tellement importante, qu'il faut absolument trouver une manière de retirer l'information voulue en convertissant les données. Dans son étude, il convertit ces données de base en précipitations horaires moyennes par jour et par mois. Par la suite, ces variables sont cartographiées et donnent un indice de la répartition pluviométrique mensuelle sur l'est des Etats-Unis. Enfin, l'ajustement d'une loi gamma à deux paramètres à la distribution empirique des précipitations horaires moyennes par jour, pour onze stations, a donné de bons résultats.

La modélisation des différents phénomènes hydrologiques s'est accrue depuis les dernières décennies. La représentation mathématique des paramètres pluviométriques, fait partie intégrante de ces modèles. Eagleson (1972) et Howard (1976) ont étudié particulièrement la distribution des hauteurs de pluie horaire. Cette distribution, d'après les résultats de leurs études, peut être représentée par la loi exponentielle. Pour la région de Montréal, Nguyen (1982), Nguyen et Rousselle (1981) et Nguyen et al. (1981) se servent de cette même hypothèse pour modéliser la répartition dans le temps et dans l'espace de la précipitation horaire.

Les distributions horaires des pluies ont quelques fois été analysées de façon ponctuelle, c'est-à-dire à une station spécifique. En effet, Thomas (1962) a étudié les variations horaires des pluies pour différents seuils d'intensités sur la ville de Toronto. Il observe en été, des fréquences maximales de précipitations horaires en fin d'après-midi. A la station pluviographique de l'Assomption (Québec), Gagnon (1969) a démontré la similarité existante entre les patrons horaires des fréquences et celui des hauteurs de pluie mesurable. Il a de plus traité de la répartition horaire de l'intensité horaire moyenne. Cet auteur constate que les pluies diurnes sont plus intenses que les pluies nocturnes, cependant, ces dernières se revèlent plus fréquentes.

Masson (1980) a fait l'analyse d'une longue série pluviographique à la station de Montpellier-Bel Air (France). En utilisant le test d'adéquation du chi-deux entre la loi uniforme et la répartition horaire des fréquences des précipitations, il conclut qu'il n'existe pas de cycle diurne pour les fréquences. De plus, Masson démontre que la loi exponentielle ne convient pas à l'ajustement des hauteurs de pluie de 24 heures et que la loi gamma lui est préférable. Par contre, Lavabre (1980) a analysé la pluviométrie d'un bassin expérimental en France. Son étude des répartitions horaires des fréquences des précipitations par la méthode des composantes principales, a démontré l'existence d'un cycle diurne. Dans la même étude, il affirme d'après les résultats de trois répartitions horaires des fréquences de pluie de différentes intensités, que l'écart entre ces répar-

titions horaires et la distribution uniforme croît avec l'augmentation de l'intensité des pluies.

Une des rares publications se rapportant spécifiquement aux aspects régionaux de la pluviométrie horaire est celle de Huff (1971). Ce dernier, à partir des données de 30 stations pluviographiques de l'Illinois (Etats-Unis), a analysé pour les quatre saisons, les patrons horaires des fréquences, des intensités moyennes des pluies et celui des pourcentages de la pluie saisonnière. Cette étude lui a permis d'identifier des zones pluviométriques homogènes.

Dans l'ensemble, les chercheurs se servent des données de précipitations horaires pour connaître les traits essentiels de la pluviométrie dans le temps et dans l'espace pour une région donnée. Ces études pluviométriques permettent aux hydrologues, de raffiner les modèles pluie-débit et ainsi d'améliorer la prévision des écoulements. Elles sont utilisées souvent lors de la conception d'ouvrages de génie civil (Huff, 1971; Eagleson, 1972; Howard, 1976; Nguyen, 1982; Nguyen et Rousselle, 1981; Nguyen et al., 1981), mais s'avèrent aussi utiles dans beaucoup de domaines tels que l'agriculture, la sylviculture, la gestion des ressources en eau, la récréation et les loisirs, etc... Dans une perspective d'applications beaucoup plus large, l'étude des épisodes pluvieux, constitués à la base de données de précipitations horaires, apportent plus de précisions au point de vue durée et intensité des événements de pluies. Les épisodes pluvieux tout comme les précipitations horaires ont été surtout utilisés à des fins de modélisation des pluies. Les champs d'application cités dans la littérature, employant diverses caractéristiques des épisodes pluvieux, sont très variés.

Dans le cadre d'un modèle de ruissellement, Eagleson (1972) représente les distributions de fréquences des durées et intensités moyennes des épisodes pluvieux par une loi exponentielle. Dauphine (1976) présente une étude de climatologie inductive complète des précipitations dans le midi de la France. Il présente les distributions spatio-temporelles des durées,

intensités et hauteurs des épisodes pluvieux. Ce dernier tente d'expliquer les diverses relations entre les paramètres étudiés et les mécanismes pluviométriques. Selon Thorp et Scott (1982), des renseignements tels que les variations saisonnières et régionales des durées et intensités moyennes des épisodes pluvieux sont essentiels pour estimer le temps de résidences des polluants et leurs taux de déposition. Cet auteur a donc produit une étude préliminaire sur les épisodes pluvieux pour des stations du nord-est des Etats-Unis. Son étude comporte une analyse des distributions des intensités et des hauteurs des épisodes pluvieux, en fonction de leur durée.

Fortin et al. (1985) ont développé un modèle québécois de transport à longue distance des polluants atmosphériques. Il caractérise les épisodes secs et humides par des chaînes de Markov. Il est bon de noter que même si ce sujet n'est pas traité dans le cadre de cette thèse, plusieurs auteurs ont modélisé les séquences pluvieuses et sèches par les chaînes de Markov (Basu, 1971; Gabriel et Neuman, 1962; Haan et al., 1976; Nguyen et Rousselle, 1981; Stern, 1980).

Pour l'ouest de l'Orégon (Etats-Unis), Brown et al. (1983) ont fait une analyse descriptive des diverses caractéristiques des épisodes pluvieux. Les caractéristiques étudiées étaient la durée, la hauteur totale, les intensités moyennes et maximales, et l'intervalle de temps sec entre deux épisodes pluvieux consécutifs. Cette étude met en évidence pour les épisodes pluvieux une relation de dépendance entre la durée et les paramètres individuels suivants: hauteur totale, intensité moyenne et intensité maximale.

Les études portant sur les épisodes pluvieux feront l'objet d'une discussion plus détaillée au chapitre 3.

Le phénomène des précipitations est complexe. Les informations concernant le régime pluviométrique du Québec qu'il est possible de tirer d'atlas climatologiques ne sont pas suffisantes pour interpréter les phénomènes hydrologiques. Après une revue de la littérature sur la pluviométrie,

on remarque que la quantité d'ouvrages traitant des précipitations horaires est limitée et que ceux-ci sont à toutes fins pratiques inexistant pour le Québec. C'est là une des raisons qui ont motivé l'analyse du régime pluviométrique du Québec méridional à l'échelle horaire.

#### 1.4 Réseau pluviographique du Québec méridional

En 1980, on comptait sur l'ensemble du Québec 184 stations météorologiques ayant possédé ou possédant un pluviographe à augets basculeurs en 1980. L'inventaire de la majorité des stations pluviographiques contenues dans la banque de données des précipitations horaires est disponible en annexe A. La station de Montréal-International-A possède la plus longue période d'observation disponible sur ruban magnétique; cette période est de 39 ans. Il n'en est pas de même pour la majorité des stations au Québec. La figure 1.1 présente le nombre de pluviographes ayant une durée d'observation supérieure ou égale au nombre d'années indiqué. Le pourcentage des stations pluviographiques ayant une période d'observation de plus de 10 ans est de 46,74 pour cent, alors que le pourcentage des stations possédant plus de 20 ans de données (3,80 pour cent) est environ 12 fois plus petit. La moyenne des années d'observations<sup>1</sup> des stations pluviographiques est de 9,2 années.

La figure 1.2 donne un aperçu de la représentativité des pluviographes en fonction de l'altitude. On remarque que plus de 50 pour cent des pluviographes au Québec sont situés à moins de 200 mètres d'altitude. Les stations localisées à plus de 400 mètres d'altitude ne représentent que 16,30 pour cent de l'ensemble des stations du Québec. Ces stations sont surtout situées dans les Cantons de l'Est, dans le massif gaspésien, le parc des Laurentides et en Abitibi. La station pluviographique de plus haute altitude, contenue dans la banque de données est celle du Mont-Mégantic (1 111 mètres).

---

<sup>1</sup> Une année d'observation correspond à la période allant du 1er mai au 1er octobre.

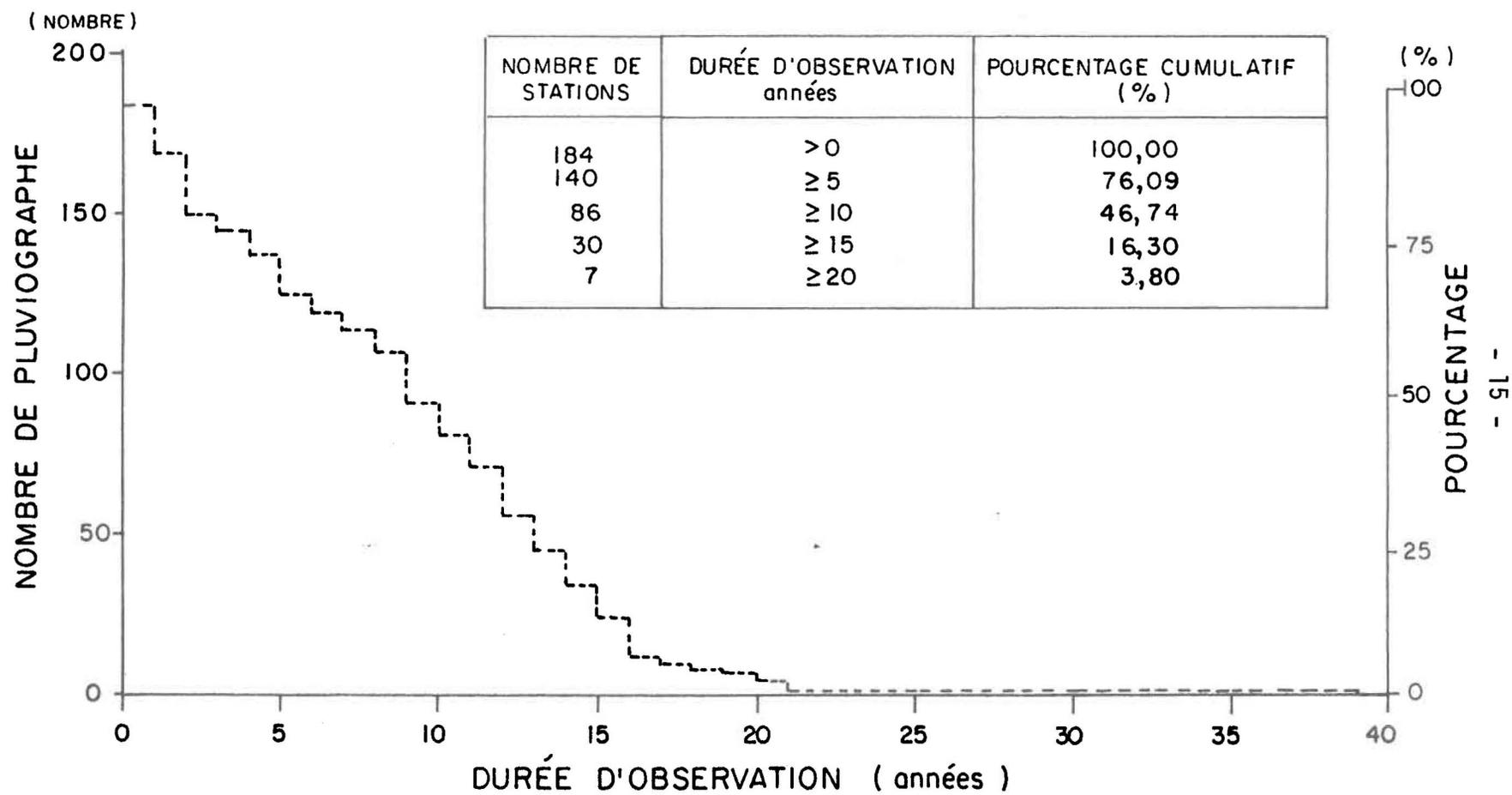


FIGURE 1.1 Nombre et pourcentage de pluviographes au Québec ayant une durée d'observation (en 1980) égale ou supérieure au nombre d'années indiquées.

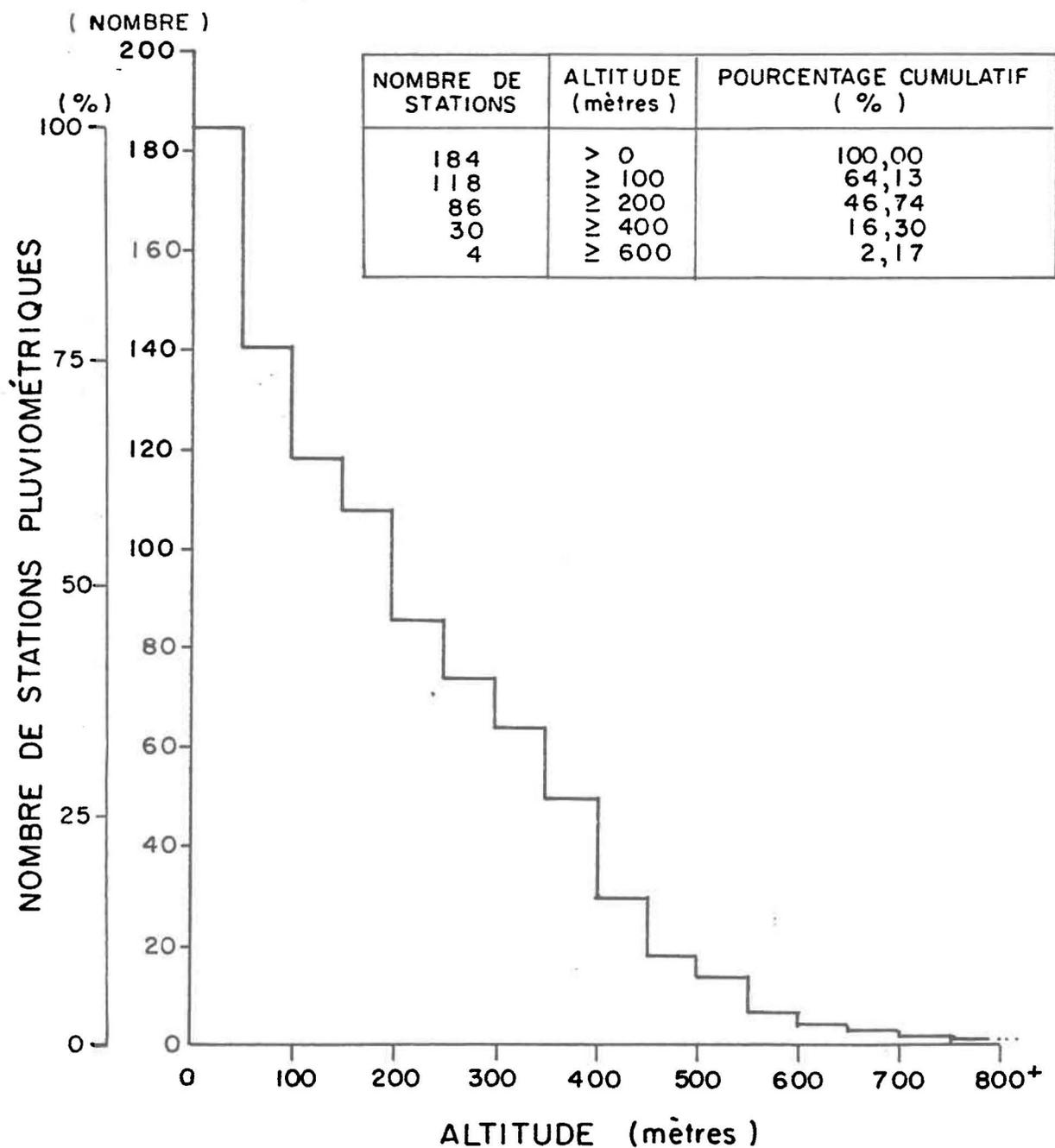
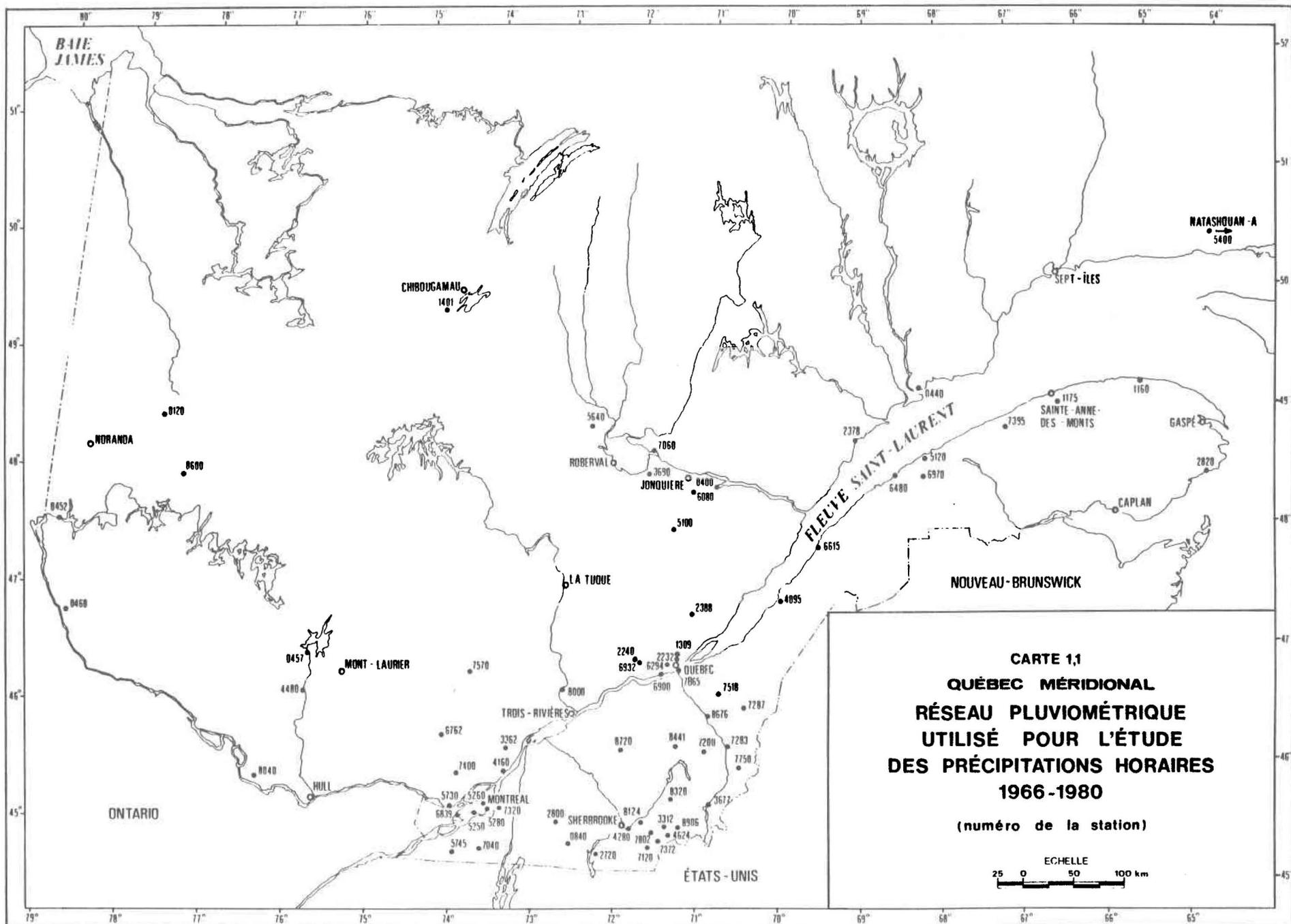


FIGURE 1.2 Nombre et pourcentage de stations pluviographiques au Québec méridional (en 1980) situées à une altitude égale ou supérieure au nombre de mètres indiqués.

Le pourcentage de données manquantes a été établi pour chacune des stations dont les données sont disponibles sur fichier informatique (annexe A, tableau A.1). Dans le but d'obtenir des statistiques significatives et homogènes, il a fallu mettre de côté de nombreuses stations pluviographiques. Ces dernières offrent généralement des périodes d'observations trop courtes ou un pourcentage trop élevé de données manquantes. Au départ, on voulait analyser les données de précipitations prises sur au moins 15 ans d'observations avec moins de 20 pour cent de données manquantes; seulement 28 stations répondaient à ces deux critères. De plus, ces stations étaient situées pour la plupart, dans le sud du Québec méridional. Finalement, dans le but d'obtenir un plus grand nombre de stations représentatives des différentes régions du Québec méridional, on a retenu les stations possédant au moins 10 ans de données sur la période de 1966 à 1980 et, moins de 20 pour cent de données manquantes. Au total, 70 stations pluviographiques respectaient ces deux critères. L'ensemble de ces stations est représenté sur la carte 1.1. En terme de distribution spatiale, la densité du réseau pluviographique étudié est beaucoup plus forte dans le sud du Québec, en particulier autour des deux grands centres de Montréal et Québec.

#### 1.5 Source, précision et traitement informatique des données

Comme on l'a mentionné au début de ce chapitre, les hauteurs horaires de précipitations utilisées, ont été mesurées par des pluviographes à augets basculeurs. Ce type d'appareil est calibré pour mesurer une hauteur de 0,2 mm de pluie pour chaque bascule d'un auget. Toute pluie supérieure ou égale à 0,2 mm est considérée comme mesurable. Une chute de pluie comprise entre 0,0 mm et 0,2 mm est qualifiée de trace de pluie. Cette dernière n'entraîne pas la bascule d'un auget, elle est donc intégrée à la chute de pluie suivante, si celle-ci est suffisante pour remplir l'auget ou elle peut tout simplement s'évaporer. Les traces de précipitations étant difficilement ou nullement considérées, les valeurs totales mensuelles de précipitations mesurées par le pluviomètre, sont généralement plus élevées que celles mesurées par le pluviographe. Il est bon de préciser que les données de précipitations horaires sont archivées selon les heures civiles (par exemple



de 12h01 à 13h00) et non selon la période de temps réel de chacune des précipitations. Par exemple, si une précipitation se produit de 12h15 à 13h25, on considère deux occurrences de précipitations au lieu d'une<sup>1</sup>. Les occurrences de précipitations sont comptabilisées comme suit: une occurrence de 12h15 à 13h00 et une autre de 13h01 à 13h25. Ces constatations ne sont pas à négliger lors de l'interprétation des résultats de cette analyse et impliquent certaines limitations.

La quantité imposante de données de précipitations horaires requiert l'utilisation de l'informatique. La banque de données initiale se composait uniquement des données de hauteurs de précipitations recueillies sur chaque heure et ce, pour l'ensemble des stations pluviographiques du Québec. Une autre banque de données cette fois-ci concernant chaque épisode pluvieux, a été créée. Cette dernière comprend la durée, la hauteur totale, la hauteur horaire maximale, l'intensité moyenne et l'intervalle de temps sec compris entre l'épisode concerné et celui qui lui succède. L'analyse statistique de ces données a été rendue possible grâce à l'utilisation du logiciel SAS (Statistical Analysis System).

Tout ce qui concerne le groupement des données sous forme de distribution de fréquence relative ainsi que l'ensemble des statistiques descriptives concernant les pluies horaires ou les épisodes pluvieux, a été réalisé grâce au logiciel SAS. A la section 1 du chapitre 2, l'ajustement statistique des distributions des fréquences des hauteurs de pluie horaire par les lois Pearson III, gamma à deux paramètres et gamma généralisée, a demandé l'utilisation du programme AJUST; ce dernier est décrit dans Bobée et al. (1983).

On doit souligner en dernier lieu qu'aucune donnée manquante n'a été reconstituée par quelque moyen que ce soit. Par contre, dans le calcul des valeurs mensuelles des fréquences relatives (et absolues) des pluies

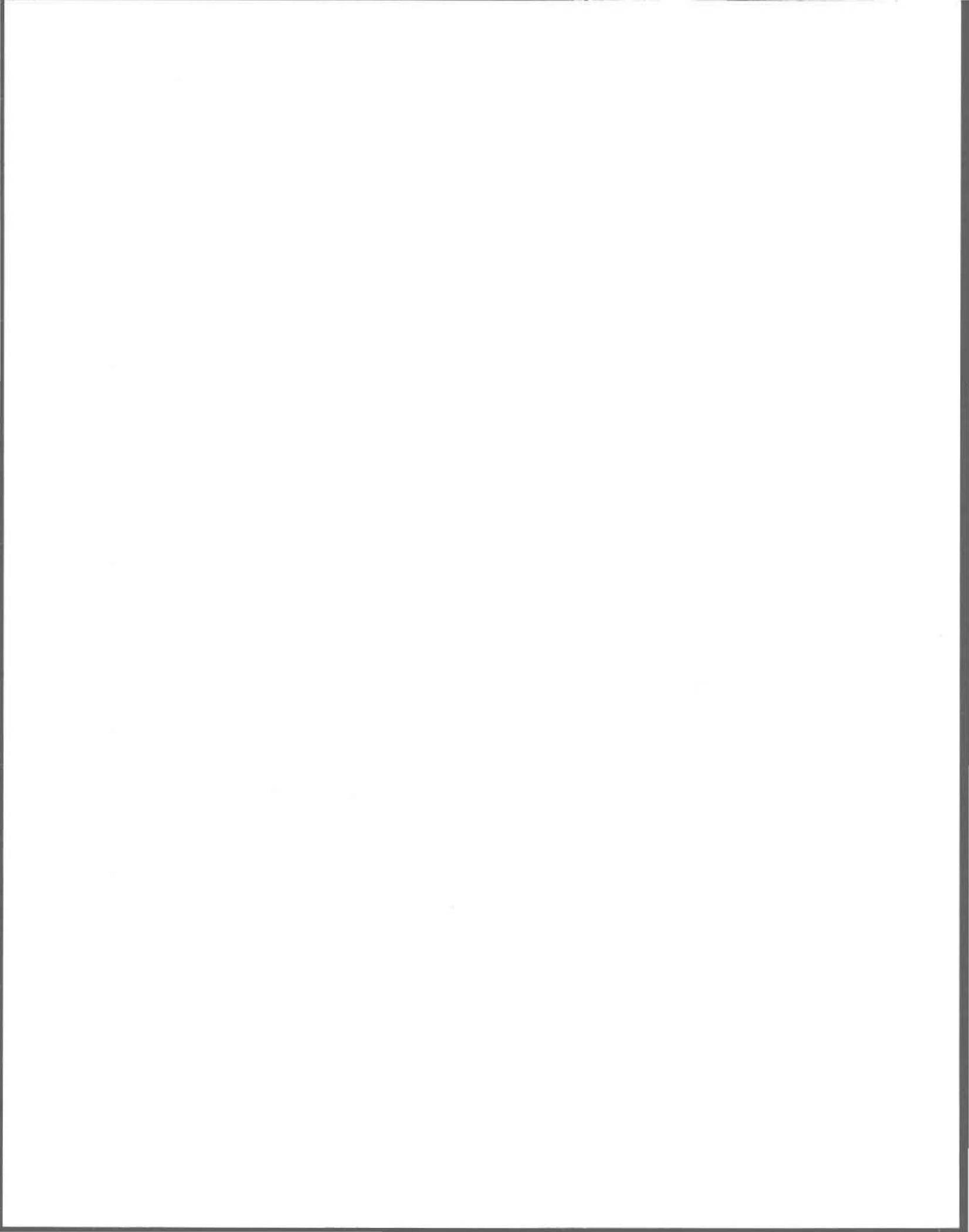
---

<sup>1</sup> Les occurrences de précipitation sont comptabilisées comme suit: une occurrence de 12h15 à 13h00 et une autre de 13h01 à 13h25.

horaires au chapitre 2.2 (et chapitre 2.3) et celles des épisodes pluvieux au chapitre 3.1, des facteurs de correction ont été utilisés. Ces facteurs qui feront l'objet de précisions aux différentes sections concernées, tiennent compte du nombre de données manquantes et normalisent ainsi les fréquences. A l'exception de ces fréquences, toute donnée manquante est exclue du calcul des autres paramètres pluviométriques.

## CHAPITRE 2

### ANALYSE DES PRECIPITATIONS HORAIRES



## 2. ANALYSE DES PRECIPITATIONS HORAIRES

### 2.1 Ajustement statistique de la distribution mensuelle des précipitations horaires

#### 2.1.1 Distribution mensuelle des précipitations horaires à la station Montréal-International-A

La station Montréal-International-A située à l'aéroport de Dorval est une station météorologique de premier ordre<sup>1</sup>. Pour cette station, il serait possible d'analyser les enregistrements horaires des précipitations depuis 1943. Cependant, afin de comparer les résultats de cette analyse avec ceux de deux autres stations pluviographiques, on a jugé préférable d'analyser des périodes d'observations concomitantes de 20 ans, soit de 1961 à 1980.

A la station de Montréal-International-A, le pourcentage de données manquantes pour la période étudiée (mai à octobre) est faible; seulement 1,76 pour cent des données horaires n'ont pu être enregistrées. Pour cette analyse, les distributions des hauteurs de précipitations horaires seront représentées par des histogrammes de fréquences cumulées (figure 2.1). Une mise en garde doit cependant être faite en ce qui a trait au choix des classes de hauteurs horaires de précipitations. La construction d'un histogramme de fréquences relatives possédant de trop petites classes de hauteurs de précipitations peut occasionner une mauvaise représentation de la distribution des hauteurs de pluies (voir annexe B). Ce problème est particulièrement dû à l'implantation du système international dans le réseau pluviographique du Québec entre les années 1977 et 1979. Cette conversion au système international a changé la sensibilité du pluviographe en la faisant passer de 0,01 pouce (environ 0,254 mm) à 0,2 mm. Les données recueillies avant 1977, mesurées en système anglais, ont été converties au système

---

<sup>1</sup> Station de premier ordre: station qui fournit des données climatologiques et qui est située durant une très longue période à un endroit fixe. Ce genre de station au Québec est localisée habituellement près des aéroports où l'on procède à des observations synoptiques.

international. Cette augmentation de sensibilité du pluviographe et la conversion des données tendent généralement à modifier et parfois fortement l'allure de la distribution mensuelle pour des classes de faibles intervalles. Pour notre étude, les classes choisies des hauteurs de précipitation sont assez larges pour pouvoir éliminer convenablement l'effet de conversion. Les intervalles de chaque classe sont de 1,0 mm, tandis que le seuil<sup>1</sup> de mesure est de 0,2 mm.

La figure 2.1 représente les distributions mensuelles des hauteurs de précipitations horaires de la station de Montréal-International-A, pour les mois de mai à octobre. En examinant ces distributions mensuelles, on remarque que la gamme de variation des hauteurs de précipitations horaires est plus étendue pour les mois d'été (juin à septembre) et plus particulièrement en juillet et août. Par exemple, aucune hauteur de pluie horaire ne dépasse 12,2 mm pour les mois de mai et octobre, 1 pour cent des pluies horaires sont plus grandes que cette valeur en juin et septembre et 2 pour cent en juillet et août. Si on qualifie de précipitations horaires faibles, celles qui ne dépassent pas 2,2 mm, on retrouve en moyenne pour les mois de mai et octobre, 87,62 pour cent de précipitations horaires faibles. Par contre, ce pourcentage moyen diminue pour les mois de juillet à septembre; il correspond à 78,90 pour cent en juin et septembre et 74,26 pour cent en juillet et août.

Les statistiques mensuelles<sup>2</sup> (prises en prenant la moyenne pour chaque mois) sur les hauteurs de précipitations horaires de la station Montréal-International-A présentées au tableau 2.1, viennent confirmer les variations générales des distributions mensuelles trouvées. On remarque que les valeurs moyennes des hauteurs de pluie horaire ont tendance à augmenter de mai à juillet et par la suite, décroître jusqu'en octobre. Nguyen et

---

<sup>1</sup> La première classe de hauteur de précipitations horaires débute à 0,2 mm (seuil de détection).

<sup>2</sup> Ces statistiques sont calculées à partir de chaque échantillon mensuel des hauteurs de précipitations horaires produites à la station Montréal-International-A et non, selon les classes de fréquences.

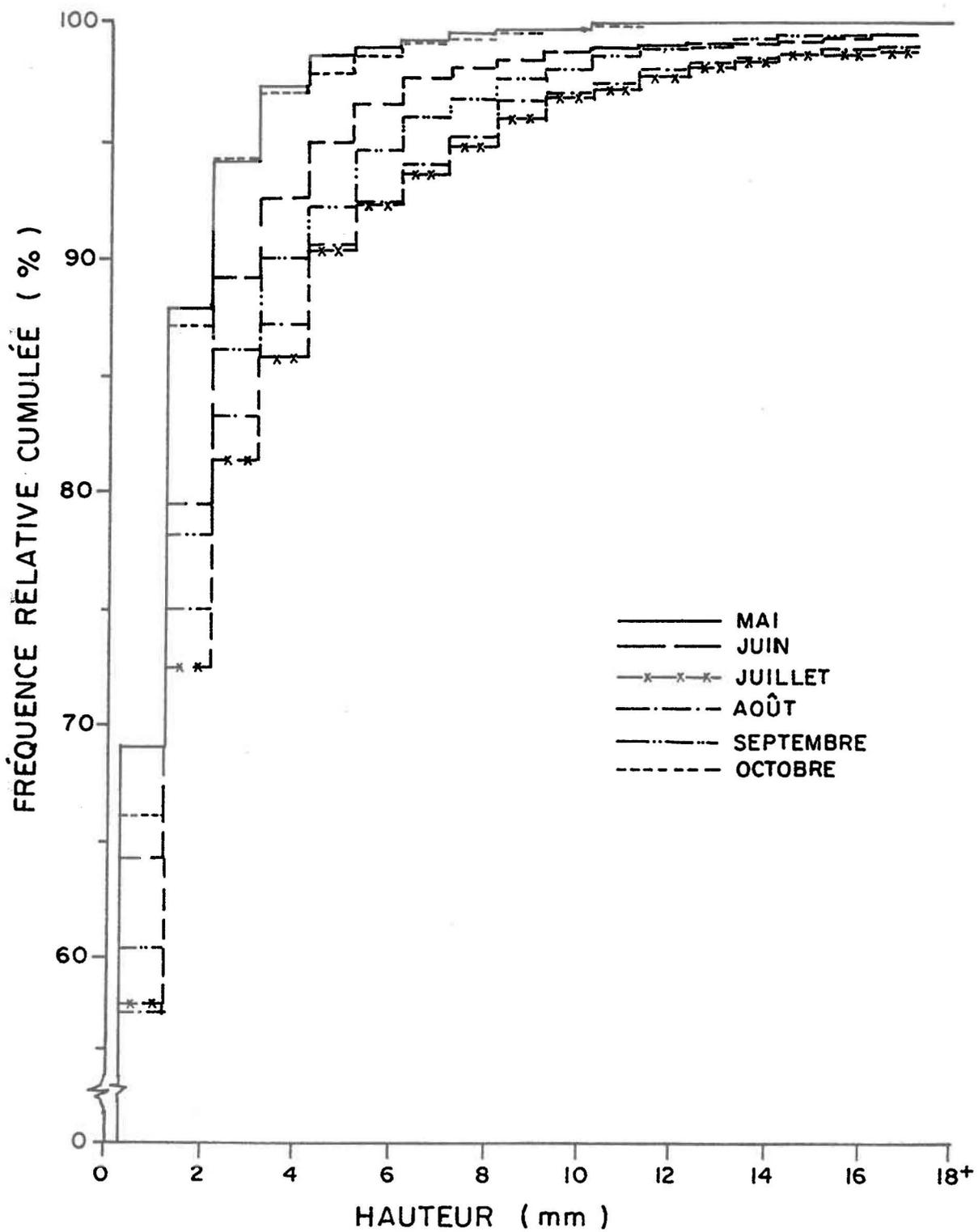


FIGURE 2.1 Histogrammes des fréquences relatives cumulées des hauteurs de précipitations horaires pour les mois de mai à octobre, à la station Montréal-International-A (1961-1980).

Tableau 2.1 Statistiques mensuelles<sup>1</sup> sur les hauteurs de précipitations horaires à la station Montréal-International-A (1961-1980).

Mois	Nombre d'occurrences des précipitations horaires	Moyenne (mm)	Ecart type (mm)	Coefficient d'asymétrie
Mai	1 158	1,078	1,155	3,003
Juin	999	1,530	2,630	6,676
Juillet	846	2,069	3,202	3,812
Août	952	2,022	3,408	5,080
Septembre	1 088	1,707	2,720	6,675
Octobre	1 247	1,130	1,247	3,181

<sup>1</sup> Voir les formules 2.1, 2.2 et 2.3.

Rousselle (1981) constate les mêmes caractéristiques en ce qui concerne les valeurs moyennes des hauteurs de précipitations horaires pour les mêmes mois dans la région de Montréal. Les valeurs mensuelles du paramètre de dispersion (écart type) ont la même tendance que les valeurs moyennes, c'est-à-dire augmentation de l'écart type avec la venue des mois d'été et diminution en automne. Les variations mensuelles du coefficient d'asymétrie sont assez irrégulières. Ces variations sont dues au caractère aléatoire que présente les précipitations horaires extrêmes. Ces dernières produisent des valeurs de hauteurs de pluie horaires très élevées par rapport à la moyenne<sup>1</sup> et inévitablement, font augmenter la valeur du coefficient d'asymétrie. Il est à remarquer que le nombre d'occurrences de précipitations horaires varie mensuellement de façon inverse aux valeurs moyennes et à celles des écarts types. En effet, pour la station de Montréal-International-A, les précipitations horaires sont moins fréquentes durant l'été qu'en automne ou à la fin du printemps.

En résumé, on constate que les précipitations horaires sont relativement peu abondantes mais plus fréquentes pour les mois de mai et octobre. La saison chaude (juin à septembre) est marquée surtout par le phénomène inverse, c'est-à-dire présence de précipitations horaires plus fortes mais moins fréquentes. Powe (1969) dans une étude produite sur le climat de Montréal, indique que les dépressions d'été produisent généralement des averses ou des orages qui diffèrent des précipitations continues typiques des autres mois. Cette étude démontre aussi que la fréquence des orages est plus forte de juin à août et que les précipitations de ces mois sont le plus souvent d'origine convective. Les distributions mensuelles des hauteurs de précipitations horaires et leurs statistiques viennent confirmer ces résultats.

---

<sup>1</sup> Des calculs de coefficient d'asymétrie sur les données horaires de pluie du mois de septembre à la station de Montréal-International-A (1961-1980), ont été effectuées avec et sans la valeur maximale de pluie produite sur les 20 ans. La valeur du coefficient d'asymétrie sans la valeur maximale de pluie (48,5 mm) est de 3,247. On retrouve cependant un coefficient d'asymétrie de 6,675, si on inclue la valeur maximale dans le calcul de ce coefficient.

### 2.1.2 Ajustement des précipitations horaires par des lois statistiques

L'importance de la modélisation des divers phénomènes hydrologiques s'est accrue avec les années. Les précipitations faisant partie intégrante du cycle hydrologique, ont fait l'objet d'analyses statistiques à des fins de simulation des pluies. L'ajustement d'une loi statistique sur une distribution empirique des précipitations se veut, la représentation la plus fidèle possible ou du moins la plus probable de l'ensemble du phénomène étudié. En réalité, l'intérêt de cette modélisation statistique des précipitations horaires est d'avoir la meilleure connaissance possible de la population à partir d'un échantillon tiré de cette population.

Quelques auteurs (Eagleson, 1972; Howard, 1976; Nguyen, 1982; Nguyen et Rousselle, 1981; Nguyen, 1981) ont traité de l'ajustement statistique des hauteurs horaires des précipitations. Selon Eagleson (1972) et Howard (1976), les hauteurs horaires de précipitations sont par hypothèse, des variables aléatoires positives distribuées selon une loi exponentielle. Nguyen et Rousselle (1981) et Nguyen et al. (1981) reprennent cette hypothèse dans l'élaboration d'un modèle stochastique des précipitations. Les études de Nguyen et al. (1981) portent sur l'ajustement d'une loi exponentielle sur des données horaires de pluie pour différents mois de l'année à la station Montréal-International-A. En examinant les résultats de son analyse, on s'aperçoit que la faiblesse de cet ajustement réside en la sous-estimation des faibles hauteurs de précipitations horaires en été. Toutefois, comme pour les modèles hydrologiques, on s'intéresse davantage aux résultats de l'ajustement pour les précipitations fortes ou extrêmes; l'hypothèse d'une distribution exponentielle des hauteurs de précipitations horaires peut alors être considérée comme acceptable pour les précipitations élevées. Par sa simplicité d'application, la loi exponentielle a souvent été retenue en hydrologie pour la modélisation des hauteurs de pluie. Cependant, il existe d'autres lois à probabilité un peu plus complexes, comportant par exemple, deux ou trois paramètres pouvant fournir un meilleur ajustement de la distribution des hauteurs de pluie. Par leur utilisation de plus en plus fréquente en hydrologie, trois lois dérivées de la loi gamma

ont été choisies: la loi gamma (deux paramètres), gamma généralisée et Pearson type III. Les trois lois choisies présentent plusieurs avantages pour l'étude statistique d'échantillon de taille et d'asymétrie les plus diverses.

Le but de la présente analyse est de chercher laquelle des lois dérivées de la loi gamma, c'est-à-dire exponentielle, gamma (deux paramètres), gamma généralisée et Pearson type III, peut le mieux représenter l'ensemble de la répartition des hauteurs de précipitations horaires. L'ajustement de chaque loi statistique est fait sur les histogrammes de fréquences relatives cumulées des hauteurs de pluie horaires pour les mois de mai et juillet. Ces deux mois ont été choisis à cause de leurs caractéristiques pluviométriques différentes<sup>1</sup> qui entraînent des variantes au niveau des distributions des classes de hauteurs de précipitations horaires.

### 2.1.3 Description des lois statistiques utilisées

Chacune des lois statistiques utilisées pour cette étude, est décrite par la fonction de densité de probabilité représentée par:

$$f(x; \alpha, \lambda, m)$$

où  $\alpha$ ,  $\lambda$  et  $m$  correspondent respectivement aux paramètres d'échelle; de forme et de position.

La fonction cumulée  $F(x)$  associée à la fonction de densité de probabilité est donnée par:

$$F(x) = P(m \leq X \leq x) = \int_m^x f(x) dx$$

---

<sup>1</sup> Comme on l'a mentionné, les mois de fin de printemps (mai, juin) et d'automne (septembre et octobre) offrent des précipitations beaucoup plus continues qu'en été (juillet et août), où celles-ci sont beaucoup plus brèves mais par contre plus intenses.

L'estimation des paramètres de chaque loi est réalisée par la méthode des moments. Il est donc nécessaire de définir les moments correspondants de l'échantillon:

$$\text{Moyenne: } \bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N} \quad (2.1)$$

$$\text{Variance: } S^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N - 1} \quad (2.2)$$

$$\text{Coefficient d'asymétrie: } CS = \frac{N \times \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^3}{(N - 1) \times (N - 2) \times (S^2)^{3/2}} \quad (2.3)$$

où  $x_i$  = observation "i" de hauteur de précipitations horaires;  
et  $N$  = taille de l'échantillon;

CS est le coefficient d'asymétrie corrigé pour le biais dû à l'échantillonnage (Bobée et al., 1983).

Il est important de noter que dans la méthode des moments, seuls les moments utilisés pour la méthode d'ajustement sont égaux à ceux de l'échantillon; les autres moments de la loi ajustée sont différents de ceux de l'échantillon. Par exemple, si l'on prend la loi gamma à deux paramètres et que l'on applique la méthode des moments en utilisant la moyenne et la variance, les moments théoriques de la population autres que la moyenne et la variance seront différents des valeurs correspondantes de l'échantillon (Bobée, 1983). Les moments de la loi ajustée différents de ceux de l'échantillon sont déterminés à partir des formules du tableau 2.2.

Tableau 2.2 Relations entre les moments de la population et les paramètres des lois statistiques.

Loi statistique	Moyenne	Variance	Coefficient d'asymétrie
Exponentielle (Haan, 1977)	$E(x) = \frac{1}{\lambda}$	$Var(x) = \frac{1}{\lambda^2}$	$C_s = 2$
Pearson type III (Bobée, 1983)	$E(x) = m + \frac{\lambda}{\alpha}$	$Var(x) = \frac{\lambda}{\alpha^2}$	$C_s = \frac{2}{\sqrt{\lambda}}$ pour $x > 0$
Gamma (Bobée, 1983)	$E(x) = \frac{\lambda}{\alpha}$	$Var(x) = \frac{\lambda}{\alpha^2}$	$C_s = \frac{2}{\sqrt{\lambda}}$ pour $x > 0$
Gamma généralisée (Bobée <u>et al.</u> , 1983)	$E(x) = \frac{\alpha^{-1/D} \Gamma(\lambda + 1/D)}{\Gamma(\lambda)}$	$Var(x) = \frac{\alpha^{-2/D} [\Gamma(\lambda) \Gamma(\lambda + 2/D) - \Gamma^2(\lambda + 1/D)]}{\Gamma^2(\lambda)}$	$C_s = \frac{\Gamma^2(\lambda) \Gamma(\lambda + 3/D) - 3\Gamma(\lambda + 2/D) \Gamma(\lambda + 1/D) + 2\Gamma^3(\lambda + 1/D)}{[\Gamma(\lambda) \Gamma(\lambda + 2/D) - \Gamma^2(\lambda + 1/D)]^{3/2}}$

### La loi Pearson type III

Cette loi est utilisée dans le domaine de l'hydrologie. C'est une loi statistique très générale qui a comme cas particuliers: la loi gamma à deux paramètres et la loi exponentielle. Le tableau 2.2 nous montre les relations existantes entre les moments de la population et les paramètres des lois statistiques utilisées.

Des études antérieures (Eagleson, 1972; Nguyen, 1982; Nguyen et Rousselle, 1981; Nguyen et al., 1981) démontrent que les hauteurs horaires de précipitations ont une asymétrie positive. Le cas de la loi Pearson type III qui nous intéresse est donc celui ayant une asymétrie positive et est représenté par la fonction de densité de probabilité suivante:

$$f(x; \alpha, \lambda, m) = \frac{\alpha^\lambda e^{-\alpha(x-m)} (x-m)^{\lambda-1}}{\Gamma(\lambda)} \quad (2.4)$$

où  $\alpha > 0$ ,  $\lambda > 0$ ,  $m < x < \infty$ ;

et  $\Gamma$  représente la fonction gamma définie par  $\Gamma(\lambda) = \int_0^{\infty} e^{-x} x^{\lambda-1} dx$  (Bobée et al., 1983).

Pour la loi Pearson type III, les estimateurs des trois paramètres  $\lambda$ ,  $\alpha$  et  $m$  sont définis par:

$$\lambda = \frac{4}{CS^2} \quad (2.5)$$

$$\alpha = \frac{\sqrt{\lambda}}{S} \quad (2.6)$$

$$m = x - \frac{\lambda}{\alpha} \quad (2.7)$$

où CS est définie par l'équation 2.3.

### La loi gamma à deux paramètres

La loi gamma à deux paramètres  $f(x; \alpha, \lambda, 0)$  est un cas particulier de la loi Pearson type III lorsque le paramètre de position ( $m$ ) est égal à zéro. Sa fonction de densité de probabilité est la même que la loi Pearson type III lorsqu'on pose  $m$  à zéro. Les deux paramètres  $\alpha$  et  $\lambda$  sont estimés par les équations suivantes (Bobée et al., 1983):

$$\alpha = \frac{\bar{x}}{S^2} \quad (2.8)$$

$$\lambda = \frac{\bar{x}^{-2}}{S^2} \quad (2.9)$$

Lorsque  $\lambda$  est égal à l'unité, on obtient la fonction de densité de probabilité de la loi exponentielle, c'est-à-dire (Haan, 1977):

$$f(x; \alpha, 1, 0) = \alpha e^{-\alpha x} \text{ avec } x > 0 \text{ et } \alpha > 0 \quad (2.10)$$

Cette loi possède seulement un paramètre qui est estimé par l'équation suivante:

$$\alpha = \frac{1}{\bar{x}} \quad (2.11)$$

### La loi gamma généralisée

Cette loi est une généralisation de la loi gamma à deux paramètres, où  $x^D$  suit une loi gamma. La fonction de densité de probabilité de cette loi est présentée par (Bobée et Paradis, 1983):

$$f(x; \alpha, \lambda, D) = \frac{|D| \alpha^\lambda e^{-\alpha x^D} x^{D\lambda-1}}{\Gamma(\lambda)} \quad (2.12)$$

où  $D$ : paramètre de distorsion de la forme;  
et  $x > 0$ ,  $\lambda > 0$ ,  $\alpha > 0$  et  $D \neq 0$ .

Lorsque  $D = 1$ , on obtient la loi gamma à deux paramètres. Bobée et al. (1983) estime les trois moments de la population par les valeurs correspondantes de l'échantillon. Il utilise par la suite la méthode itérative de Newton-Ralphson pour résoudre le système d'équations à trois inconnues et estimer les paramètres  $\alpha$ ,  $\lambda$  et  $D$  (voir tableau 2.2).

L'utilisation de la méthode des moments pour l'estimation des paramètres de la loi exponentielle est assez simple et facile à mettre en oeuvre. Cependant, les méthodes d'estimation des paramètres de la loi Pearson type III, gamma à deux paramètres et gamma généralisée sont un peu plus complexes, en particulier pour cette dernière. Les méthodes d'estimation des paramètres de ces trois lois statistiques sont décrites en détails par Bobée et al. (1983). Le programme AJUST de Bobée et al. (1983) a donc servi à estimer les paramètres de ces trois lois statistiques. Il est bon de spécifier qu'il existe d'autres méthodes d'ajustements comme, par exemple, la méthode du maximum de vraisemblance. Cette dernière et la méthode des moments sont en général les plus utilisées et conduisent à des résultats satisfaisants.

Dans le cas des lois continues selon Bobée et al. (1983), la méthode des moments est généralement plus facile à appliquer alors que la méthode du maximum de vraisemblance, peut conduire à un système d'équations assez difficile à résoudre dans le cas de distributions à plusieurs paramètres. Etant donné les buts multiples de cette étude sur les précipitations horaires, nous nous sommes limités à l'ajustement statistique des données de pluie horaire par la méthode des moments. Cette méthode a été choisie à cause de sa simplicité d'application. Par contre, une étude future des ajustements statistiques des données de pluie horaire par la méthode du maximum de vraisemblance permettrait de comparer les résultats d'ajustements des deux méthodes mentionnées. La méthode du maximum de vraisemblance

présente quelques avantages par rapport à la méthode des moments, entre autres celui de tenir compte de l'ensemble des informations contenues dans l'échantillon (Bobée et al., 1983).

#### 2.1.4 Résultats de l'application des méthodes d'ajustement pour la station Montréal-International-A (mois: mai et juillet)

Avant d'indiquer les résultats des ajustements statistiques, il est bon de spécifier qu'il peut être difficile de montrer statistiquement de manière significative qu'une loi peut ou non représenter un phénomène quelconque. Le contexte de l'étude permet cependant de définir certains critères à respecter pour juger visuellement de la validité d'un ajustement sur un échantillon donné. D'après Bobée et al. (1983), le test visuel est souvent très valable en comparaison des tests d'adéquation tels ceux du chi-deux ou le test de Kolmogorov-Smirnov. Ces tests d'adéquation sont généralement en pratique peu puissants et conduisent à une acceptation trop large. De plus les tests chi-deux et Kolmogorov-Smirnov ne sont rigoureusement valables que si les paramètres de la loi sont connus à priori et ne sont pas estimés à partir de l'échantillon. Dans un premier temps, les résultats de chaque ajustement sont donc analysés visuellement selon leur fidélité à représenter l'ensemble des différentes fréquences cumulées des hauteurs horaires de précipitations et non seulement les extrêmes. On se doit de souligner que les ajustements des lois statistiques sur les histogrammes de fréquences cumulées des pluies, donnent les probabilités au non-dépassement de la hauteur maximale de chacune des classes et non de la valeur centrale de chacune d'elles.

Dans le but de mieux visualiser les différences entre les fréquences d'occurrences des classes de hauteurs observées et théoriques, l'erreur absolue est calculée. On définit l'erreur absolue  $E_i$  pour une classe "i" par:

$$E_i = \left| f_{\text{théorique}} - f_{\text{observée}} \right| \quad (2.13)$$

où  $f_{\text{théorique}} = \left[ \int_{x_i}^{x_{i+1}} f(x; \alpha, \lambda, m) dx \right] \times N$  ( $N =$  taille de l'échantillon);

et  $f_{\text{observée}} =$  nombre d'observations dans la classe  $[x_i, x_{i+1}]$ .

Le calcul de l'erreur absolue pour un nombre de classes particulier, sert en même temps pour l'application du test d'adéquation du chi-deux. L'utilisation du test du chi-deux semble controversée en ce qui a trait à la comparaison des résultats pour des lois ayant un nombre différent de paramètres (Yevjevich et Taesombut, 1978). Le problème est que le nombre de degrés de liberté de la loi chi-deux diminue avec l'augmentation du nombre de paramètres à estimer à partir de l'échantillon. Ce test est donc appliqué à titre indicatif et n'est pas décisif dans le choix d'une loi donnée.

A partir des caractéristiques statistiques des échantillons mensuels (mai et juillet) des hauteurs de pluie horaire à la station Montréal-International-A, l'estimation des paramètres propres à chaque loi a été possible. Les valeurs de ces paramètres et les caractéristiques statistiques estimées de chaque population figurent au tableau 2.3. Les figures 2.2 et 2.3 représentent les résultats de chaque ajustement de loi pour les mois de mai et juillet à la station étudiée.

Les ajustements statistiques des lois exponentielle, gamma à deux paramètres et gamma généralisée sont tous les trois satisfaisants dans leur représentation de la distribution empirique des données de pluie horaire de mai (figure 2.2). On remarque que la loi Pearson III montre elle aussi, un ajustement acceptable aux données, mais la valeur de son paramètre de position ( $m$ ), fait débiter la courbe d'ajustement à un seuil minimal de 0,31 mm. Cette particularité de la loi Pearson type III limite les hauteurs de précipitations horaires à une borne inférieure trop grande. En théorie, l'ensemble des valeurs plus grandes que zéro devrait entrer dans la distribution des hauteurs de pluie. Pour le mois de mai, les valeurs des erreurs

Tableau 2.3 Valeurs estimées des paramètres des lois statistiques et des moments à partir des échantillons des mois de mai et juillet, à la station Montréal-International-A (1961-1980).

Loi statistique	Mois	Paramètres estimés	Caractéristiques de la population <sup>1</sup>		
			Moyenne <sup>2</sup>	Ecart type <sup>2</sup>	Coefficient d'asymétrie
Exponentielle	Mai	$\hat{\lambda} = 0,9276$	1,078	1,078	2,000
	Juillet	$\hat{\lambda} = 0,4833$	2,069	2,069	2,000
Gamma	Mai	$\hat{\lambda} = 0,8711$ $\hat{\alpha} = 0,8081$	1,078	1,155	2,143
	Juillet	$\hat{\lambda} = 0,4175$ $\hat{\alpha} = 0,2018$	2,069	3,202	3,095
Gamma généralisée	Mai	$\hat{\lambda} = 4,8932$ $\hat{\alpha} = 5,2970$ $\hat{D} = 0,4483$	1,078	1,155	3,003
	Juillet	$\hat{\lambda} = 1,0120$ $\hat{\alpha} = 0,7561$ $\hat{D} = 0,6632$	2,069	3,202	3,812
Pearson III	Mai	$\hat{\lambda} = 0,4436$ $\hat{\alpha} = 0,5766$ $\hat{M} = 0,3088$	1,078	1,155	3,003
	Juillet	$\hat{\lambda} = 0,2753$ $\hat{\alpha} = 0,1639$ $\hat{M} = 0,3890$	2,069	3,202	3,812

<sup>1</sup> Les caractéristiques de la population pour la loi exponentielle (autres que la moyenne) et la loi gamma à deux paramètres (autres que la moyenne et l'écart type) sont estimées à partir des paramètres (c.f. équations du tableau 2.2); toutes les autres caractéristiques de la population des quatre lois, sont égales à celles de l'échantillon, selon la méthode des moments.

<sup>2</sup> Les moyennes et écarts types sont exprimés en mm.

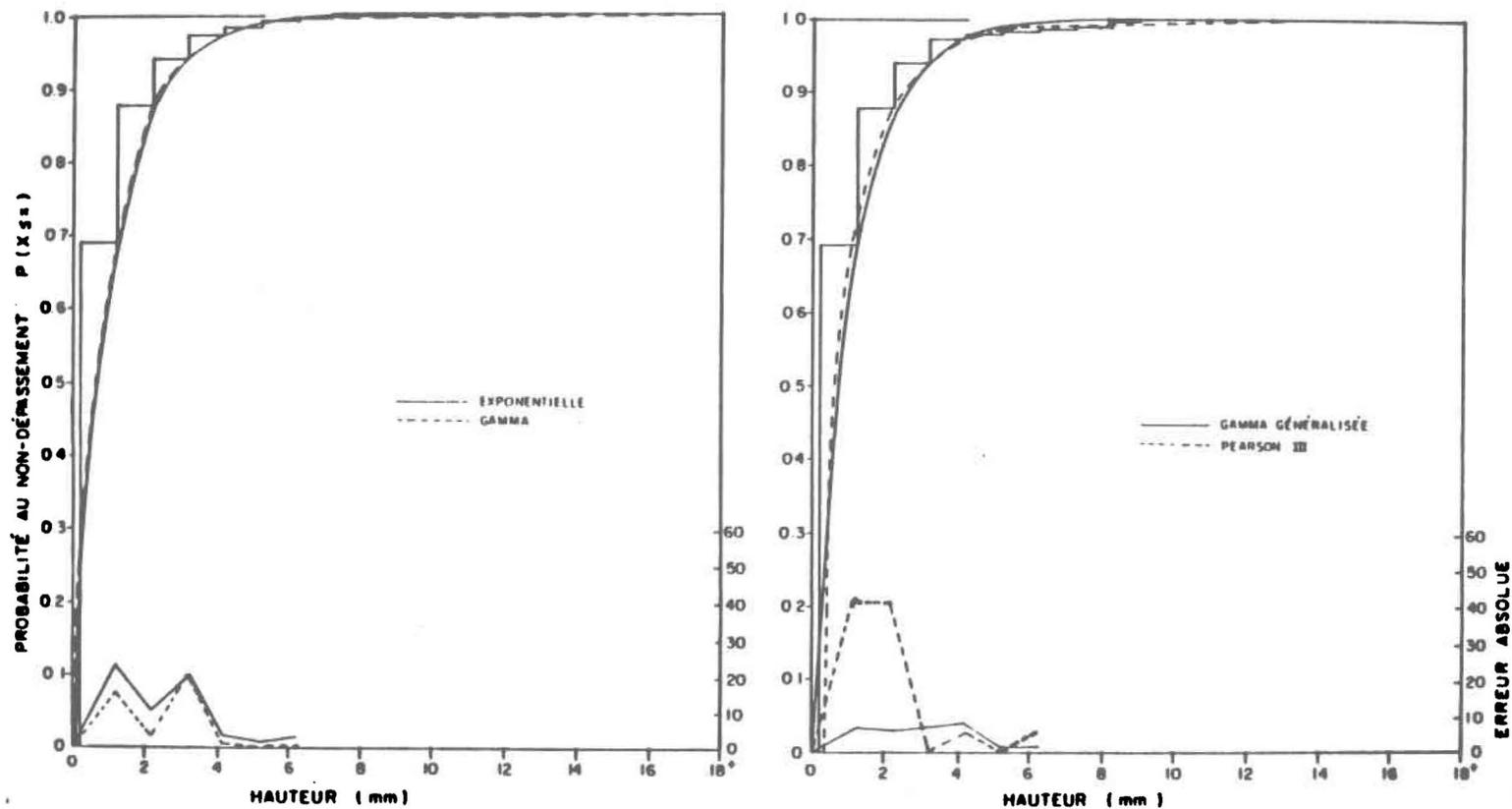


FIGURE 2.2 Ajustements de lois statistiques aux fréquences relatives cumulées des hauteurs de précipitations horaires de mai (échelle de gauche) et erreurs d'ajustements associées (échelle de droite) à la station Montréal-International-A (1961-1980).

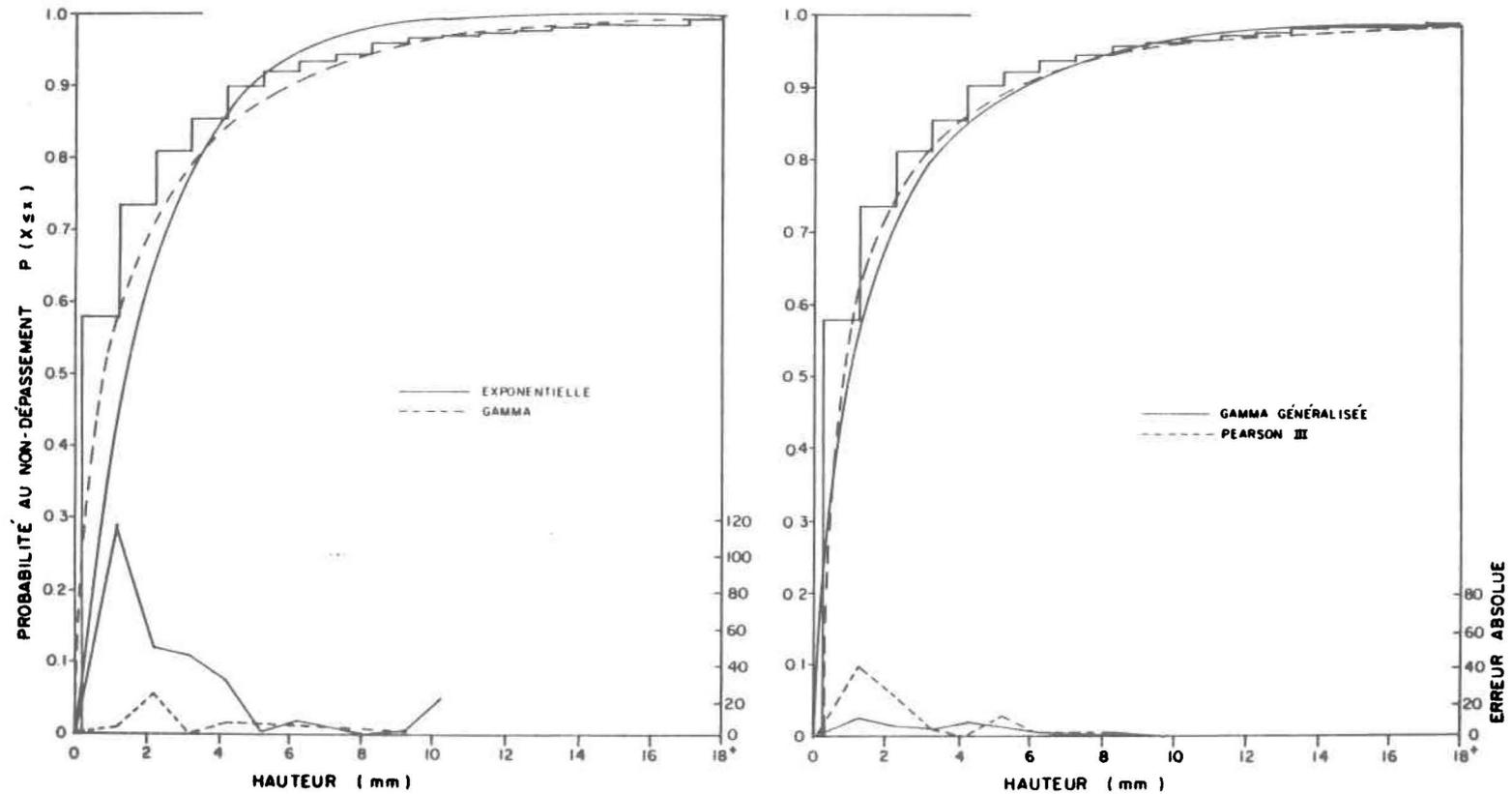


FIGURE 2.3 Ajustements de lois statistiques aux fréquences relatives cumulées des hauteurs de précipitations horaires de juillet (échelle de gauche) et erreurs d'ajustements associées (échelle de droite) à la station Montréal-International-A (1961-1980).

absolues ont été calculées pour seulement six classes. Le nombre de classes est déterminé de façon à respecter le domaine d'application du test du chi-deux pour son utilisation ultérieure. Pour les quatre lois, la somme des erreurs absolues est minimale pour la loi gamma généralisée et maximale pour la loi Pearson type III (c.f. annexe C, tableau C.1). Le test du chi-deux pour un niveau de confiance de 95 pour cent rejette la loi Pearson type III et accepte les trois autres lois.

Les courbes d'ajustements aux données horaires du mois de juillet (figure 2.3) montrent des légères différences. Les erreurs absolues pour le mois de juillet sont déterminées pour neuf classes de hauteur de précipitation<sup>1</sup>, la gamme de variation des hauteurs étant plus large pour ce mois. La loi exponentielle comme le démontre les résultats de Nguyen et al. (1981), a tendance à sous-estimer les fréquences d'occurrence des faibles hauteurs de précipitations (environ 3,0 mm et moins). De plus, la loi exponentielle surestime les fréquences d'occurrences des hauteurs de précipitations plus élevées. Le mauvais ajustement des données de hauteurs de pluie horaires par la courbe de la loi exponentielle est confirmé par les valeurs des erreurs absolues (figure 2.3). La valeur totale des erreurs absolues sur les neuf classes de la loi exponentielle est la plus élevée (soit de 289,22) par rapport aux trois autres ajustements. Comme on peut le constater, cette valeur élevée est surtout causée par la mauvaise représentation des classes de faible hauteur de pluie. Ce résultat démontre bien que l'ajustement par la loi exponentielle est beaucoup moins valable pour les données de pluie horaire de juillet, par rapport aux ajustements des trois autres lois présentées à la figure 2.3.

Les ajustements de la loi gamma à deux paramètres et la loi gamma généralisée semblent plus constants dans la représentation des données horaires de précipitations. Les courbes d'ajustement de ces deux lois sont beaucoup plus satisfaisantes pour l'ensemble des classes de hauteur de pluie

---

<sup>1</sup> Le tableau C.1 de l'annexe C donne les valeurs des erreurs absolues de chaque classe de mai et juillet et selon chaque loi statistique.

que celle de la loi exponentielle. La valeur totale des erreurs absolues est minimale pour la loi gamma généralisée (51,67); cette valeur est légèrement plus élevée pour la loi gamma à deux paramètres (60,11). D'après les courbes d'ajustements et les erreurs absolues, la loi gamma généralisée est celle qui donne les meilleurs résultats pour le mois de juillet.

La loi Pearson type III montre encore un bon ajustement mais la valeur du paramètre de position ( $m = 0,39$  mm) force le rejet de cette loi. Cette loi présente pour juillet, un meilleur ajustement que la loi exponentielle mais a le désavantage de faire débiter la courbe d'ajustement à un seuil minimal de 0,39 mm de pluie. Comme on l'a mentionné pour le mois de mai, cette caractéristique de la loi Pearson type III limite les hauteurs de pluie horaire à une borne inférieure trop élevée. Cette valeur du seuil minimal de la courbe fait augmenter l'écart entre la fréquence théorique et la fréquence observée des deux premières classes (c.f. figure 2.3). De plus, ce seuil est supérieur au seuil de détection du pluviographe (0,2 mm) et du seuil "théorique" de la pluie (0,0 mm). L'ajustement de la loi Pearson sur les classes supérieures à 2,2 mm de pluie est tout de même satisfaisant comme le démontre la courbe d'ajustement et les valeurs des erreurs absolues de la figure 2.3.

D'après les résultats obtenus et ce même si la loi gamma généralisée montre les meilleurs résultats pour les deux mois étudiés, la loi gamma (à deux paramètres) présente l'avantage de ne nécessiter l'estimation que des deux premiers moments. On sait par expérience que le biais d'estimation du coefficient d'asymétrie à partir des échantillons, est généralement fort (Kite, 1977). De plus, pour ces deux lois, les valeurs de la somme des erreurs absolues pour mai et juillet démontrent que les écarts d'ajustements réalisés avec la loi gamma généralisée et gamma à deux paramètres sont faibles.

En mai, le pourcentage d'erreur entre l'ajustement de la loi gamma généralisée et les données observées est 2,78 pour cent. La loi gamma à deux paramètres pour ce mois présente un pourcentage d'erreur de 3,59 pour

cent. Cette différence entre les deux ajustements ne représente en fait, qu'un gain de précision de moins de 1 pour cent pour la loi gamma généralisée sur la loi gamma à deux paramètres. En juillet, on retrouve sensiblement le même résultat entre les pourcentages d'erreur d'ajustement de la loi gamma généralisée et la loi gamma; ces pourcentages respectifs sont de 6,11 pour cent et de 7,10 pour cent. En résumé, le gain de précision apportée par l'ajustement statistique des données horaires de pluie par la loi gamma généralisée est de l'ordre de grandeur de 1 pour cent par rapport à la loi gamma à deux paramètres. En plus d'apporter un gain de précision faible, l'ajustement de la loi gamma généralisée par la méthode des moments est plus complexe et conséquemment plus difficile à mettre en oeuvre opérationnellement. Donc, pour respecter le principe de parcimonie, on aura intérêt à considérer comme très valable la candidature de la loi gamma, d'autant plus que celle-ci montre une performance très voisine de la loi gamma généralisée.

L'ajustement de la loi exponentielle sur la distribution des pluies horaires de mai et probablement octobre, a été dans son ensemble satisfaisant et comparable aux ajustements des lois gamma et gamma généralisée. Pour cette loi, le pourcentage d'erreur entre les fréquences observées et théoriques en mai, est de 5,5 pour cent; ce pourcentage est légèrement supérieur aux pourcentages d'erreur des lois gamma et gamma généralisée. Par contre, en juillet et possiblement pour la période estivale (juin à septembre), l'ajustement de cette loi présente certaines lacunes. En effet, la loi exponentielle sous-estime les fréquences des classes de faible hauteur et surestime celles des hauteurs élevées. Cette particularité en juillet, a pour effet d'augmenter considérablement le pourcentage d'erreur entre l'ajustement de la loi exponentielle et la distribution observée; ce pourcentage s'élève à 34,19 pour cent. Ce pourcentage d'erreur est non négligeable et montre bien le mauvais ajustement de la loi exponentielle à la distribution empirique des pluies horaires de juillet. On doit donc considérer les ajustements des lois gamma et gamma généralisée comme étant plus adéquats pour représenter l'ensemble du phénomène étudié en juillet. Néanmoins, dans le domaine de l'hydrologie où l'on s'intéresse davantage aux

précipitations extrêmes, la loi exponentielle de par son procédé simple de simulation et la surestimation des fréquences des pluies élevées, peut s'avérer satisfaisante et sécuritaire pour la construction d'ouvrages hydrauliques. Il ne faut cependant pas oublier, que si la loi surestime trop le phénomène étudié, elle pourrait conduire à un surdimensionnement de ces ouvrages, ce qui s'avère très coûteux.

D'après les résultats montrés aux figures 2.2 et 2.3, la loi Pearson type III montre un meilleur ajustement que la loi exponentielle en juillet mais non pour le mois de mai. Par rapport aux ajustements de la loi gamma et gamma généralisée, la loi Pearson présente des courbes d'ajustements moins précises, surtout pour le mois de mai. Cette loi ajuste convenablement les hauteurs de pluie horaires supérieures à 2,2 mm. Pour les faibles hauteurs de pluie horaires, les erreurs absolues résultant de cet ajustement sont généralement élevées. Ces fortes valeurs des erreurs absolues pour ces hauteurs, sont causées par les valeurs du paramètre de position  $m$  trop élevées par rapport au seuil de détection du pluviographe. En fait, les valeurs élevées des erreurs absolues sur les classes de faibles hauteurs de pluie horaire, dues au paramètre de position  $m$ , et l'ajustement moins précis de la loi Pearson par rapport à loi gamma et gamma généralisée pour les mois de mai et juillet, sont les deux raisons pour lesquelles on rejette la loi Pearson type III pour représenter les hauteurs de pluie horaires. De plus, sachant que le résultat d'ajustement des lois statistiques dépend de la méthode utilisée pour l'estimation des paramètres, le mauvais ajustement de la loi Pearson type III est probablement dû à l'emploi de la méthode des moments. Il serait bon de comparer dans le cadre d'une autre analyse, les résultats d'ajustement des données de pluie horaires à l'aide des trois mêmes lois utilisées mais en employant la méthode du maximum de vraisemblance. De cette façon, on pourrait utiliser pour la comparaison des lois, le test du rapport de vraisemblance à la place du test visuel ou celui du chi-deux qui peuvent conduire à des conclusions subjectives.

### 2.1.5 Application des méthodes d'ajustement à la station de Lennoxville-CDA et Val-d'Or-A

Suite aux conclusions de la section précédente, il apparaît que les lois, gamma à deux paramètres et gamma généralisée sont les plus adéquates pour représenter les distributions des hauteurs horaires de précipitation. Ces deux lois serviront à ajuster les données horaires de pluie de mai et juillet, de deux autres stations pluviographiques. La loi exponentielle, généralement utilisée dans la littérature pour représenter les données de pluie horaire, servira également de méthode d'ajustement statistique. L'utilisation de cette dernière a pour but de montrer s'il y a avantage ou non à retenir cette loi plutôt que la loi gamma ou gamma généralisée. Le nombre restreint<sup>1</sup> de stations pluviographiques ayant vingt ans d'observations de 1961 à 1980 a limité notre choix. La station Lennoxville-CDA (152 m) située dans la région montagneuse des Cantons de l'Est au sud-est de Montréal, de même que la station Val-d'Or-A (337 m) de la région de l'Abitibi ont été choisies. Les trois stations ainsi étudiées, en plus d'avoir leur localisation à différentes altitudes, présentent des caractéristiques pluviométriques différentes pour les mois de mai et juillet. Les caractéristiques statistiques des échantillons des hauteurs horaires de précipitations du mois de mai et juillet pour les stations Lennoxville-CDA et Val-d'Or-A, sont présentées au tableau 2.4.

Les précipitations moyennes sont plus fortes en été pour les stations Montréal-International-A (tableau 2.1) et Lennoxville-CDA que pour Val-d'Or-A. Par contre, le nombre d'occurrences des précipitations horaires est plus élevé en juillet qu'en mai pour cette dernière, alors que la situation inverse se produit aux stations Lennoxville-CDA et Montréal-International-A. L'augmentation des fréquences des pluies horaires en été par rapport au printemps à la stations Val-d'Or-A, est probablement causée par la trajectoire plus nordique des dépressions durant la saison estivale.

---

<sup>1</sup> Seulement sept stations correspondant aux critères demandés.

Tableau 2.4 Statistiques<sup>1</sup> sur les hauteurs de précipitations horaires aux stations Lennoxville-CDA et Val-d'Or-A, pour les mois de mai et juillet (1961-1980).

Nom de la station	Mois	Nombre d'occurrences des précipitations horaires	Moyenne (mm)	Ecart type (mm)	Coefficient d'asymétrie
Lennoxville-CDA	Mai	1 311	1,194	1,422	3,968
	Juillet	938	2,095	3,065	3,159
Val-d'Or-A	Mai	1 029	1,031	1,299	3,986
	Juillet	1 209	1,590	2,253	3,617

<sup>1</sup> Voir les formules 2.1, 2.2 et 2.3.

On constate que le nombre des précipitations horaires est plus élevé à Lennoxville-CDA qu'à Montréal-International-A en mai et juillet. Les valeurs totales du nombre d'occurrences de précipitations horaires basées sur la période de mai à octobre à ces deux stations, présentent la même tendance. Aux stations Lennoxville-CDA et Montréal-International-A, on retrouve respectivement des valeurs d'occurrences de précipitations horaires sur toute la période<sup>1</sup> de 6524 et 6290. Cette différence est probablement due au soulèvement plus brutal des masses d'air chaud et humide en provenance du sud-ouest sur les régions montagneuses des Cantons de l'Est, alors que sur la région de Montréal l'influence orographique est à peu près inexistante.

Les résultats de l'ajustement des lois exponentielles, gamma et gamma généralisée par la méthode des moments pour les stations Lennoxville-CDA et Val-d'Or-A sont présentés au tableau 2.5. Ce tableau montre les valeurs des paramètres et des caractéristiques estimées de la population. Les paramètres estimés de chacune des lois utilisées (exponentielle, gamma à deux paramètres et gamma généralisée) ont servi au calcul des courbes d'ajustements des histogrammes des fréquences cumulées des hauteurs de pluie horaires, présentés aux figures 2.4 et 2.5.

Au mois de mai (figures 2.4A et 2.5A), les résultats montrent que les distributions aux stations Lennoxville-CDA et Val-d'Or-A peuvent être ajustées par les trois lois de façon satisfaisante. En effet, les trois ajustements conduisent à des courbes très similaires. Cependant, les valeurs des erreurs absolues (c.f. annexe C, tableau C.2) nous permettent de distinguer certaines différences entre les courbes d'ajustement et les distributions empiriques. Les erreurs d'ajustement associées aux faibles hauteurs de précipitations pour la loi exponentielle sont élevées par rapport à celles des lois gamma à deux paramètres et de la loi gamma généralisée. Pour ces deux dernières, on constate des erreurs d'ajustements moindres pour

---

<sup>1</sup> Nombre calculé sur vingt ans (1961-1980) du mois de mai à octobre.

Tableau 2.5 Valeurs estimées des paramètres des lois statistiques et des moments à partir des échantillons de mai et juillet (1961-1980).

A: Lennoxville-CDA;

B: Val-d'Or-A.

Loi statistique	Mois	Paramètres estimés	Caractéristiques de la population <sup>1</sup>			
			Moyenne <sup>2</sup>	Ecart type <sup>2</sup>	Coefficient d'asymétrie	
(A)	Exponentielle	Mai	$\hat{\lambda} = 0,8375$	1,194	1,194	2,000
		Juillet	$\hat{\lambda} = 0,4773$	2,095	2,095	2,000
	Gamma	Mai	$\hat{\lambda} = 0,7050$ $\hat{\alpha} = 0,5905$	1,194	1,422	2,382
		Juillet	$\hat{\lambda} = 0,4672$ $\hat{\alpha} = 0,2230$	2,095	3,065	2,926
	Gamma généralisée	Mai	$\hat{\lambda} = 13,1104$ $\hat{\alpha} = 13,8050$ $\hat{\beta} = 0,2639$	1,194	1,422	3,968
		Juillet	$\hat{\lambda} = 0,6392$ $\hat{\alpha} = 0,3724$ $\hat{\beta} = 0,8589$	2,095	3,065	3,159
(B)	Exponentielle	Mai	$\hat{\lambda} = 0,9699$	1,031	1,031	2,000
		Juillet	$\hat{\lambda} = 0,6289$	1,590	1,590	2,000
	Gamma	Mai	$\hat{\lambda} = 0,6299$ $\hat{\alpha} = 0,6110$	1,031	1,299	2,520
		Juillet	$\hat{\lambda} = 0,4980$ $\hat{\alpha} = 0,3132$	1,590	2,253	2,834
	Gamma généralisée	Mai	$\hat{\lambda} = 7,0108$ $\hat{\alpha} = 7,8784$ $\hat{\beta} = 0,3356$	1,031	1,299	3,986
		Juillet	$\hat{\lambda} = 1,4548$ $\hat{\alpha} = 1,3083$ $\hat{\beta} = 0,6094$	1,590	2,253	3,617

<sup>1</sup> Les caractéristiques de la population pour la loi exponentielle (autres que la moyenne) et la loi gamma à deux paramètres (autres que la moyenne et l'écart type), sont estimées à partir des paramètres estimés (c.f. équations du tableau 2.2); toutes les autres caractéristiques de la population des quatre lois sont égales à celles de l'échantillon selon la méthode des moments.

<sup>2</sup> Les moyennes et écarts types sont exprimés en mm.

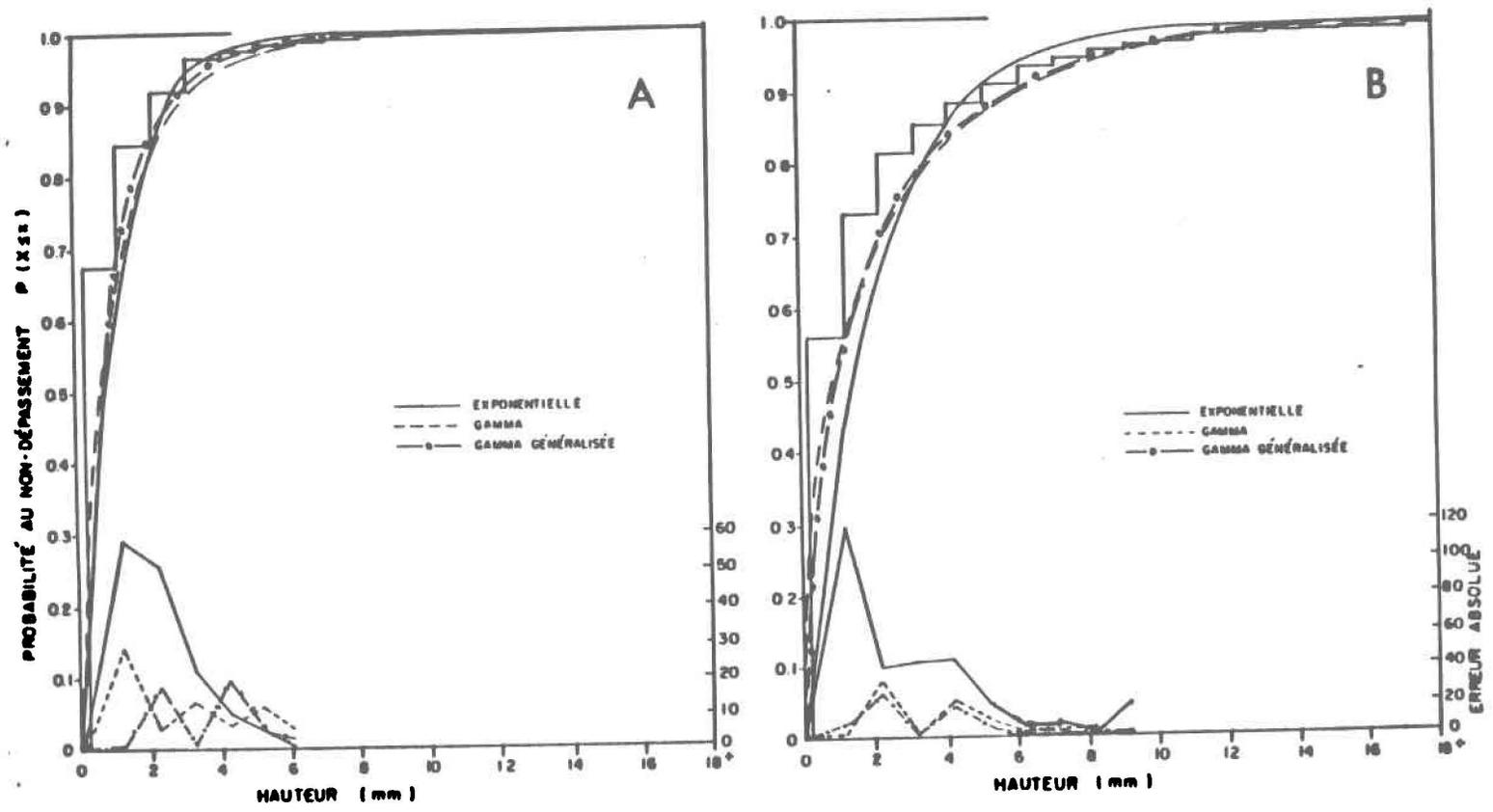


FIGURE 2.4 Ajustements de lois statistiques aux fréquences relatives cumulées des hauteurs de précipitations horaires (échelle de gauche) et erreurs d'ajustements associées (échelle de droite) à la station Lennoxville-CDA (1961-1980).  
 A: mai et B: juillet.

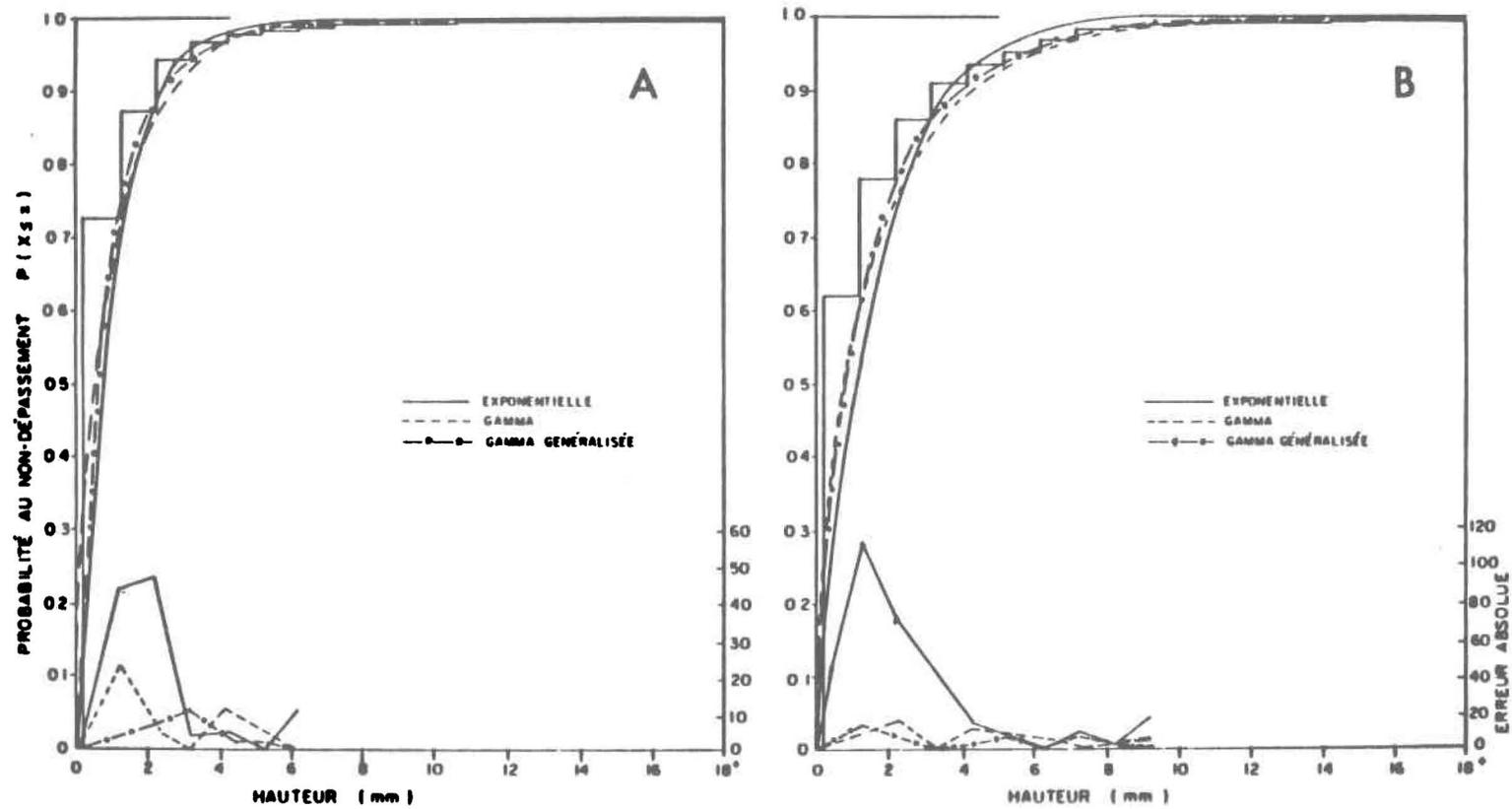


FIGURE 2.5 Ajustements de lois statistiques aux fréquences relatives cumulées des hauteurs de précipitations horaires (échelle de gauche) et erreurs d'ajustements associées (échelle de droite) à la station Val-d'Or-A (1961-1980).  
A: mai et B: juillet.

l'ensemble des classes. Par exemple, la somme des erreurs absolues à la station Val-d'Or-A pour le mois de mai est de 27,27 pour la loi gamma généralisée, 51,39 pour la loi gamma et 113,73 pour la loi exponentielle. A cette station, le test du chi-deux à 95 pour cent, révèle l'acceptation des lois gamma et gamma généralisée. A partir de ces résultats, on peut conclure que ces deux lois (gamma et gamma généralisée) pourraient être utilisées pour représenter les distributions des hauteurs de précipitations horaires du mois de mai.

Pour le mois de juillet (figures 2.4B et 2.5B), on constate aux deux stations, que les courbes d'ajustement des lois gamma à deux paramètres et gamma généralisée sont plus représentatives des distributions empiriques que peut l'être la loi exponentielle. Ces deux lois présentent un meilleur ajustement des fréquences observées et ce, sur l'ensemble des classes des hauteurs de pluie horaires. La loi exponentielle montre les mêmes particularités dans ses courbes d'ajustement aux distributions empiriques que les résultats obtenus en juillet à la station Montréal-International-A. Les fortes erreurs absolues (figures 2.4B et 2.5B<sup>1</sup>) confirment la mauvaise représentativité des fréquences théoriques des premières classes de hauteurs calculées par la loi exponentielle. De par l'ajustement de la loi exponentielle, les stations Lennoxville-CDA et Val-d'Or-A présentent, en juillet pour la première classe de précipitations horaires, des erreurs absolues respectives de 117,03 et de 112,47. L'erreur d'ajustement totale de la loi exponentielle pour ces stations en juillet est respectivement de 303,78 et de 283,85. Les lois gamma et gamma généralisée démontrent des erreurs absolues moins élevées sur l'ensemble des classes. On note par exemple, à la station de Lennoxville-CDA en juillet, des erreurs d'ajustement de la loi gamma généralisée et de la loi gamma de 71,24 et 76,38 respectivement.

Le test du chi-deux, à 95 pour cent, effectué pour la station Val-d'Or-A en juillet, conduit à l'acceptation des lois gamma et gamma générale-

---

<sup>1</sup> Le tableau C.2 de l'annexe C donne les valeurs des erreurs absolues de chaque classe de mai et juillet, selon chaque loi statistique pour les deux stations étudiées.

ralisée pour représenter le phénomène. Par contre, pour la station Lennoxville-CDA, le test ne se révèle pas significatif pour aucune des trois lois. La grande dispersion des fréquences d'occurrences des hauteurs de précipitations horaires pour la station Lennoxville-CDA semble influencer la fiabilité de l'ajustement des lois gamma et gamma généralisée. En effet, les courbes d'ajustements de ces deux lois pour cette station représentent moins bien la distribution des faibles hauteurs de précipitations comparer aux ajustements de celles-ci pour Montréal-International-A (figure 2.3) et Val-d'Or-A (figure 2.5B).

Les conclusions que l'on peut tirer suite aux résultats des ajustements statistiques des données horaires de précipitations aux stations Lennoxville-CDA et Val-d'Or-A, sont les mêmes que pour la station de Montréal-International-A. L'emploi de la loi gamma à deux paramètres et de la loi gamma généralisée est plus adéquat que celui de la loi exponentielle pour représenter l'ensemble des distributions empiriques mensuelles des données horaires. Néanmoins, à cause des raisons citées à la section 2.1.4, l'utilisation de la loi gamma à deux paramètres pour modéliser les hauteurs de pluie horaires est jugée préférable aux trois stations étudiées à celle de la loi gamma généralisée.

## 2.2 Répartition mensuelle de la pluie saisonnière et des fréquences des précipitations horaires

La section précédente a permis de mieux connaître l'allure générale des distributions des hauteurs horaires de précipitations pour différents mois. Malgré la grande variabilité des précipitations, ces distributions ont montré des profils similaires pour chacun des mois étudiés. Cependant, des différences notables quant à la gamme de variation des hauteurs de pluie horaires pour les périodes estivale (juillet et août), printanière et automnale (mai et octobre, respectivement) ont été notées.

Notre intérêt est maintenant porté sur les répartitions mensuelles des précipitations en pourcentage de la pluie saisonnière et des fréquences

relatives des précipitations horaires. Ces paramètres nous renseignent sur les diverses fluctuations saisonnières des pluies au Québec méridional.

### 2.2.1 Quelques précisions sur les données utilisées

Dix stations pluviographiques ont été retenues pour l'analyse des répartitions mensuelles des précipitations et des fréquences d'occurrence. Elles sont réparties dans les différentes régions météorologiques<sup>1</sup> du Québec méridional. La région météorologique 707 (Haute-Mauricie) n'est cependant pas représentée à cause du faible nombre de stations pluviographiques présentes, celles-ci étant de plus, caractérisées par peu d'années d'opération et une quantité importante d'observations horaires manquantes. Les stations choisies, localisées au sud du Québec méridional (au sud de 47 degrés de latitude nord) sont les suivantes: Montréal-International-A, Québec-A, Sainte-Agathe-des-Monts et Sherbrooke-A. On retrouve cependant au nord du Québec méridional (d'ouest en est), les stations Barrage des Quinze, Val-d'Or-A, Bagotville-A, La Pocatière-CDA, Cap-Madeleine et Natashquan-A.

Pour chacune des stations, les valeurs mensuelles du pourcentage de la pluie saisonnière et des fréquences relatives des pluies horaires sont estimées à partir de séries d'observations s'étendant sur quinze ans. Chaque période d'enregistrements de données de pluie horaire étudiée, s'échelonne généralement de 1966 à 1980 inclusivement. Cependant, il est très difficile d'obtenir d'aussi longues séries d'observations pluviographiques sans trop de données manquantes pour les stations côtières de la Gaspésie et de la Côte Nord. Les stations Cap-Madeleine et Natashquan-A appartenant à ces deux régions respectives, ont quand même été retenues et ce, même si elles ne possédaient pas quinze années d'observations. Ces stations comptent respectivement quatorze et douze années d'opération.

---

<sup>1</sup> Les caractéristiques telles que la région météorologique, la localisation géographique, l'altitude et le pourcentage de données manquantes, propres aux dix stations sont inscrites dans le tableau des inventaires de l'ensemble des stations pluviographiques au Québec (annexe A).

Les stations Barrage des Quinze et Cap-Madeleine possèdent les pourcentages les plus élevés de données manquantes; ces pourcentages sont respectivement de 12,6 pour cent et 8,6 pour cent. Les huit autres stations ont moins de six pour cent de données manquantes.

Les stations longeant le fleuve Saint-Laurent telles que Montréal-International-A, Québec-A, La Pocatière-CDA, Cap-Madeleine et Natashquan-A sont situées à moins de 75 mètres d'altitude tandis que les autres stations plus continentales dépassent 150 mètres d'altitude.

### 2.2.2 Répartition mensuelle des précipitations en pourcentage de la pluie saisonnière

Les répartitions mensuelles des précipitations en pourcentage de la pluie saisonnière sont déterminées à partir des données de précipitations horaires dans le but d'obtenir des résultats homogènes pour l'ensemble de cette étude. Comme on l'a déjà mentionné à la section 1.5, les pourcentages de la pluie saisonnière calculés à partir des pluies horaires pourraient quelque peu différer des pourcentages calculés à partir des pluies journalières provenant du pluviomètre.

Le pourcentage mensuel de la pluie saisonnière est le paramètre qui représente la hauteur totale de précipitations d'un mois donné par rapport à la totalité de la pluie produite de la période mai à octobre. Ce pourcentage est défini pour un mois donné "i" par l'équation suivante:

$$P_i^* = \frac{P_{ij}}{\sum_{j=5}^{10} P_{ij}} \times 100 \quad (2.14)$$

où  $P_{ij} = \sum_{k=1}^j p_{ik}$  et  $p_{ik}$  est la pluie totale du mois i de la kième année d'observation de la période considérée;

$i = 5, 6, \dots 10^1$ ;  
et  $j$  est le nombre d'années d'observation disponibles ( $10 \leq j \leq 15$ ).

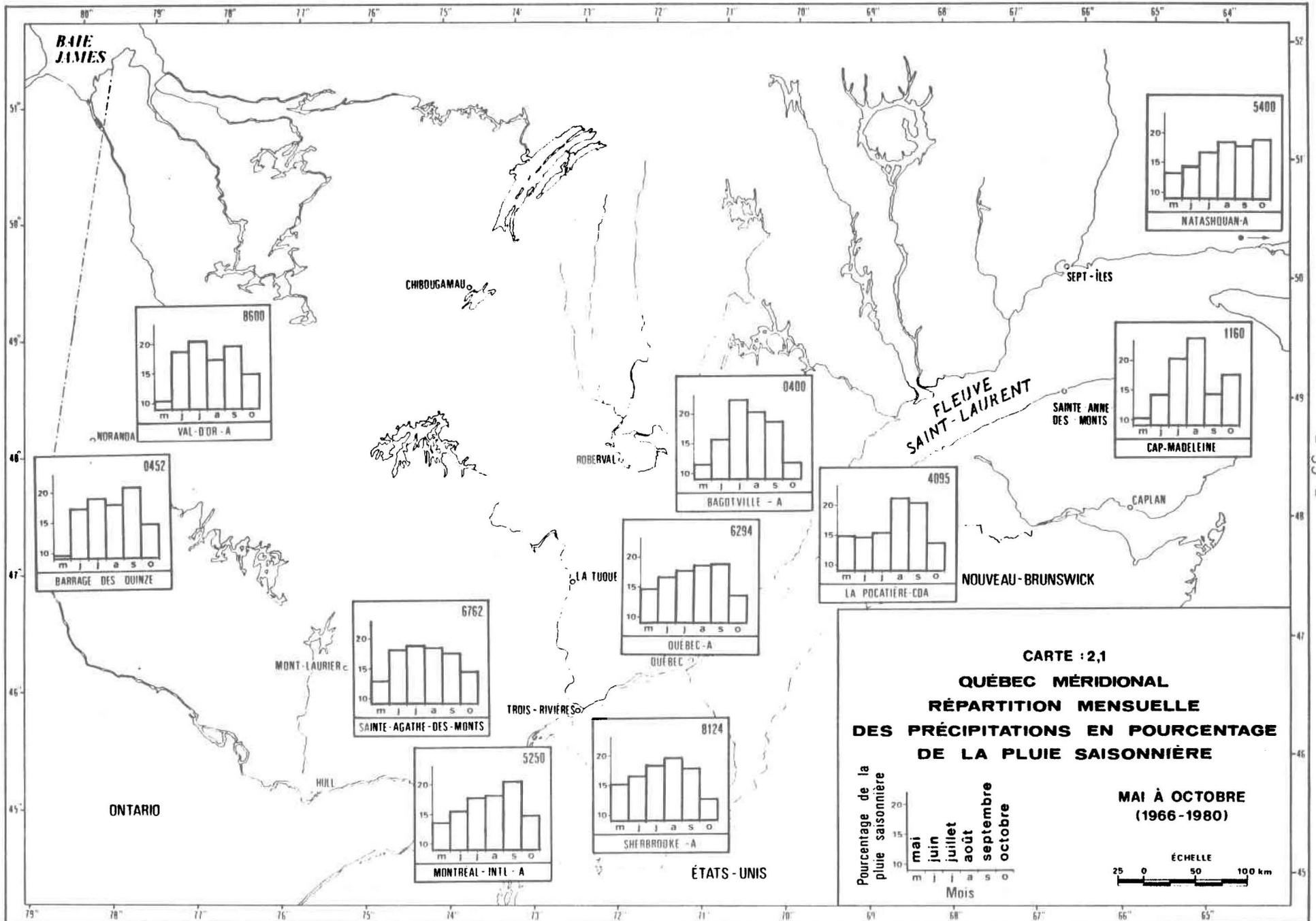
La carte 2.1 représente les répartitions mensuelles des précipitations en pourcentage de la pluie saisonnière aux dix stations pluviographiques sélectionnées. On constate qu'entre chacune des stations, les répartitions mensuelles des précipitations de mai à octobre sont quelques peu différentes et n'offrent pas de patron précis pour l'ensemble du Québec méridional. Néanmoins, on peut dégager certaines caractéristiques communes aux différentes stations étudiées.

Pour la majorité des stations, il existe un cycle saisonnier des précipitations. En effet, on note une tendance générale à l'augmentation des valeurs du pourcentage de la pluie saisonnière du mois de mai aux mois de juillet et août. De façon générale, on constate également une diminution des pourcentages en octobre. Pour certaines stations cependant, par exemple Québec-A ou Montréal-International-A, l'augmentation se poursuit jusqu'en septembre.

D'après les diagrammes de la carte 2.1, les contributions mensuelles à la pluie saisonnière les moins élevées proviennent généralement des mois de mai et octobre pour la majorité des stations, sauf à Natashquan-A et Cap-Madeleine. Spécialement à la station de Natashquan-A, on remarque que les pourcentages sont les plus élevés vers la fin de l'été (août) et en début d'automne (septembre et octobre). Cette caractéristique des répartitions saisonnières des précipitations est propre aux stations subissant l'effet maritime (Wilson, 1973). La stabilisation des masses d'air au contact des eaux fraîches du Golfe du Saint-Laurent, semble avoir un effet modérateur sur les précipitations pour l'été. Par contre, la station de Cap-Madeleine qui est située elle aussi en bordure du Golfe, paraît cependant moins influencée par l'effet modérateur de cette masse d'eau en été. En effet, on retrouve des maxima de précipitations en été et on note un

---

<sup>1</sup> 5 = mai, 6 = juin, 7 = juillet, 8 = août, 9 = septembre, 10 = août.



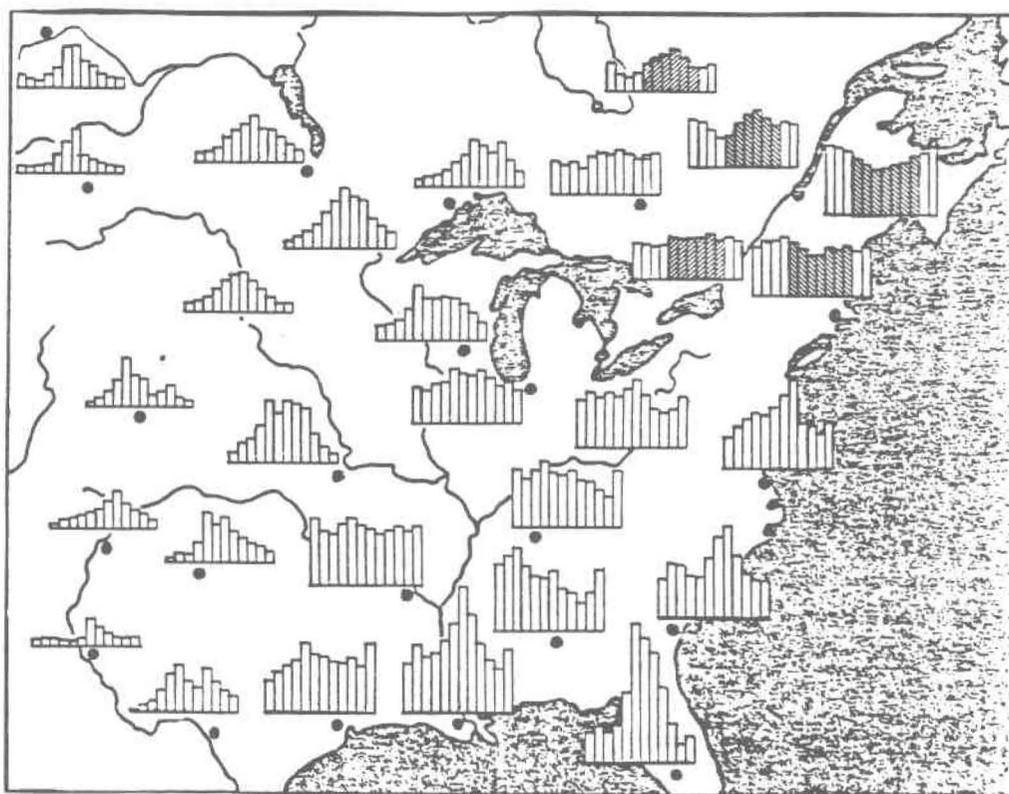
pourcentage moins élevé de pluie en septembre qu'en octobre. Ce comportement pourrait être attribuable à l'exposition de la station qui est différente de celle de Natashquan-A en termes des vents dominants.

Certaines stations possèdent de très faibles écarts entre leurs valeurs estivales (juin, juillet et août) du pourcentage de la pluie saisonnière, citons comme exemples: Sainte-Agathe-des-Monts et Barrage des Quinze. Cependant, d'autres stations telles que La Pocatière-CDA, Cap-Madeleine ou Bagotville-A montrent de grands écarts pour les mois d'été.

D'après les résultats obtenus, il ne semble pas exister de relations distinctes entre la latitude ou l'altitude des stations pluviographiques et l'allure des régimes de précipitations en pourcentage de la pluie saisonnière. Ce fait laisse donc supposer que la fréquence et le type de perturbations voyageant au-dessus du Québec méridional est un facteur beaucoup plus influent que l'altitude et la latitude.

Viers (1974), présentant le régime annuel des précipitations aux Etats-Unis et au Canada, démontre que les traits continentaux des régimes de précipitations s'atténuent progressivement du centre du Canada vers l'est (carte 2.2). Selon lui, les régimes de précipitations à caractère typiquement continental sont représentés par un hiver sans trop de précipitations et des maxima en été. Malheureusement, n'ayant pas les valeurs mensuelles de pourcentage de la précipitation pour la totalité des mois de l'année, on ne peut vérifier l'allure des régimes des précipitations pour l'hiver. Cependant, on peut quand même comparer l'allure des répartitions des précipitations sur les mois de mai à octobre, pour l'est de l'Amérique du Nord (parties hachurées de la carte 2.2 de Viers (1974) avec nos résultats.

Selon Viers (1974), les régimes des précipitations ayant des maxima en été et des minima en automne et au printemps à l'est de l'Amérique du Nord, sont des régimes mixtes de précipitations, c'est-à-dire ayant à la fois des caractéristiques continentales et maritimes. Ces résultats ont été constatés pour la majorité des stations choisies du Québec méridional (carte 2.1).



CARTE 2.2 Régime des précipitations aux Etats-Unis et au Canada  
(tiré de Viers, 1974).

Néanmoins, les stations ayant des régimes de précipitations croissants de mai à octobre, comme le montre la carte 2.2 pour les stations situées sur la côte est américaine, subissent beaucoup plus les influences maritimes. Cette caractéristique a aussi été décelée pour la station de Natashquan-A (carte 2.1). Enfin, Viers (1974) écrit que ce mélange d'influences océaniques et continentales dans les régimes des précipitations reflètent bien les caractéristiques du climat de façade oriental du continent.

### 2.2.3 Répartition mensuelle des fréquences relatives des précipitations horaires

Jusqu'à maintenant, les études sur le régime pluviométrique du Québec ont porté davantage sur les hauteurs de pluies mensuelles (c.f. Wilson, 1973; Houde, 1978). Les fréquences mensuelles des précipitations horaires sont peu ou mal connues pour le Québec. Après avoir étudié la répartition mensuelle de la pluie, on se propose donc d'examiner si les fréquences des précipitations horaires subissent les mêmes variations saisonnières.

Les valeurs mensuelles des fréquences relatives des précipitations horaires ont dû être normalisées pour contrer l'effet des observations manquantes pour certains mois. En effet, on retrouve en général pour les mois de mai et octobre, une quantité relativement importante de données manquantes à différentes stations. Ces observations manquantes de pluie pour ces mois, occasionnent souvent des fréquences mensuelles moins élevées que la normale. Les répartitions mensuelles des fréquences des pluies sont donc représentées à l'aide de fréquences relatives normalisées ( $F_{n_i}$ ) pour un mois donné "i".  $F_{n_i}$  est défini par l'équation suivante:

$$F_{n_i} = \left[ \frac{F_{ij}}{\sum_{i=5}^{10} F_{ij}} \right] * C_i \quad (2.15)$$

où  $F_{ij} = \sum_{k=1}^j f_{ik}$  où  $f_{ik}$  est le nombre d'occurrences de précipitations (en heure) pour le mois  $i$  de la  $k$ ième année d'observation de la période considérée;

$j$  est le nombre d'années d'observation disponibles ( $10 \leq j \leq 15$ );

et  $C_i$  = facteur de correction pour le mois " $i$ ".

Le facteur de correction  $C_i$  pour le mois " $i$ " est défini par:

$$C_i = \frac{H_{Ti}}{H_{Oi}} \quad (2.16)$$

où  $H_{Ti}$  = nombre total d'heures comprises dans le mois " $i$ " pour " $j$ " années d'observation (par exemple: mai = 744 heures \*  $j$  années d'observation; juin = 720 heures \*  $j$  années d'observation; etc...);

et  $H_{Oi}$  = nombre total d'observations horaires avec ou sans précipitations archivées pour le mois " $i$ " pendant les " $j$ " années d'opérations.

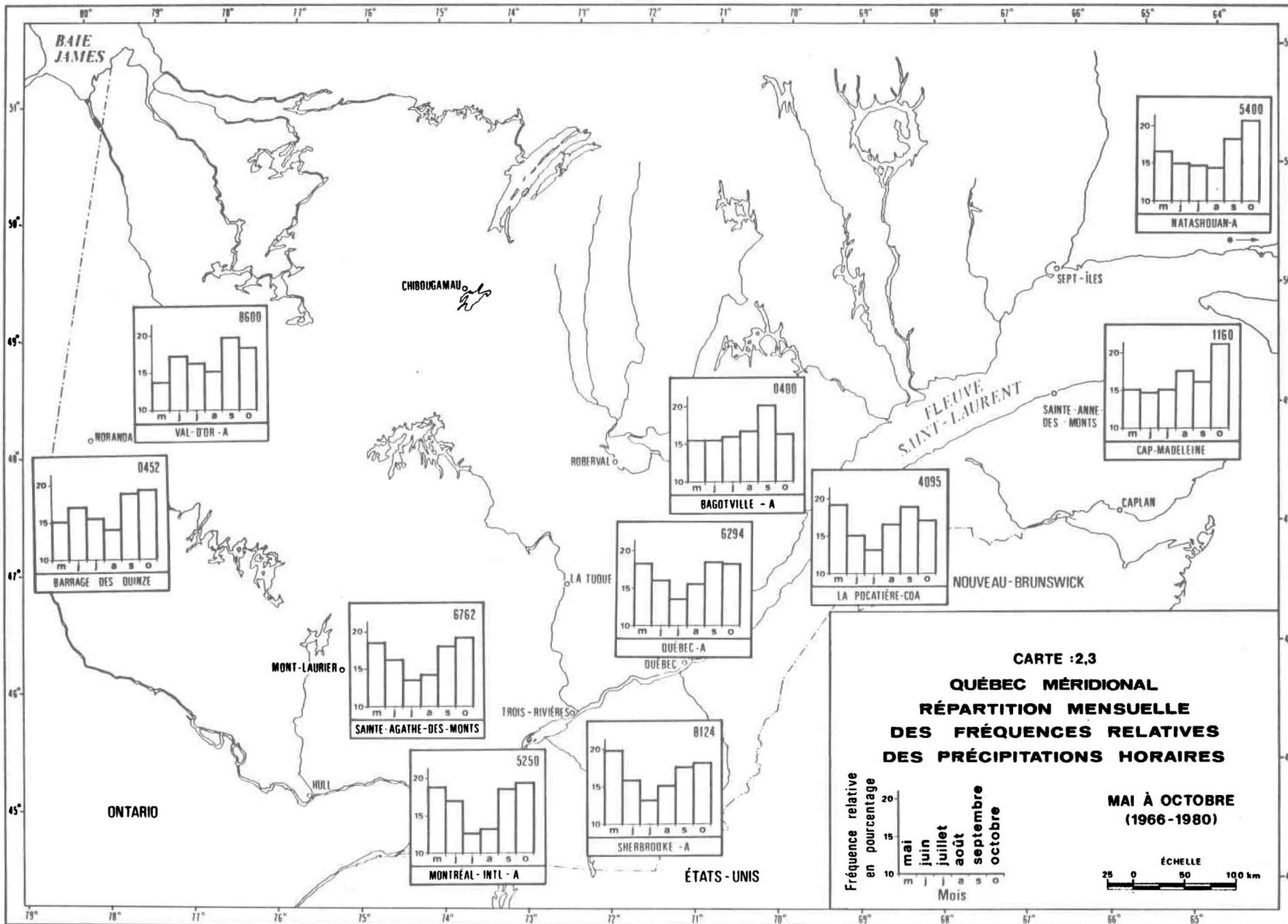
Les répartitions mensuelles des fréquences relatives normalisées des précipitations horaires pour les dix stations étudiées à la section 2.2 sont représentées sur la carte 2.3. En examinant cette carte, on remarque la similitude des patrons mensuels des cinq stations du sud du Québec: Sherbrooke-A, Montréal-International-A, Sainte-Agathe-des-Monts, Québec-A et La Pocatière-CDA. Le profil général à ces cinq stations est caractérisé par des fréquences de précipitations horaires élevées en mai, qui ont tendance à décroître jusqu'en juillet et subissent une nouvelle augmentation d'août à septembre.

On note de légères différences dans le patron des répartitions mensuelles des fréquences des stations du sud du Québec méridional et celui des

stations côtières Natashquan-A et Cap-Madeleine. A ces deux stations, les valeurs des fréquences pour les mois de mai à août ne présentent pas tellement de variations, et peuvent être considérées comme stables. Une augmentation des fréquences de précipitations horaires à l'automne (septembre et/ou octobre) caractérise cependant les répartitions mensuelles des stations Natashquan-A et Cap-Madeleine.

Les profils que nous offrent les deux stations côtières sont similaires aux stations de même latitude, c'est-à-dire Barrage des Quinze, Val-d'Or-A et Bagotville-A. En effet, pour ces trois stations, on retrouve des fréquences relatives normalisées minimales en mai et maximales en automne.

D'après les résultats obtenus (carte 2.3), une certaine relation existe entre la position géographique, la latitude en particulier et les variations saisonnières des fréquences de précipitations horaires. En effet, pour les stations situées au sud du Québec méridional (sous 47 degrés de latitude nord), on retrouve deux maxima, un en mai et l'autre en octobre. Pour les stations au nord du Québec méridional, il n'existe qu'un maximum de fréquence de pluie horaire; celui-ci se produit généralement en début d'automne (septembre et/ou octobre). Ce changement dans le patron des répartitions mensuelles des fréquences de pluie horaire des stations de différentes latitudes, est intimement lié à la trajectoire des dépressions affectant le Québec méridional au cours de l'été. Comme nous l'avons déjà mentionné à la section 1.2, l'intensité du rayonnement terrestre s'élevant à la fin de l'hiver et au printemps, produit un réchauffement des masses d'air polaire et arctique. Simultanément, il s'effectue un décalage vers le nord des trajectoires des perturbations du front polaire. Zishka et Smith (1980) ont fait une étude sur la climatologie des cyclones et des anticyclones sur l'Amérique du Nord pour les mois de janvier et juillet. Ils constatent que les latitudes moyennes des cyclones et des anticyclones sont respectivement de 49,4 et 45,7 degrés nord pour janvier et de 54,2 et 49,7 degrés nord pour juillet. Cette remontée nordique des dépressions pendant l'été agit sur les fréquences des précipitations horaires des stations au nord de 47 degrés de



latitude nord. Une autre étude sur les fréquences des cyclones sur l'Amérique du Nord a été faite par Reitan (1974). Cet auteur a étudié les fréquences des cyclogénèses et des trajectoires moyennes des cyclones en janvier, avril, juillet et octobre. Il trouve des ressemblances entre les trajectoires moyennes des cyclones de janvier et avril, celles-ci sont situées plus au sud que celles de juillet et octobre.

On peut supposer d'après les résultats de ces deux études que la valeur maximale en mai des fréquences des précipitations aux stations du sud du Québec méridional, serait probablement causée par le passage prédominant des dépressions sur la vallée du Saint-Laurent.

Enfin, l'altitude ne semble pas avoir une influence très marquante sur le profil des répartitions. Les résultats des répartitions mensuelles des fréquences relative aux stations situées à plus de 200 mètres d'altitude soit: Sainte-Agathe-des-Monts, Sherbrooke-A, Barrage des Quinze et Val-d'Or-A, montrent des répartitions semblables aux stations de basse altitude.

#### 2.2.4 Comparaison entre les répartitions mensuelles de la pluie saisonnière et de la fréquence des précipitations horaires

A partir de l'analyse des cartes 2.1 et 2.3, on s'aperçoit que le mois offrant la plus grande pluviosité en termes de hauteur de pluie n'est pas nécessairement celui qui possède la plus grande fréquence des précipitations horaires. Par exemple pour la station de Sherbrooke-A, les mois où les précipitations horaires sont les moins fréquentes sont juillet et août (carte 2.3); cependant, on retrouve pour ces deux mois, les pourcentages mensuels de la pluie saisonnière les plus élevés. On peut donc supposer que les précipitations horaires d'été à la station Sherbrooke-A sont moins fréquentes mais par contre plus intenses. En mai et en octobre, d'après les cartes 2.1 et 2.3, la situation inverse se produit; les fréquences des pluies horaires y sont maximales tandis que les pourcentages mensuels y sont habituellement minimaux. En général, on observe pour la majorité des

stations du sud du Québec méridional, les mêmes variations saisonnières en ce qui concerne les répartitions des fréquences et des pourcentages.

Pour les stations au nord du Québec méridional, on distingue moins clairement les caractéristiques des précipitations citées précédemment pour le sud durant l'été. En effet, le patron des fréquences relatives mensuelles des précipitations horaires nous révèle des maxima seulement en septembre ou octobre mais non en mai. De mai à août, les fréquences relatives offrent généralement de faibles variations tandis que les pourcentages mensuels ont tendance à augmenter pour ces mêmes mois. En résumé, pour les stations du nord du Québec méridional, le nombre de précipitations horaires ne varient pas tellement de mai à août, seules les hauteurs horaires de précipitations deviennent plus importantes en été.

#### 2.2.5 Répartition des classes de hauteur de précipitations horaires

La répartition des différentes classes de hauteur de précipitations horaires est présentée en termes de fréquence relative au tableau 2.6. Pour faire ce classement, les données de différents mois ayant des caractéristiques pluviométriques similaires, ont été groupées. Les regroupements se sont faits de la façon suivante: mai et juin, juillet et août, septembre et octobre.

Quatre classes de hauteur de précipitations horaires ont été utilisées pour représenter différents types de pluies:

1. précipitations horaires très faible (0,0 à 2,5 mm);
2. précipitations horaires faible (2,5 à 5,0 mm);
3. précipitations horaires modérée (5,0 à 10,0 mm);
4. précipitations horaires forte (10,0 mm et plus).

D'après les résultats obtenus au tableau 2.6, on remarque pour la majorité des stations que les répartitions des classes de hauteur de précipitations horaires pour la période de mai et juin et celles de septembre et

Tableau 2.6 Fréquences relatives des différentes classes de hauteur de précipitations horaires au Québec méridional (1966-1980).

A: mai et juin;  
B: juillet et août;  
C: septembre et octobre.

Nom de la station	Classe de hauteur de précipitations horaires*			
	Très faible	Faible	Modérée	Forte
Québec-A	0,842	0,108	0,039	0,011
Montréal-International-A	0,890	0,080	0,023	0,007
Sherbrooke-A	0,860	0,100	0,029	0,011
Sainte-Agathe-des-Monts	0,858	0,093	0,043	0,006
(A) Natashquan-A	0,872	0,097	0,029	0,002
Cap-Madeleine	0,937	0,048	0,012	0,003
La Pocatière-CDA	0,903	0,072	0,020	0,005
Bagotville-A	0,901	0,068	0,024	0,005
Barrage des Quinze	0,871	0,079	0,041	0,009
Val-d'Or-A	0,887	0,075	0,033	0,005
Moyenne	0,882	0,082	0,029	0,006

Nom de la station	Classe de hauteur de précipitations horaires*			
	Très faible	Faible	Modérée	Forte
Québec-A	0,760	0,133	0,077	0,030
Montréal-International-A	0,787	0,109	0,072	0,032
Sherbrooke-A	0,769	0,116	0,071	0,039
Sainte-Agathe-des-Monts	0,786	0,116	0,076	0,027
(B) Natashquan-A	0,824	0,110	0,055	0,011
Cap-Madeleine	0,866	0,081	0,045	0,008
La Pocatière-CDA	0,828	0,099	0,059	0,014
Bagotville-A	0,806	0,122	0,059	0,013
Barrage des Quinze	0,818	0,099	0,063	0,020
Val-d'Or-A	0,832	0,098	0,058	0,012
Moyenne	0,808	0,108	0,064	0,021

Nom de la station	Classe de hauteur de précipitations horaires*			
	Très faible	Faible	Modérée	Forte
Québec-A	0,845	0,103	0,043	0,009
Montréal-International-A	0,874	0,076	0,039	0,011
Sherbrooke-A	0,872	0,093	0,025	0,010
Sainte-Agathe-des-Monts	0,886	0,073	0,036	0,005
(C) Natashquan-A	0,870	0,092	0,036	0,002
Cap-Madeleine	0,937	0,052	0,010	0,001
La Pocatière-CDA	0,868	0,099	0,030	0,003
Bagotville-A	0,896	0,085	0,018	0,001
Barrage des Quinze	0,888	0,085	0,023	0,004
Val-d'Or-A	0,892	0,082	0,022	0,004
Moyenne	0,883	0,084	0,028	0,005

\* Très faible: 0,0 à 2,5 mm  
Faible: 2,5 à 5,0 mm  
Modérée: 5,0 à 10,0 mm  
Forte: 10,0 mm et plus.

octobre, sont pratiquement les mêmes. La majorité des précipitations horaires (approximativement 88 pour cent) pour ces deux périodes appartiennent au type très faible; environ 8 pour cent des précipitations horaires sont faibles et pour les classes modérées et fortes, on retrouve des pourcentages moyens de 2,9 et 0,6 pour cent respectivement.

La période de juillet et août se caractérise surtout par des fréquences relatives des classes de hauteurs de précipitations très faibles, moins élevées que pour les deux périodes étudiées précédemment. Pour ces deux mois estivaux, on constate une augmentation par rapport aux autres classes. Les hauteurs horaires très faibles constituent pour cette période estivale 80,8 pour cent des précipitations. Les autres classes, c'est-à-dire faibles, modérées et fortes ont des valeurs respectives de 10,8, 6,4 et 2,1 pour cent. Il est à remarquer que pour chaque période étudiée, la fréquence des très faibles précipitations est toujours moins élevée à la station pluviographique de Québec-A. Cependant, la station de Cap-Madeleine présente toujours des fréquences plus élevées pour ce même type de précipitations sur les trois périodes d'observation.

En général, les répartitions des différentes classes de hauteur de précipitations horaires sont similaires pour les stations de même latitude, surtout au niveau des classes de fortes précipitations. Huff (1971) a fait lui aussi le classement des hauteurs horaires de précipitation pour différentes saisons de l'année en Illinois (Etats-Unis). Les changements saisonniers observés par Huff (1971) sur les répartitions des hauteurs de pluie du printemps à l'automne, sont similaires aux résultats du tableau 2.6.

### 2.3 Taux moyen horaire et fréquences des précipitations horaires pour les mois de mai à octobre sur le Québec méridional

Les propriétés thermodynamiques des perturbations atmosphériques se modifient tout au long de leur trajet sur le Québec méridional. Ces changements physiques des systèmes sont plus ou moins marqués selon les régions et les saisons. Ces changements ont pour effet de provoquer des fluctuations

saisonniers et spatiales pour les régions pluviométriques au Québec (c.f. section 2.2). Les ouvrages de Houde (1978) et Proulx (1984) présentent la répartition spatiale des précipitations moyennes mensuelles et annuelles sur le Québec méridional. Ces ouvrages permettent de distinguer des régions de fortes pluviosités au Québec méridional pour chacun des mois de l'année.

Cependant les études à grande échelle des précipitations horaires sont peu nombreuses et il n'en existe pas pour le Québec. C'est pourquoi à l'intérieur de cette section, par une analyse des cartes mensuelles des taux moyens horaires et des fréquences de précipitations horaires sur le Québec méridional, on tentera de mettre en évidence les caractéristiques spatio-temporelles des pluies au pas de temps horaire.

### 2.3.1 Données utilisées

Les données de précipitations horaires de 70 stations pluviographiques du Québec ont servi à la préparation des cartes mensuelles du taux moyen horaire et des fréquences horaires de pluie. Ces stations sélectionnées possèdent au moins 10 ans de données sur la période de 1966 à 1980 et moins de 20 pour cent de données manquantes. La localisation et le numéro d'identification de chacune de ces stations ont été présentés à la carte 1.1 (c.f. section 1.4). Les statistiques donnant les pourcentages mensuels de données manquantes à chaque station sont présentées à l'annexe D.

Il faut préciser que les données de certaines stations n'apparaîtront pas sur toutes les cartes des fréquences de précipitations horaires. Un pourcentage mensuel trop élevé de données manquantes (habituellement plus grand que 20 pour cent) entraînait des valeurs sous-estimées et aberrantes de fréquence à ces stations par rapport à leurs voisines, même si ces valeurs avaient été préalablement normalisées<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Les valeurs mensuelles des fréquences de précipitations horaires qui semblaient suspectes, ont été vérifiées, en comparant les précipitations totales moyennes du mois donné "i", prise par le pluviomètre (de 1966 à 1980) et le produit du taux moyen horaire ( $\bar{T}_i$ ) par la fréquence des précipitations ( $F_i$ ) du mois "i" à cette même station. Si la différence entre les valeurs était plus grande que 15 pour cent, cette valeur de fréquence était éliminée.

### 2.3.2 Taux moyen horaire sur la base mensuelle

Le taux moyen horaire pour le mois  $i$  ( $\bar{T}_i$ ), correspond à la hauteur moyenne de pluie tombant en une heure pour une période de temps considéré. Dans le cadre de cette étude, ce paramètre pluviométrique est calculé sur une base mensuelle et se traduit mathématiquement par l'équation suivante:

$$\bar{T}_i = \frac{P_{ij}}{F_{ij}} \quad (2.16)$$

où  $P_{ij} = \sum_{k=1}^j p_{ik}$  où  $p_{ik}$  est la pluie totale du mois  $i$  de la  $k$ ème année d'observations de la période considérée;

$F_{ij} = \sum_{k=1}^j f_{ik}$  où  $f_{ik}$  est le nombre d'occurrences de précipitations (en heure) pour le mois  $i$  de la  $k$ ème année d'observation de la période considérée;

$j$  est le nombre d'années d'observation disponibles ( $10 \leq j \leq 15$ );

et  $i = 5, 6, \dots, 10^1$ .

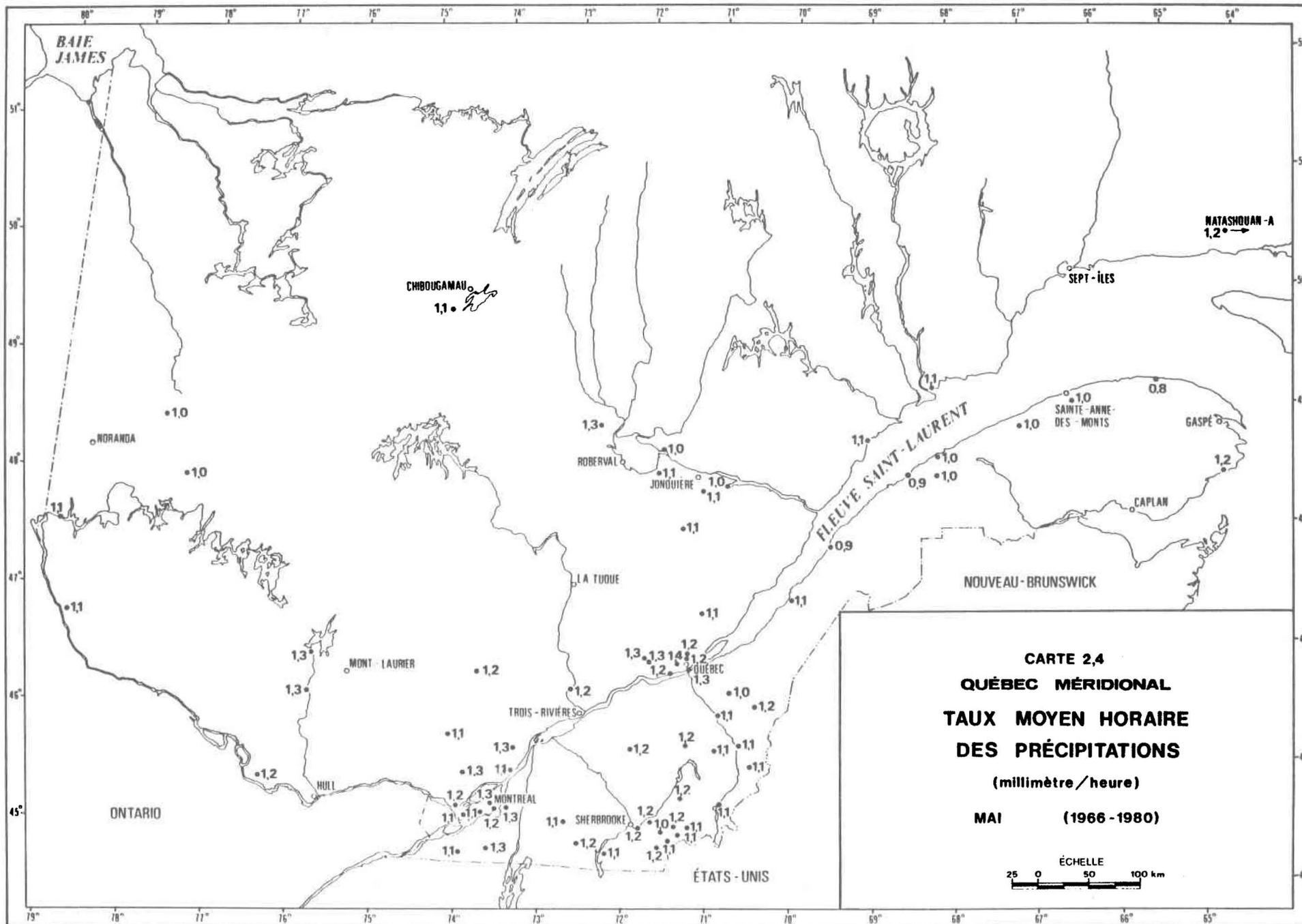
Il ne faut surtout pas confondre entre le taux moyen et l'intensité horaire réelle de la pluie car le taux moyen horaire n'est qu'un indice de l'intensité horaire réelle. En effet, comme on l'a mentionné dans la section 1.5, la donnée horaire de précipitations provenant du pluviographe, est le "cumul" des hauteurs de pluies sur une heure civile fixe. Les taux moyens horaires de pluie sont calculés à partir des précipitations horaires observées pour chacun des six mois de la saison (mai à octobre). On fait l'hypothèse que les pluies horaires mesurables sont distribuées de façon homogène tout au long d'un mois considéré.

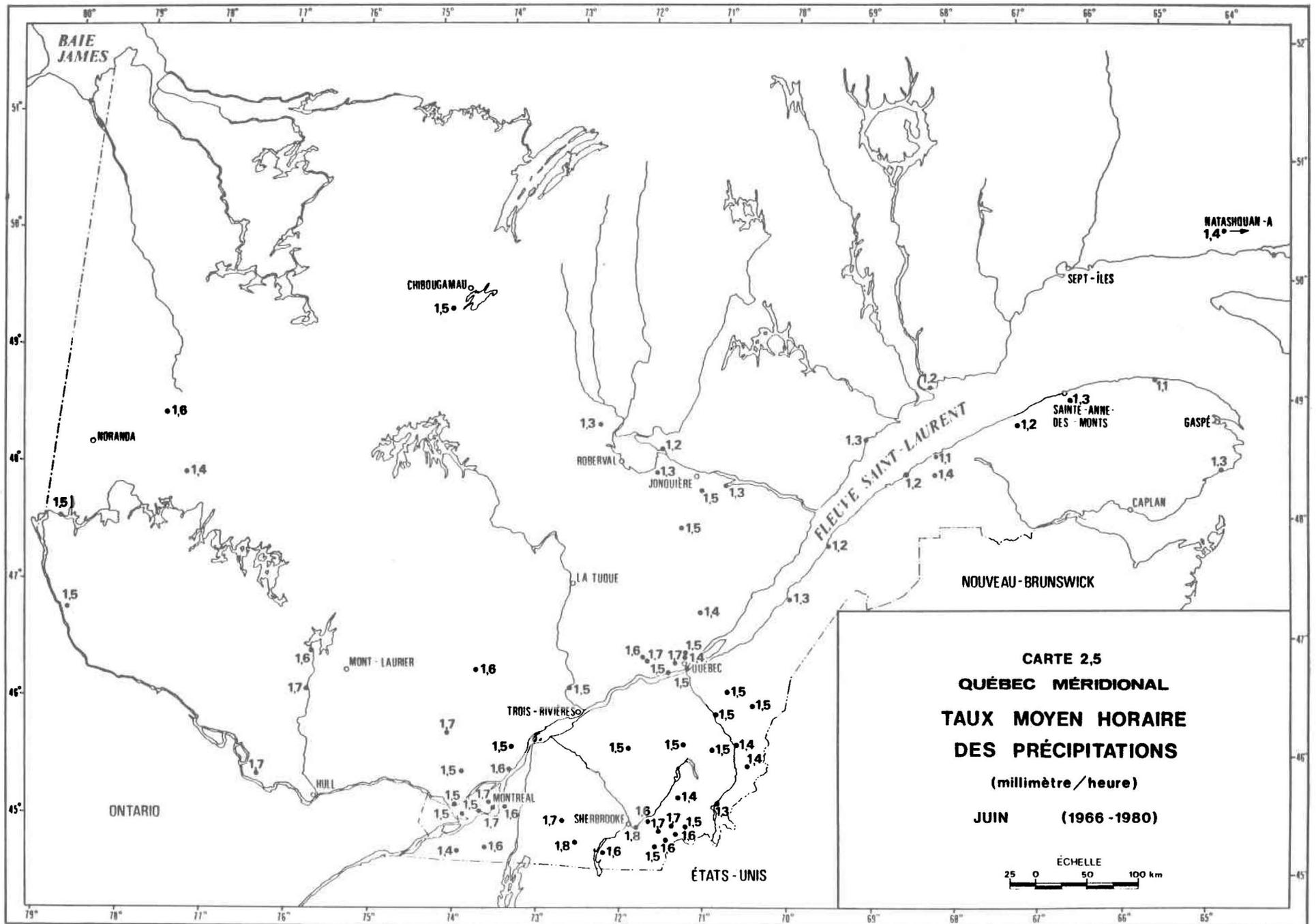
---

<sup>1</sup> "i" correspond au mois de l'année étudiée c'est-à-dire: 5 = mai, 6 = juin, 7 = juillet, 8 = août, 9 = septembre, 10 = octobre.

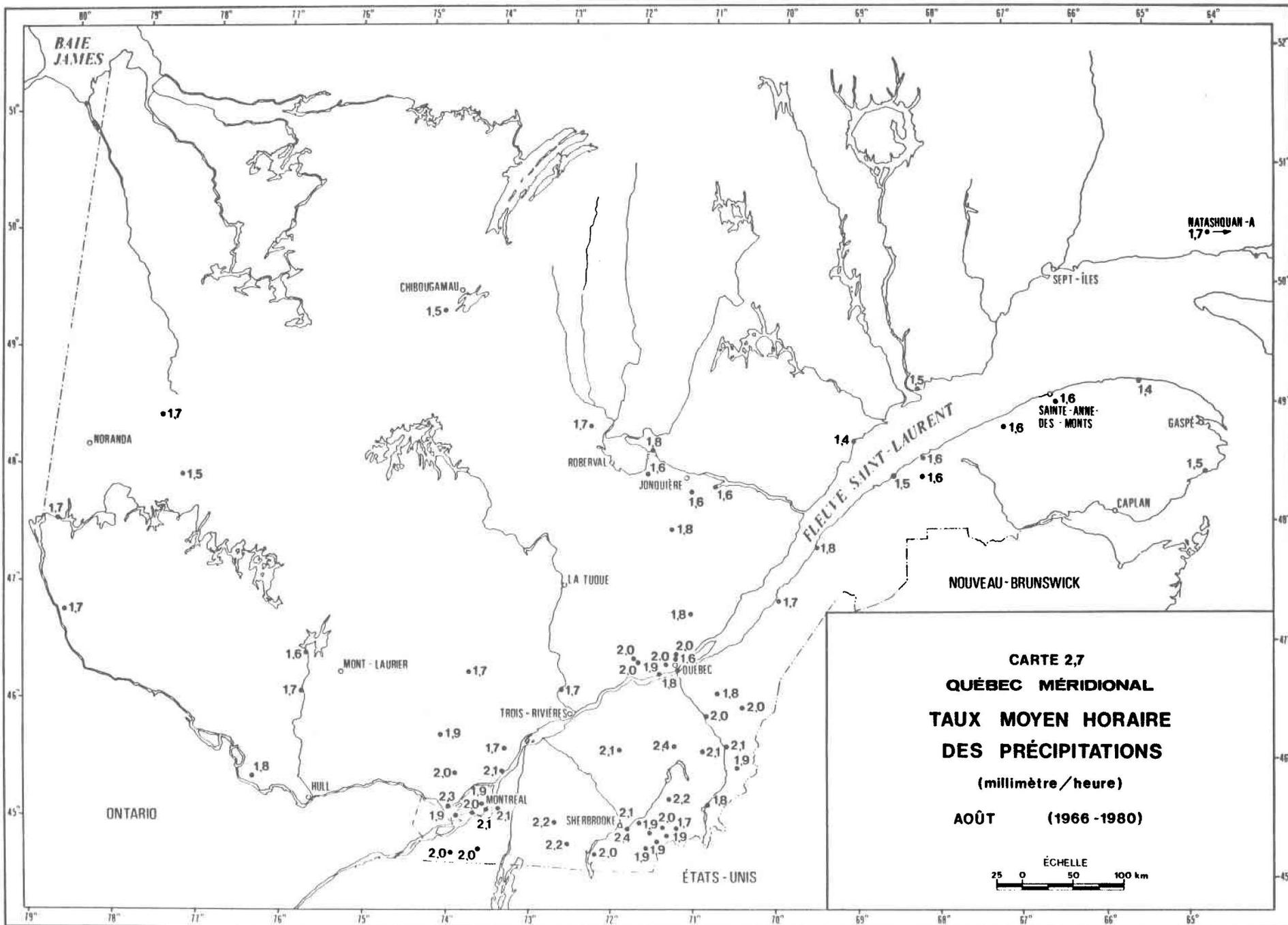
Pour chaque mois étudié, on a pointé sur les cartes 2.4 à 2.9, le taux moyen horaire pour chacune des stations. L'étude de ces cartes nous indique le peu de variabilité entre les valeurs des taux moyens des stations d'une même région météorologique. Citons l'exemple de la carte 2.4 représentant le mois de mai où les données pointées du taux moyen horaire pour les stations de la Beauce et des Cantons de l'Est varient de  $1,1 \text{ mmh}^{-1}$  à  $1,3 \text{ mmh}^{-1}$ . En général, ces différences spatiales ne sont pas significatives car les écarts types associés aux taux moyens horaires sont relativement élevés pour chaque mois soit de l'ordre de  $0,09 \text{ mmh}^{-1}$ . Le tableau 2.7 présente les statistiques mensuelles incluant le taux moyen horaire, l'écart type de la moyenne et le coefficient de variation des précipitations à la station de Val-d'Or-A. Il est à noter que les variations mensuelles du taux moyen horaire à la station de Val-d'Or-A sont généralement observées pour la majorité des stations étudiées. Pour l'ensemble des stations, les variations mensuelles du taux moyen horaire sont plus importantes que les variations spatiales. Le taux moyen horaire a tendance à augmenter de mai à juillet ou août selon les stations et cette augmentation est suivie d'une diminution en automne. L'évolution mensuelle de l'écart type est semblable à celle du taux horaire moyen. Les valeurs des écarts types de mai à août pour Val-d'Or-A vont de  $0,08$  à  $0,10 \text{ mmh}^{-1}$ . Numériquement, l'importance de la dispersion des observations autour de la moyenne est donnée par les valeurs du coefficient de variation qui varie de 7 à 9 pour cent sur la période mai à octobre. L'augmentation de l'écart type associé au taux moyen horaire provient de la plus grande variation des hauteurs de pluie en été (c.f. section 2.1). A cause des valeurs relativement élevées des écarts types associés aux taux moyens horaires et de la faible variabilité spatiale de ce paramètre pluviométrique, il est difficile de tracer des isolignes sur les cartes 2.4 à 2.9.

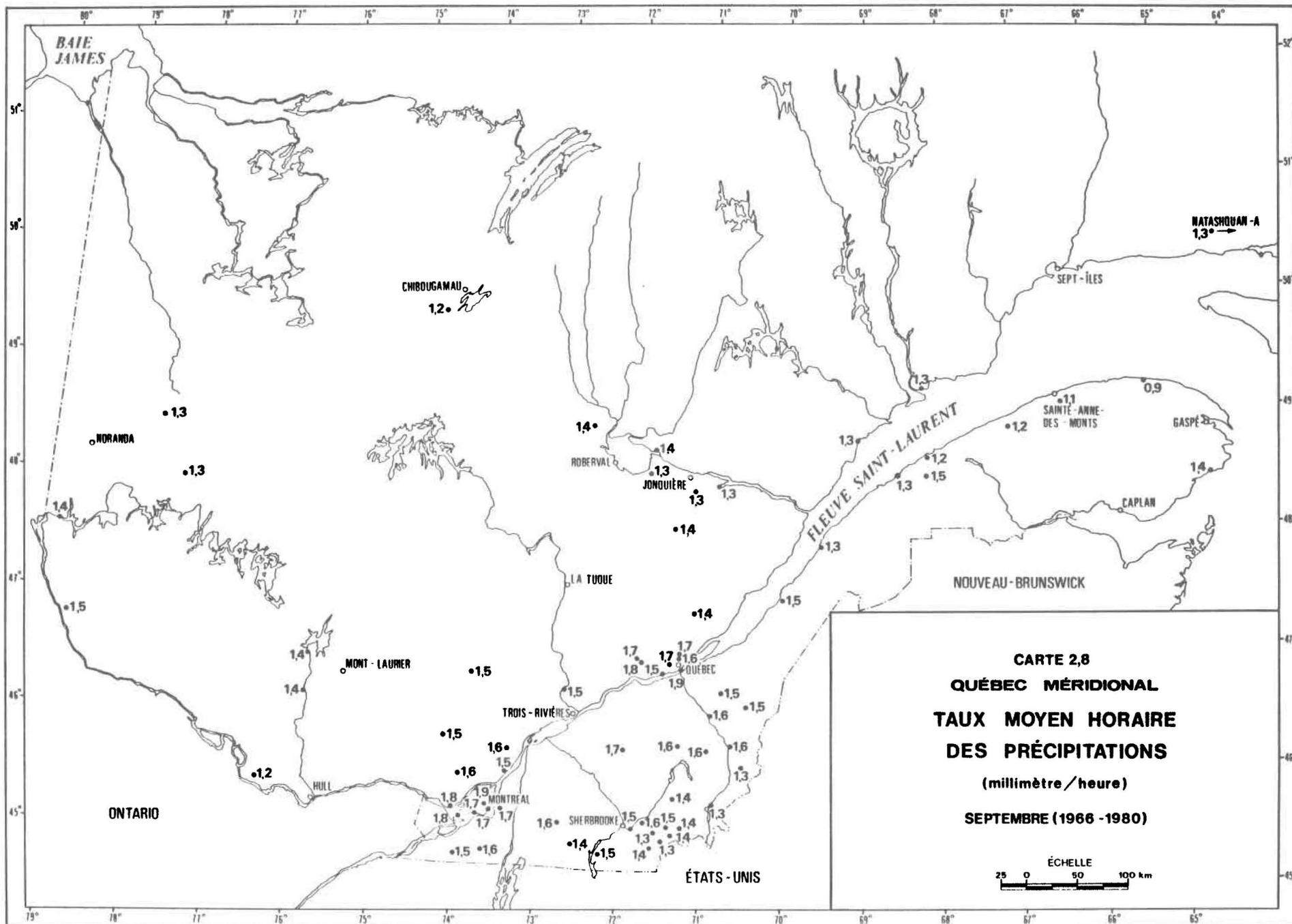
Des tendances générales des valeurs du taux moyen horaire ressortent cependant à chaque mois. On retrouve habituellement des valeurs plus élevées du taux moyen horaire aux stations du sud du Québec, plus précisément sous 47 degrés de latitude nord. Les stations où les valeurs sont ordinairement moins élevées, sont situées au nord de 47 degrés de latitude,











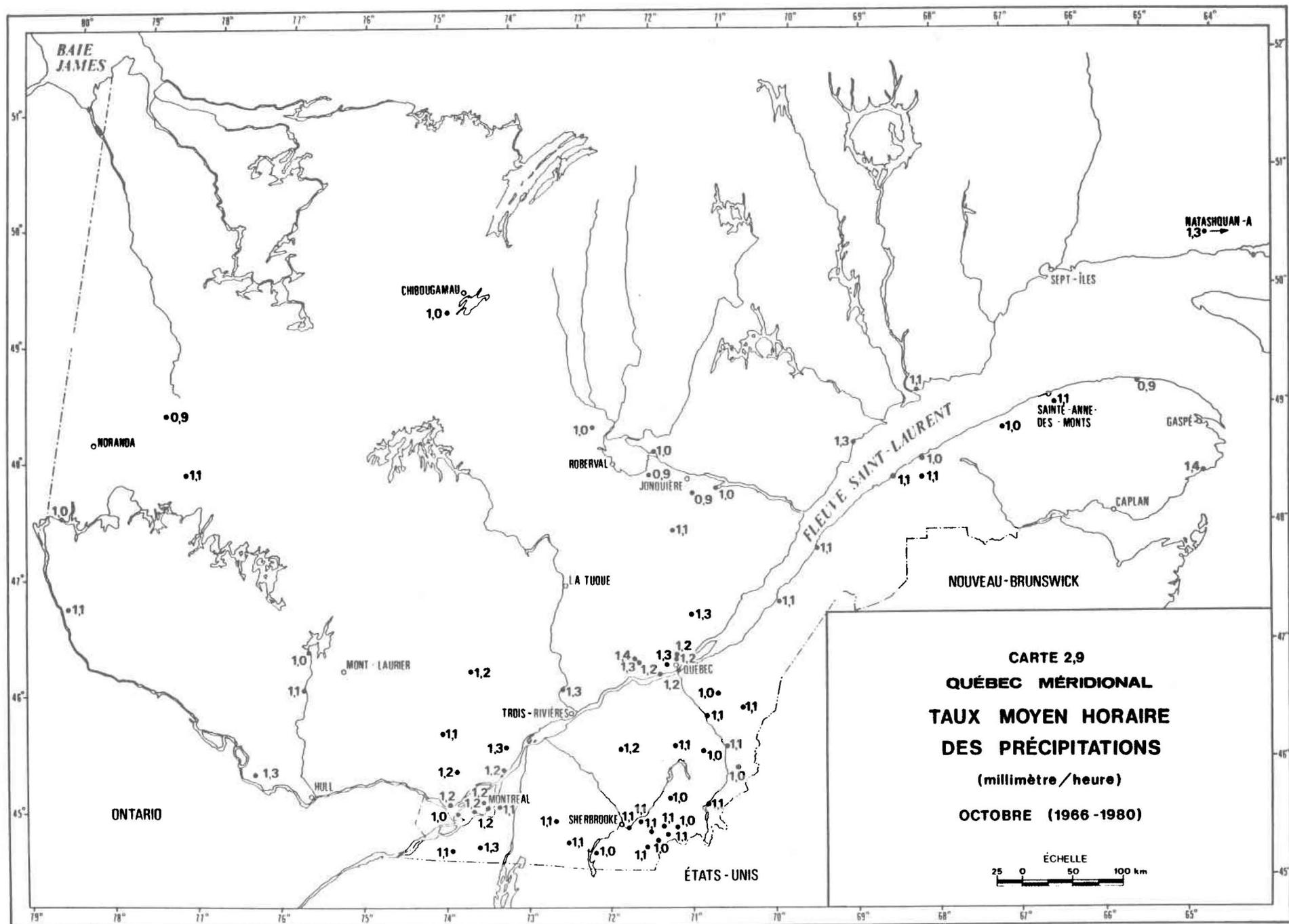


Tableau 2.7 Statistiques mensuelles sur le taux moyen horaire des précipitations à la station Val-d'Or-A (1966-1980).

Mois	Taux moyen horaire ( $\bar{T}_i$ ) (mmh <sup>-1</sup> )	Ecart type* ( $s_i'$ ) (mmh <sup>-1</sup> )	Coefficient de variation ( $C_{vi}$ )**
Mai	1,0	0,08	0,08
Juin	1,4	0,09	0,06
Juillet	1,6	0,09	0,06
Août	1,5	0,10	0,07
Septembre	1,3	0,08	0,06
Octobre	1,1	0,10	0,09

\* Ecart type de la moyenne estimé par la formule suivante:

$$s_i' = \left[ \frac{1}{j} \sum_{k=1}^j \frac{(T_{ik} - \bar{T}_i)^2}{j-1} \right]^{1/2} \text{ où } T_{ik} = \frac{p_{ik}}{f_{ik}} \text{ et } p_{ik} \text{ et } f_{ik} \text{ sont tels que définis pour les équations 2.14 et 2.15 respectivement.}$$

$$** C_{vi} = \frac{s_i'}{\bar{T}_i}$$

dans les régions suivantes: Côte Nord, côte gaspésienne, Saguenay - Lac Saint-Jean et Abitibi-Témiscamingue. Ces dernières présentent des amplitudes saisonnières du taux moyen horaire plus faibles qu'aux stations situées au sud du Québec méridional. On peut supposer que les pluies convectives généralement de forte intensité ont un effet plus marqué dans le sud du Québec, là où les températures maximales estivales sont plus élevées que dans le nord. En effet, les données de température maximales moyennes (Jacques, 1982) démontrent que celles-ci sont plus fortes au sud du Québec; ces températures élevées provoquent plus facilement l'instabilité atmosphérique qui peut créer les mouvements convectifs.

L'allure des six cartes mensuelles ne montrent pas de lien apparent entre la topographie et le taux moyen horaire. Par exemple, la station de Forêt Montmorency (2388) située en haute altitude (640 m) offre approximativement les mêmes valeurs de taux moyen horaire et quelques fois des valeurs plus basses que celles de la région de Québec. Les études de Hendrick et Heat (1978) et Passarelli et Boehme (1983) ont démontré que les valeurs des intensités moyennes des précipitations aux Etats-Unis ne sont que peu influencées par la topographie du territoire. L'étude de Hendrick et Heat (1978) a démontré de très faibles variations du taux moyen horaire des précipitations pour des stations de différentes altitudes dans le Vermont (Etats-Unis) pendant les mois d'octobre à mai. Passarelli et Boehme (1983) ont démontré pour le sud de la Nouvelle-Angleterre (Etats-Unis), que les précipitations totales moyennes pour des stations de haute altitude peuvent être de 20 à 60 pour cent plus élevées que celles de basse altitude. Leurs résultats montrent cependant que la répartition spatiale du taux moyen horaire ne coïncident pas nécessairement avec la topographie de ce territoire. Ces deux auteurs en analysant les taux de précipitations horaires à deux stations d'altitudes différentes, trouvent une augmentation du taux moyen horaire de pluie avec l'altitude ne dépassant pas  $0,5 \text{ mmh}^{-1}$ , cependant ce taux varie sur la région étudiée de seulement 1 à  $2 \text{ mmh}^{-1}$ .

Pour faciliter l'interprétation de ces cartes mensuelles et mettre en évidence les relations pouvant exister entre la valeur mensuelle du taux

moyen et les différentes variables météorologiques et physiographiques (température maximale moyenne, altitude, latitude et longitude) propres aux stations considérées, les coefficients de corrélation entre chaque variable ont été déterminés. On a choisi la température maximale moyenne mensuelle comme indice de l'importance de l'effet convectif à l'échelle mensuelle. Le but de cet exercice est de déterminer lequel ou lesquels des variables ci-haut mentionnées, ont le plus d'influence sur la valeur du taux moyen horaire. Pour chacun des mois, les coefficients de corrélation entre le taux moyen horaire et les différentes variables météorologiques et physiographiques choisies sont présentés au tableau 2.8.

D'après ce tableau, on constate que les coefficients de corrélation entre le taux moyen horaire et la température maximale (tableau 2.8) augmente de mai à juillet, se stabilise de juillet à septembre et diminue considérablement en octobre. La valeur du coefficient de corrélation entre ces deux variables varie au cours de la saison de façon similaire au taux moyen horaire c'est-à-dire augmentation du printemps à l'été pour ensuite diminuer en octobre. La latitude, pour les mois de juin à septembre, a des coefficients de corrélation avec le taux moyen horaire dépassant 0,50. Cependant pour la variable longitude ainsi que la variable altitude, les coefficients de corrélation avec le taux moyen mensuel sont beaucoup moins significatifs ( $< 0,5$ ). Toutefois, en juin et juillet principalement, la longitude semble avoir une légère influence sur le taux moyen horaire. En effet, sur les cartes 2.4 à 2.9, on remarque que la valeur du taux moyen horaire des précipitations semble augmenter généralement du nord au sud et de l'est vers l'ouest. L'altitude présente pour tous les mois des coefficients de corrélation avec le taux moyen horaire qui ne sont pas significatifs (tableau 2.8). Ces valeurs viennent confirmer les résultats des cartes ne démontrant pas de relation évidente entre le taux moyen horaire et l'altitude.

On sait physiquement que la température maximale selon les saisons, varie surtout avec la latitude, ceci a été confirmé par une étude des coefficients de corrélation entre les variables explicatives (annexe E). Les

Tableau 2.8 Coefficients de corrélation entre le taux mensuel moyen horaire des précipitations et différentes variables météorologiques et physiographiques.

Coefficient de corrélation (r)	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre
	TAUX	TAUX	TAUX	TAUX	TAUX	TAUX
TMAX	0,462	0,498	0,704	0,566	0,626	0,187*
LAT	-0,416	-0,706	-0,692	-0,731	-0,598	-0,187*
LONG	0,254**	0,500	0,374	0,191*	0,278**	-0,154*
ALTI	-0,151*	0,194*	-0,118*	0,071*	-0,231*	-0,243*

TAUX: taux mensuel moyen horaire (mmh<sup>-1</sup>);  
 ALTI: altitude (mètre);  
 LAT: latitude nord (degré);  
 LONG: longitude ouest (degré);  
 TMAX: température mensuelle moyenne maximale (°C).

\* Non significatif à 5 pour cent.

\*\* Significatif à 5 pour cent mais non significatif à 1 pour cent.

résultats du tableau 2.8 ont démontré que ces deux variables: température maximale et latitude pouvaient avoir une bonne influence sur la valeur du taux moyen horaire. Cependant, les variables longitude et altitude ont une très faible influence sur le taux moyen horaire des précipitations pour les six mois étudiés. Ces résultats viennent donc confirmer l'hypothèse que les températures maximales moyennes plus élevées pour les mois d'été au Québec méridional correspondent à une augmentation de l'intensité horaire moyenne de la pluie. D'après Paul (1973), des températures élevées favorisent les mouvements convectifs de l'air et perturbent l'équilibre des couches d'air en altitude.

### 2.3.3 Fréquence des précipitations horaires sur la base mensuelle

La fréquence moyenne des précipitations horaires peut se définir comme le nombre d'heures moyen où il y a des pluies mesurables pour une période de temps donné. Un problème se pose cependant si l'on calcule simplement le nombre d'heures par mois avec des pluies mesurables. En effet, si le nombre de données manquantes est très élevé pour un mois donné à une station, la valeur de la fréquence observée sera biaisée par rapport à la valeur réelle des fréquences des précipitations horaires.

Pour contrer cet effet, une normalisation des données de fréquences horaires de précipitations qui tient compte du nombre total d'observations horaires (avec ou sans pluie) pour un mois donné, a été appliqué. Les fréquences moyennes mensuelles des précipitations horaires normalisées ( $\bar{F}_i$ ) sont définies par l'équation suivante:

$$\bar{F}_i = \frac{F_{ij}}{(F_{ij} + F'_{ij})} * H_i \quad (2.17)$$

où  $i = 5, 6, \dots, 10^1$ ;  $10 < j < 15$ ;

---

<sup>1</sup> "i" correspond aux mois de l'année étudiés, c'est-à-dire: 5 = mai, 6 = juin, 7 = juillet, 8 = août, 9 = septembre, 10 = octobre.

$F_{ij}$  = nombre d'heures où il y a des précipitations mesurables pendant le mois "i" pour "j" années d'observations;

$F'_{ij}$  = nombre d'heures sans précipitations pendant le mois "i" pour "j" années d'observations;

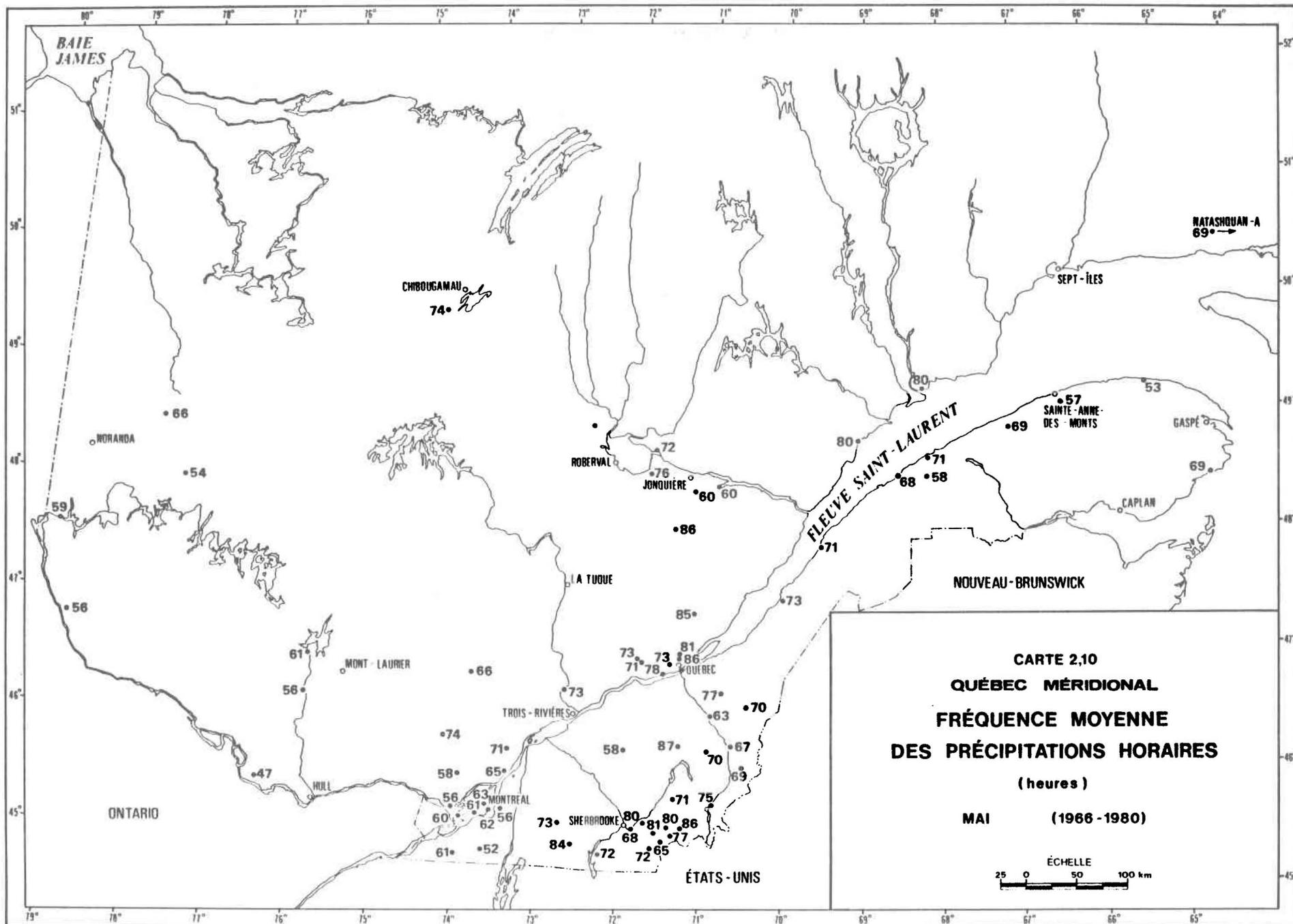
$H_i$  = nombre total d'heures observables pendant le mois "i" (744 pour les mois de 31 jours et 720 pour les mois de 30 jours);

$F_{ij} + F'_{ij}$  = nombre d'heures d'observations.

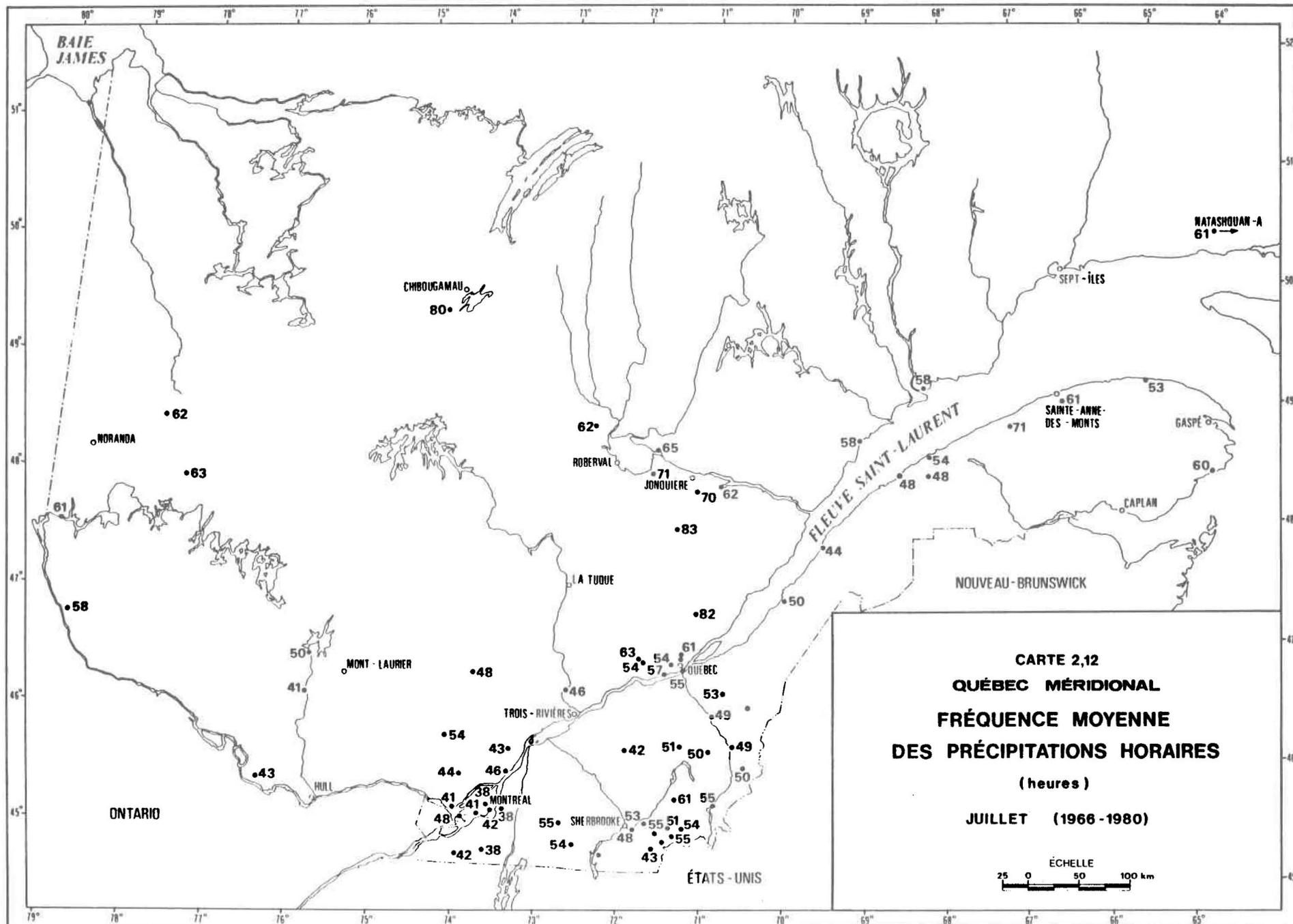
Les valeurs mensuelles de fréquences de précipitations horaires ont été évaluées pour les 70 stations pluviographiques décrites précédemment. Les valeurs des fréquences sont représentées sur les cartes 2.10 à 2.15. Tout comme les cartes du taux moyen horaire, on a jugé préférable de ne pas tracer d'isolignes étant donné l'écart type élevé associé à chaque fréquence moyenne, par rapport à la faible variabilité spatiale des valeurs des fréquences et la trop grande dispersion des stations étudiées, en particulier au nord du Québec méridional.

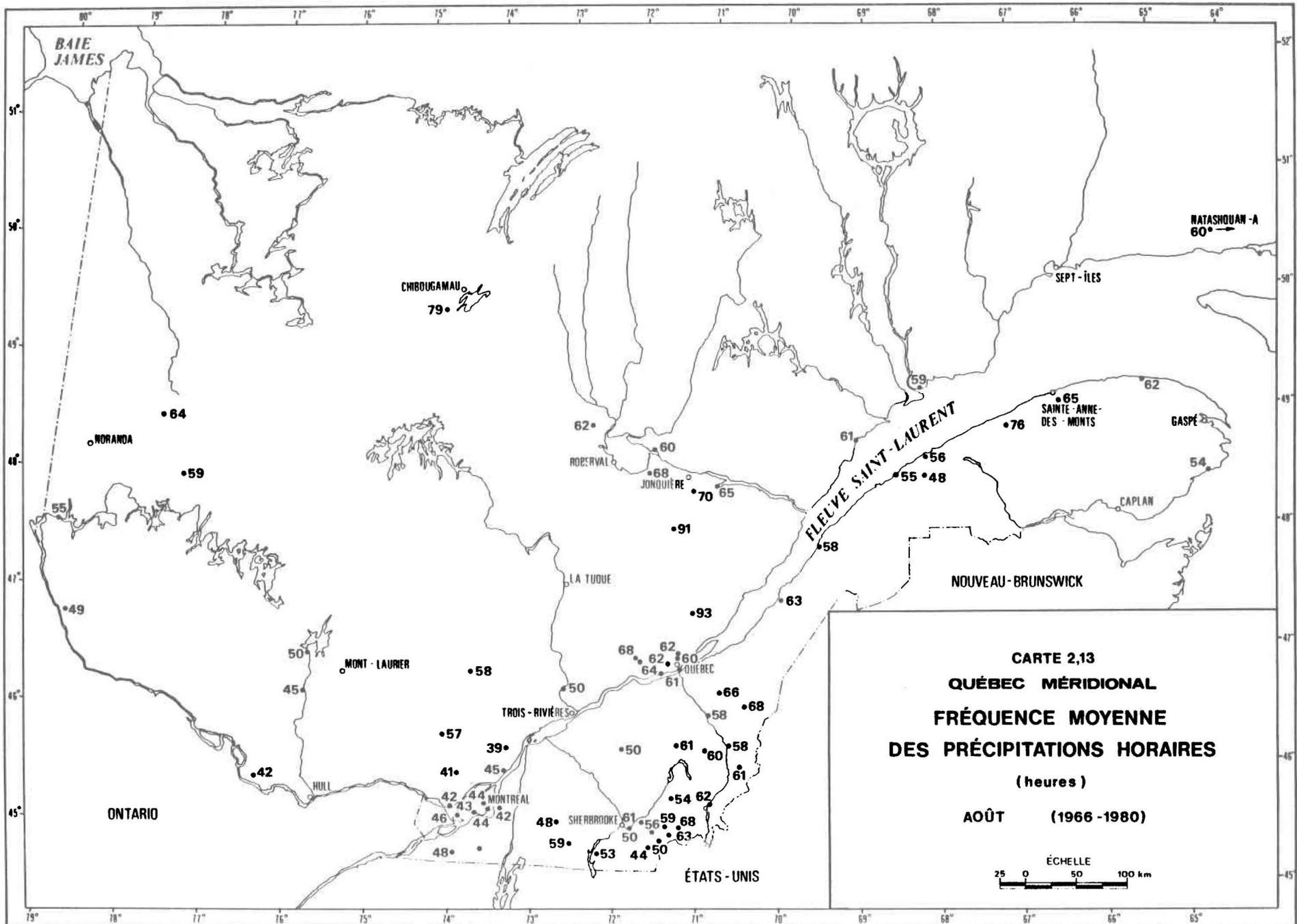
Le tableau 2.9 nous donne les valeurs des écarts types associées à chaque fréquence moyenne mensuelle des précipitations horaires, ainsi que les coefficients de variation pour la station Val-d'Or-A. Les valeurs mensuelles des coefficients de variation associées aux fréquences moyennes des pluies horaires montrent des valeurs légèrement plus élevées que pour le taux moyen horaire; celles-ci varient en effet de 6 à 13 pour cent selon les mois.

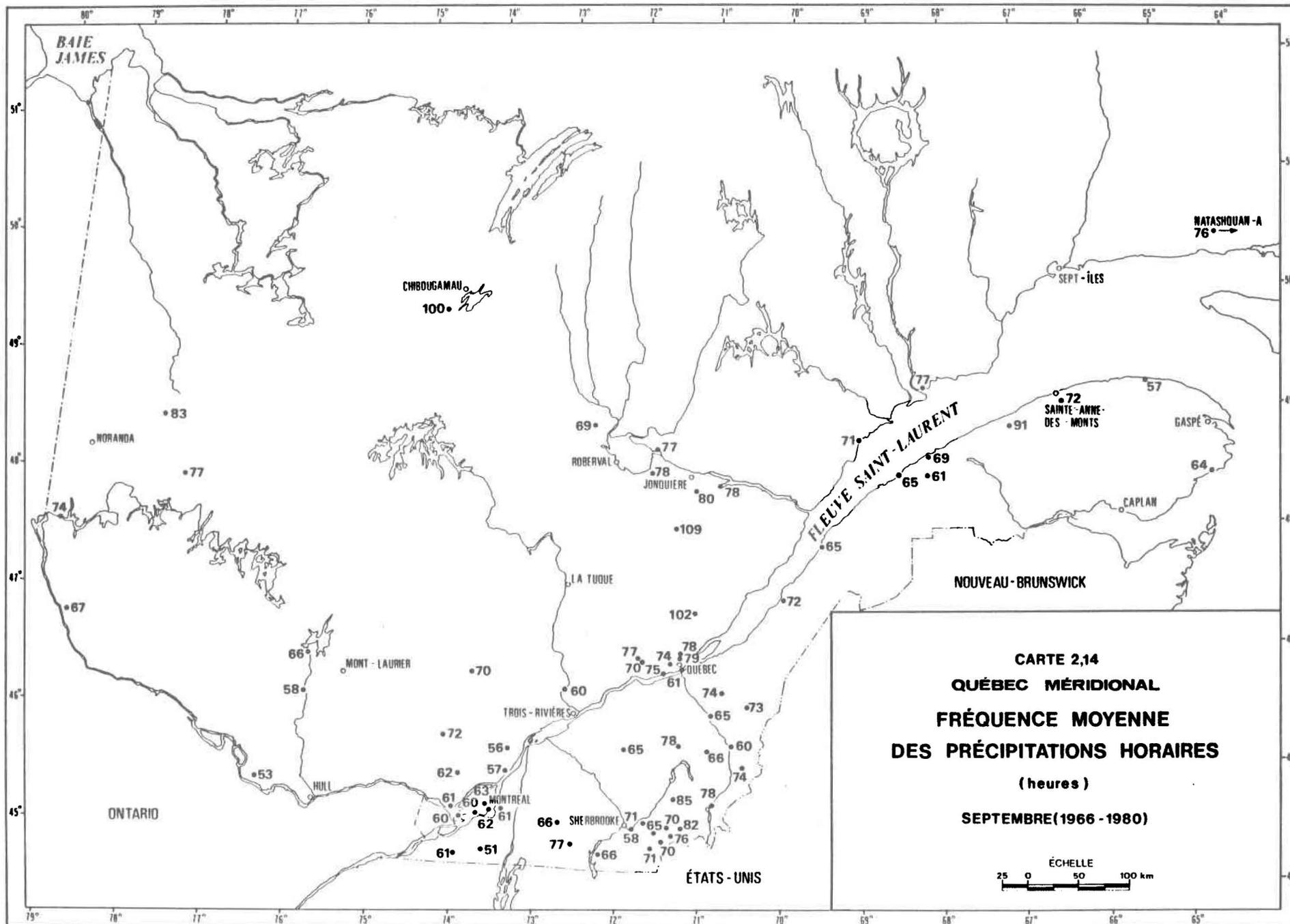
Les cartes 2.10 à 2.15 montrent un patron spatio-temporel bien différent de ceux du taux moyen horaire. Dans son ensemble, l'examen de la répartition saisonnière des fréquences de précipitations horaires, montre un comportement similaire aux diagrammes représentant les fréquences relatives mensuelles des pluies horaires pour les dix stations du Québec méridional de la section 2.2.3.











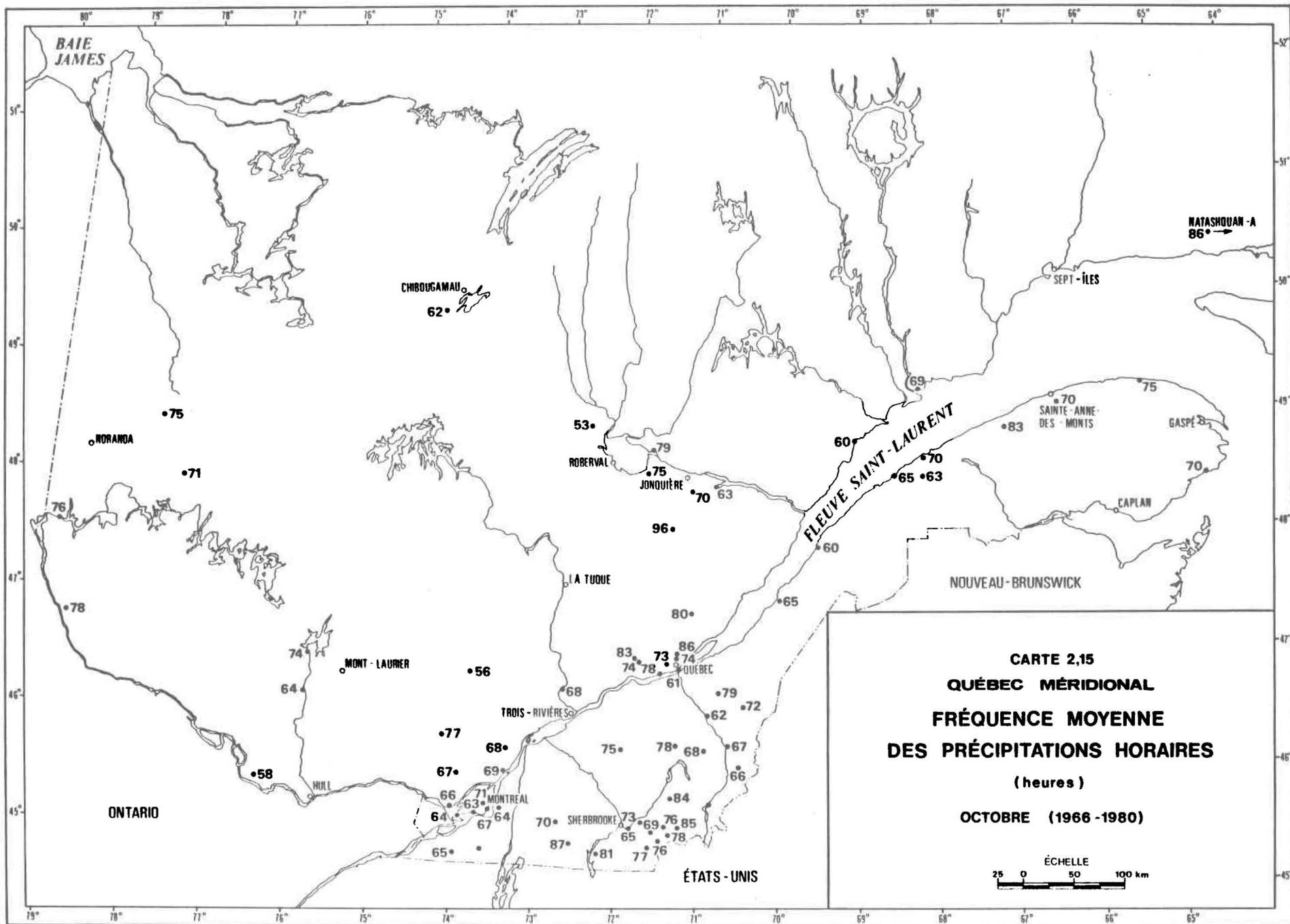


Tableau 2.9 Statistiques mensuelles sur les fréquences des précipitations horaires à la station Val-d'Or-A (1966-1980).

Mois	Fréquences absolues moyennes des précipitations horaires $(\bar{f}_i)$	Ecart type* $(s_i')$	Coefficient de variation $(C_{vi})^{**}$
Mai	52	7	0,13
Juin	67	6	0,09
Juillet	63	4	0,06
Août	58	4	0,07
Septembre	77	5	0,06
Octobre	71	5	0,07

\* Ecart type de la moyenne estimé par la formule suivante:

$$s_i' = \left[ \frac{1}{j} \sum_{k=1}^j \frac{(f_{ik}' - \bar{f}_i)^2}{j-1} \right]^{\frac{1}{2}} \text{ où } \bar{f}_i = \frac{1}{j} \sum_{k=1}^j f_{ik} \text{ et } f_{ik} \text{ est tel que défini pour l'équation 2.15.}$$

$$** C_{vi} = \frac{s_i'}{\bar{f}_i}$$

On retrouve un comportement saisonnier pour les fréquences moyennes de précipitations horaires tout à fait inverse de celui du taux moyen horaire, surtout aux stations du sud du Québec. Selon les cartes de fréquences, on constate un nombre maximal d'heures de précipitations en mai et octobre; le nombre minimal d'heures avec précipitations mesurables se produit généralement en juillet.

Comme on l'a vu auparavant, le cycle saisonnier des taux moyens horaires présente un maximum en été et des minimas en mai et octobre.

Pour les stations du nord du Québec méridional (au dessus de 47 degrés de latitude nord) situées au Lac Saint-Jean, sur la Côte Nord, sur la côte gaspésienne et en Abitibi-Témiscamingue, les variations saisonnières des fréquences de pluie horaire sont plus stables et régulières que les valeurs du sud. Les baisses des fréquences horaires pendant les mois d'été sont moins marquées et les fréquences maximales se produisent généralement en septembre pour les stations du nord. La seule exception à retenir est Natashquan-A où la fréquence moyenne maximale est en octobre.

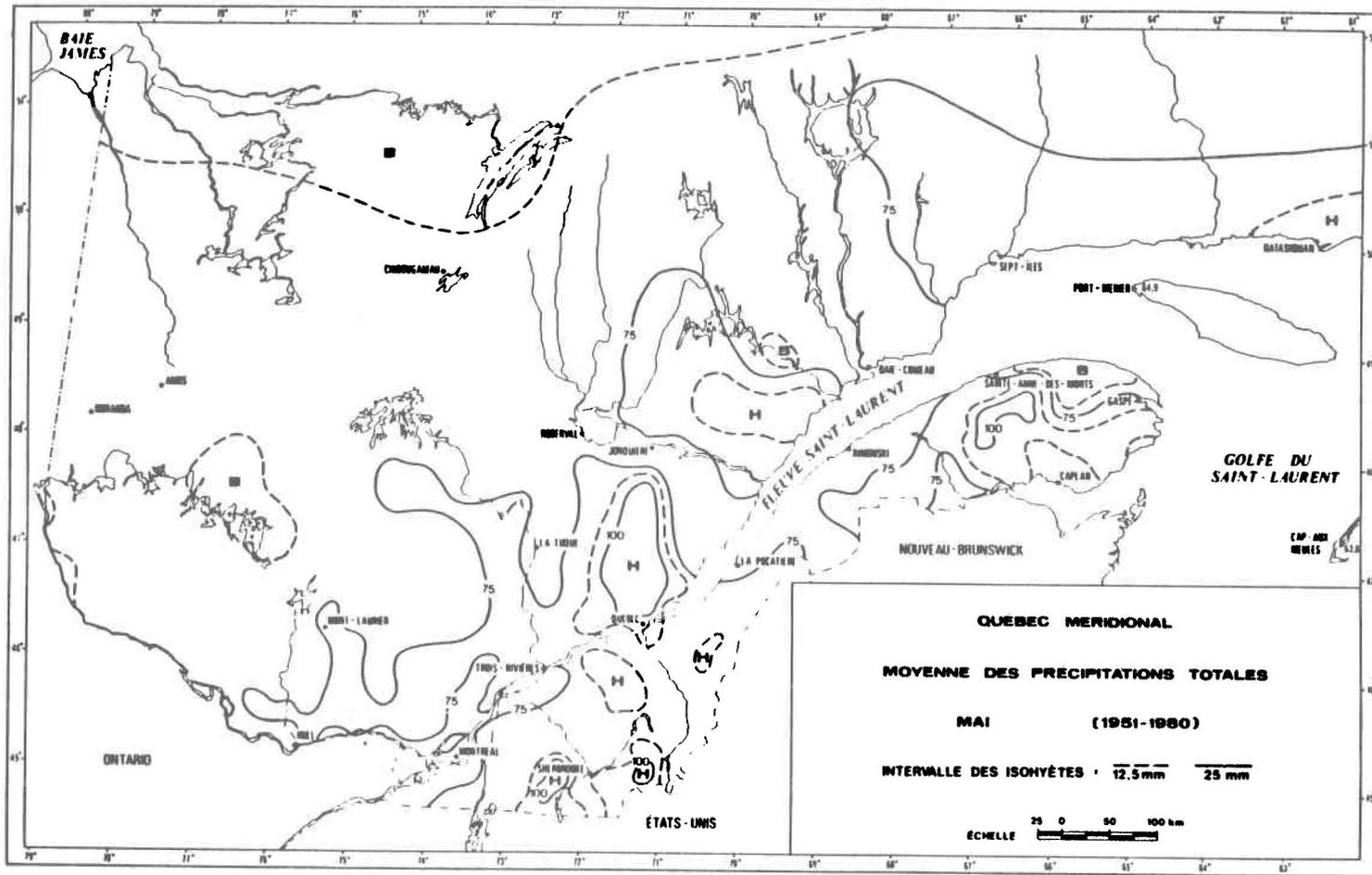
D'après les résultats de Reitan (1974), la fréquence des cyclones dans le sud du Québec méridional est plus élevée en avril qu'en juillet. Comme on l'a mentionné à la section 2.2, l'hypothèse de la remontée du front polaire plus au nord, lors de la saison estivale peut sûrement être retenue en ce qui a trait aux variations saisonnières des fréquences de précipitations horaires entre les stations au sud et au nord du Québec méridional.

Pour deux des stations de la péninsule gaspésienne (1160 et 2820), les variations saisonnières sont très peu marquées et on note, des fréquences moyennes maximales en octobre, tout comme à la station Natashquan-A (5400). Cette hausse de la fréquence des précipitations horaires en automne est fort probablement due à l'instabilité de l'air au dessus du Golfe du Saint-Laurent dont les eaux sont relativement plus chaudes que l'air en automne.

Pour chaque carte mensuelle, les distributions spatiales des fréquences de précipitations horaires semblent être influencées par la topographie du territoire plus que ne le sont les distributions du taux moyen horaire. Par exemple, on constate que les stations situées dans la région de Montréal ont généralement des précipitations horaires moins fréquentes que la région de Québec ou des Cantons de l'Est.

Les zones où il y a des fréquences moyennes plus élevées de précipitations horaires sur les six cartes, sont similaires aux régions de fortes précipitations totales moyennes du Québec méridional déterminées par Proulx (1984). Au mois de mai par exemple, la carte 2.16 des moyennes de précipitations totales présentent des régions de grande pluviosité dans les Cantons de l'Est, le parc des Laurentides, la région de Québec et sur quelques zones de la Côte Nord. Sur la carte des fréquences en mai (carte 2.10), on obtient des fréquences élevées de précipitations horaires dans les régions à relief plus prononcé, comme les Cantons de l'Est et le parc des Laurentides. Cependant, les régions de Chibougamau, de Québec et la Côte Nord montrent également des valeurs relativement plus élevées. Les régions de l'Abitibi-Témiscamingue, de Montréal, du Saguenay - Lac Saint-Jean et de la côte gaspésienne montrent des valeurs pour les paramètres pluviométriques plus basses dans les deux cas.

Généralement, on remarque pour l'ensemble des cartes (2.10 à 2.15) qu'il existe des effets locaux qui font varier les valeurs de fréquences moyennes de certaines stations par rapport à d'autres d'une même région. Par exemple, la station de Normandin (5640) située du côté ouest du Lac Saint-Jean présente surtout à la fin de l'été, des fréquences de précipitations horaires moins élevées qu'aux autres stations du Saguenay Lac Saint-Jean. Perrier (1965) et Proulx (1984) ont constaté d'après les cartes estivales de pluviométrie que la rive ouest du Lac Saint-Jean est moins arrosée que la rive opposée. Perrier (1965) attribue ce fait à différents facteurs. D'après cet auteur, il existe un assèchement partiel des dépressions venant de l'ouest et du sud-ouest au dessus des Laurentides. De plus, la rive ouest du Lac Saint-Jean est moins accidentée que la rive est ce qui défavo



CARTE 2.16 Moyennes des précipitations totales au Québec méridional (mai, 1951-1980) (tiré de Proulx, H., 1984).

rise le processus pluviométrique. En dernier lieu, Perrier écrit que le Lac Saint-Jean en été, est une source d'humidité qui favorise le renforcement des orages venant généralement de l'ouest, sur la rive est du lac. Ces trois facteurs sont probablement la cause des basses fréquences horaires de pluie à Normandin, par rapport aux autres stations.

En fait, les valeurs des fréquences de pluie légèrement différentes d'une station à l'autre sont influencées beaucoup plus par les effets locaux tels que la topographie, le fait qu'un site soit au vent ou sous le vent, où la proximité d'une source d'humidité, que par l'origine des masses d'air qui traversent le territoire.

Comme pour le taux moyen horaire, on a déterminé pour chaque mois les coefficients de corrélation existant entre les fréquences moyennes des précipitations horaires et les variables suivantes: la température maximale moyenne, l'altitude, la longitude et la latitude.

Les coefficients de corrélation entre la variable dépendante et les variables indépendantes sont représentés au tableau 2.10. D'après les résultats, la température maximale moyenne est liée plus faiblement avec la fréquence moyenne des précipitations qu'elle ne l'était avec le taux moyen horaire pour l'ensemble des mois sauf en août et en septembre. En plus, les valeurs du coefficient de corrélation entre la fréquence et la température moyenne maximale pour les mois de mai, juin et octobre, ne sont pas reconnues comme significatives (tableau 2.10). Les variations mensuelles des coefficients de corrélation entre la température maximale et la fréquence sont similaires à celles obtenues au tableau 2.8; ces coefficients augmentent en été pour rediminuer en octobre.

L'effet de la température maximale moyenne sur la fréquence mensuelle est un peu plus fort en été qu'au printemps. Ce résultat suggère une influence des précipitations convectives plus évidente sur la valeur du taux moyen horaire que sur celle de la fréquence moyenne des pluies.

TABLEAU 2.10 Les coefficients de corrélation entre la fréquence mensuelle moyenne des précipitations horaires et diverses variables explicatives (1966-1980).

Coefficient de corrélation (r)	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre
	FREQ	FREQ	FREQ	FREQ	FREQ	FREQ
TMAX	-0,145**	-0,296**	-0,629	-0,679	-0,662	-0,179*
LAT	-0,075**	0,014*	0,618	0,498	0,418	0,007*
LONG	-0,241**	0,059*	-0,166*	-0,341	-0,099*	-0,134*
ALTI	0,341	0,625	0,430	0,506	0,590	0,353

FREQ: fréquence;  
 ALTI: altitude (mètre);  
 LAT: latitude (degré);  
 LONG: longitude (degré);  
 TMAX: température mensuelle moyenne maximale (°C).

\* Non significatif à 5 pour cent.

\*\* Significatif à 5 pour cent et non significatif à 1 pour cent.

L'altitude n'est sûrement pas un facteur à négliger; les coefficients de corrélation avec la fréquence sont en général plus élevés que ceux avec la latitude et ce, pour la majorité des mois. Les cartes de fréquences le démontrent, les fréquences des précipitations horaires ont tendance à augmenter avec l'altitude. L'étude de Passarelli et Boehme (1983) sur les variations de certains paramètres pluviométriques en altitude, démontre qu'il existe une relation évidente entre la durée des précipitations et donc la fréquence des pluies horaires et la topographie du territoire. Il constate, pour le sud de la Nouvelle-Angleterre, que la durée des précipitations peut être de 20 à 40 pour cent plus longue pour les régions en altitude. Pour les besoins de la présente analyse, on a comparé les fréquences moyennes de précipitations horaires pour certaines stations<sup>1</sup> des Cantons de l'Est et de la région de Montréal pour chacun des mois étudiés. Les stations des Cantons de l'Est choisies ont montré des fréquences de pluie horaire de 13 à 23 pour cent plus élevées dépendamment des mois, que celles de la région de Montréal.

D'après le tableau 2.10, la latitude a une influence moindre que la température maximale sur la fréquence de pluie horaire mais suit les mêmes tendances mensuelles de cette dernière. On retrouve un lien plus marqué entre la fréquence et la latitude durant les mois d'été qu'au printemps ou en automne.

D'après ces résultats, on constate que l'altitude et la température maximale sont les variables ayant la plus grande influence sur les fréquences de précipitations horaires, surtout pendant la période estivale. Les deux autres variables, latitude et longitude, sont moins influentes, particulièrement la longitude.

On a vu que les effets des variables météorologiques et physiographiques sur la fréquence et le taux moyen horaire sont parfois difficiles à

---

<sup>1</sup> Les stations des Cantons de l'Est sélectionnées étaient situées à plus de 241 mètres d'élévation et celles de Montréal, à moins de 133 mètres.

déceler à partir de l'interprétation des cartes. Grâce aux valeurs des coefficients de corrélation entre les variables choisies et le taux moyen horaire, on peut mettre en évidence plus facilement les variables météorologiques et physiques les plus influentes.

#### 2.4 La répartition horaire des fréquences de précipitation pour quatre stations du Québec méridional

Cette section traite des répartitions horaires des fréquences de précipitations en termes de nombre mensuel moyen d'occurrences de précipitations mesurables distribuées sur chaque heure de la journée. Le but de cette étude est de déterminer s'il existe un cycle diurne pour la pluie.

##### 2.4.1 La répartition horaire des précipitations

Certains auteurs ont étudié la distribution horaire des fréquences de précipitations horaires pour différentes saisons ou périodes (Thomas, 1962; Gagnon, 1969; Huff, 1971; Lavabre, 1980; Masson, 1980).

Gagnon (1969) en plus d'étudier la répartition horaire des fréquences de précipitations pour la station de l'Assomption (Québec), a analysé les hauteurs et les intensités moyennes horaires des précipitations. Cet auteur constate la présence de variations horaires similaires des fréquences et des hauteurs de précipitations pour les mois de mai à octobre. Selon Gagnon, les fréquences et les hauteurs de pluie horaire sont minimales le matin. Il observe une augmentation des fréquences de précipitations durant la journée pour atteindre un premier maximum en fin d'après-midi et un second vers 3h00.

Thomas (1962), présenta pour Toronto, les distributions horaires des fréquences des pluies à chaque mois de l'année. D'après ces résultats, on remarque que pendant les mois de juillet et août, les fréquences des précipitations augmentent surtout en fin d'après-midi (16h00 à 18h00). Pour les autres mois c'est-à-dire mai, juin, septembre et octobre, il observe des

précipitations horaires beaucoup plus fréquentes qu'en été; par contre le patron horaire des fréquences de pluie mesurable n'offre pratiquement pas de variations.

Huff (1971) a examiné les comportements horaires des fréquences des précipitations pour différentes régions de l'état américain de l'Illinois, pour les quatre saisons de l'année. Il remarque lui aussi en été, que les fréquences des précipitations horaires tendent vers un maximum en fin d'après-midi et tôt la nuit. Les fréquences maximales ressortent généralement plus dans les régions du sud de l'Illinois. D'après le même auteur, les fréquences minimales se produisent habituellement le matin ou le soir (21h00 à 22h00) dépendamment des régions étudiées.

Les différents auteurs cités précédemment ont observé les variations du cycle journalier des fréquences des précipitations horaires et ont tenté d'associer celles-ci à des causes météorologiques. Les diverses hypothèses reliées à ces variations horaires seront discutées un peu plus loin dans cette section.

Des méthodes statistiques ont été employées en France par Lavabre (1980) et Masson (1980) pour déterminer s'il existait de façon significative un cycle diurne des fréquences de précipitations horaires. Lavabre (1980) utilisa la méthode des composantes principales pour vérifier la présence d'un cycle diurne à partir des données de précipitations horaires du Real Collobrier (France). Son analyse comprend l'étude des répartitions horaires des occurrences des heures pluvieuses sur l'ensemble des mois de l'année. Ses résultats mettent en évidence deux périodes préférentiellement pluvieuses: de 4h00 à 8h00 et de 13h00 à 17h00. Il conclut qu'il existe une certaine organisation des heures pluvieuses au cours de la journée. De plus, Lavabre constate que les pluies horaires les plus intenses (intensité plus grande que  $5 \text{ mmh}^{-1}$ ) se produisent en fin d'après-midi et en début de soirée. Enfin, il remarque que l'écart augmente entre la loi uniforme et la distribution horaire des fréquences à mesure que l'intensité des précipitations horaires croît.

Masson (1980), pour sa part, a tenté de vérifier, à l'aide du test du chi-deux, si la distribution horaire des fréquences des pluies suit une loi uniforme. Les résultats du test d'adéquation pour la station de Montpellier-Belair (France), révèlent l'acceptation de l'hypothèse d'uniformité des fréquences horaires des pluies. De plus, Masson présente à l'aide de différentes classes de fréquences, la distribution horaire des heures pluvieuses. Cet auteur remarque pour les mois estivaux, la présence de fréquences maximales en fin d'après-midi (16h00 à 19h00).

Les résultats des diverses études sur les patrons horaires des précipitations portent à croire à l'existence d'heures préférentiellement pluvieuses au cours de la journée. A partir de l'analyse des paramètres pluviométriques tels que les fréquences, hauteurs ou intensités horaires, on peut se demander si les variations horaires observées sont significatives. Cette section présente donc une méthode statistique développée pour l'étude des distributions horaires des fréquences de précipitations. Cette méthode utilise les tests de comparaison des fréquences moyennes et la notion d'intervalle de confiance sur les fréquences moyennes.

#### 2.4.2 Méthode d'analyse des répartitions horaires des fréquences de précipitations: application à la station Montréal-International-A

L'analyse des répartitions horaires des fréquences de précipitations est basée sur les données de pluie horaire prises à quatre stations pluviographiques jugées représentatives de l'ensemble du Québec méridional. Ces stations sont: Bagotville-A, Montréal-International-A, Natashquan-A et Val-d'Or-A. Les stations de Bagotville-A, Montréal-International-A et Val-d'Or-A sont plutôt de type continental; par contre, la station de Natashquan-A est située près de la côte du Golfe du Saint-Laurent (c.f. section 2.2).

Les trois stations continentales possèdent 15 années d'enregistrements de pluie horaire (de 1966 à 1980). La station côtière compte seulement 12 années d'observations réparties de 1969 à 1980.

La première partie de l'analyse comprend l'étude détaillée des répartitions horaires des pluies de mai à octobre pour la station Montréal-International-A. Par la suite, les trois autres stations pluviographiques sont analysées pour différents mois.

Dans un premier temps, on suppose que s'il y a absence de cycle diurne des précipitations horaires, la répartition des fréquences des précipitations selon les heures du jour, devrait suivre une loi uniforme. Si cette hypothèse est valable, chaque heure de la journée (1h00 à 24h00) aurait une même probabilité d'avoir des précipitations, soit un vingt-quatrième (4,2 pour cent).

Pour déterminer le nombre mensuel moyen d'occurrences de précipitations mesurables et son écart type associé pour une heure donnée "h", les équations suivantes sont utilisées:

- 1) pour le nombre moyen d'occurrences de précipitations mesurables  $\bar{f}_i(h)$  pour le mois i et l'heure h:

$$\bar{f}_i(h) = \frac{\sum_{k=1}^j f_{ik}(h)}{j} \quad (2.18)$$

où  $f_{ik}(h)$  = occurrences de précipitations horaires mesurables pendant un mois i donné à l'heure h pour la "k"ième année d'observation;

et j = nombre d'années d'observations pour la station considérée.

- 2) pour l'écart type non biaisé du nombre moyen d'occurrences de précipitations mesurables  $\bar{S}_i(h)$  pour le mois i et l'heure h:

$$\bar{S}_i(h) = \frac{S_i(h)}{\sqrt{j}} \quad (2.19)$$

$$\text{où } S_i(h) = \left[ \left( \frac{\sum_{k=1}^j (f_{ik}(h) - \bar{f}_i(h))^2}{j - 1} \right) \right]^{\frac{1}{2}}$$

Pour la station de Montréal, on a déterminé le nombre moyen d'occurrences de précipitations mesurables pour chacune des heures de la journée. Ces nombres moyens d'occurrences sont représentés pour les mois de mai à septembre à la figure 2.6.

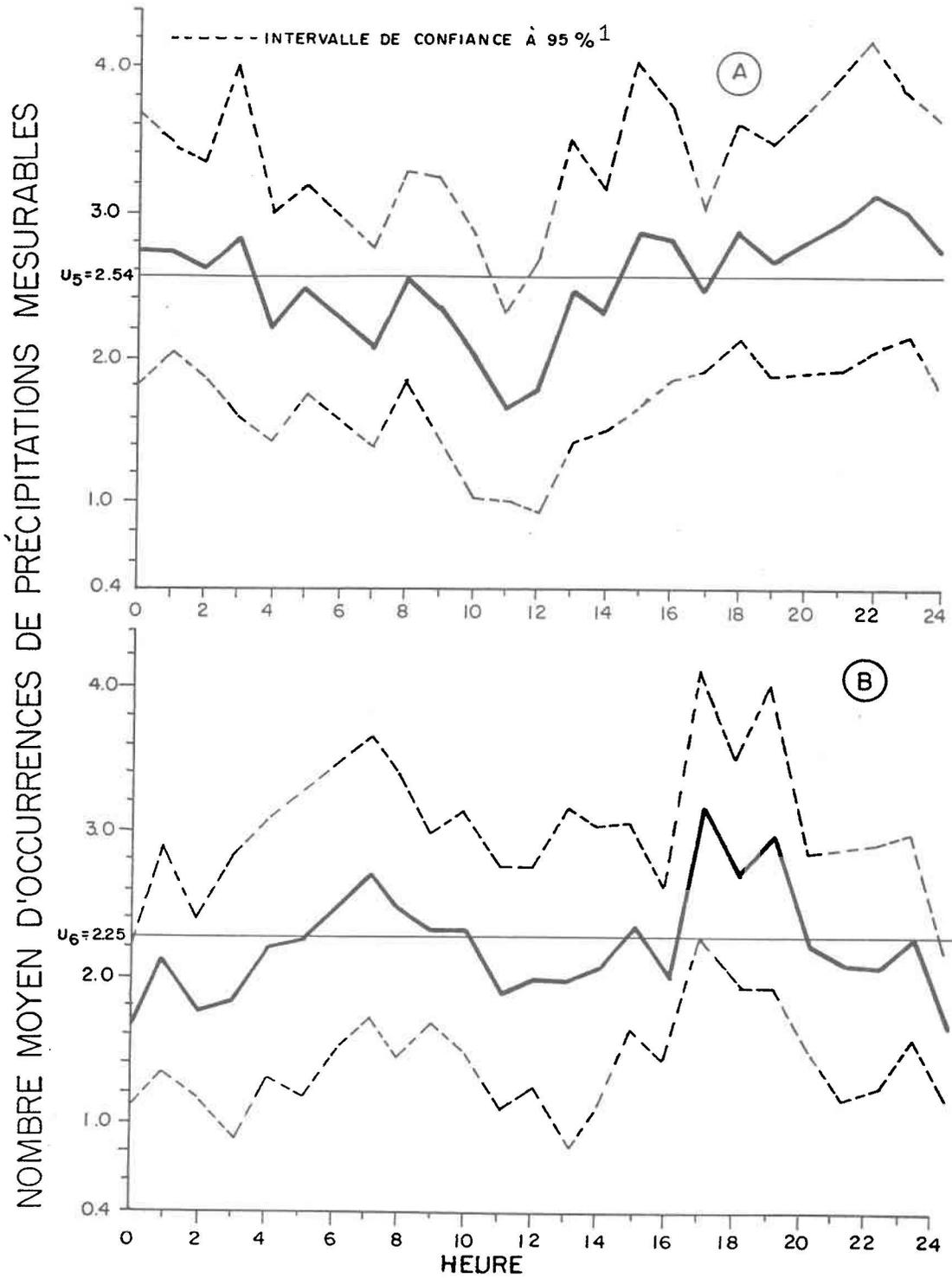
Les estimations de ces deux paramètres statistiques ont été calculées pour Montréal à partir des échantillons mensuels observés sur 15 ans (1966 à 1980).

Chaque graphique présente un axe horizontal représentant la distribution uniforme. Dans le cas d'utilisation de fréquences absolues, la valeur de la loi uniforme ( $U_i$ ) pour chaque mois "i" est donnée par la formule suivante:

$$U_i = \sum_{h=1}^{24} \frac{\bar{f}_i(h)}{24} \quad (2.20)$$

où  $\bar{f}_i(h)$ : est définie à l'équation 2.18.

D'après la figure 2.6, on remarque les diverses oscillations des nombres moyens d'occurrences de pluie mesurable autour de chaque distribution mensuelle uniforme. Comme la valeur  $U_i$  est calculée à partir de la fréquence mensuelle moyenne des précipitations horaires, celle-ci varie selon le cycle saisonnier des fréquences des précipitations horaires et la station considérée (c.f. section 2.2). En effet, on remarque qu'à la station Montréal-International-A, les valeurs minimales de  $U_i$  se retrouvent en juillet et août (figure 2.6C et D), tout comme les valeurs des fréquences mensuelles des précipitations horaires à la section 2.2.

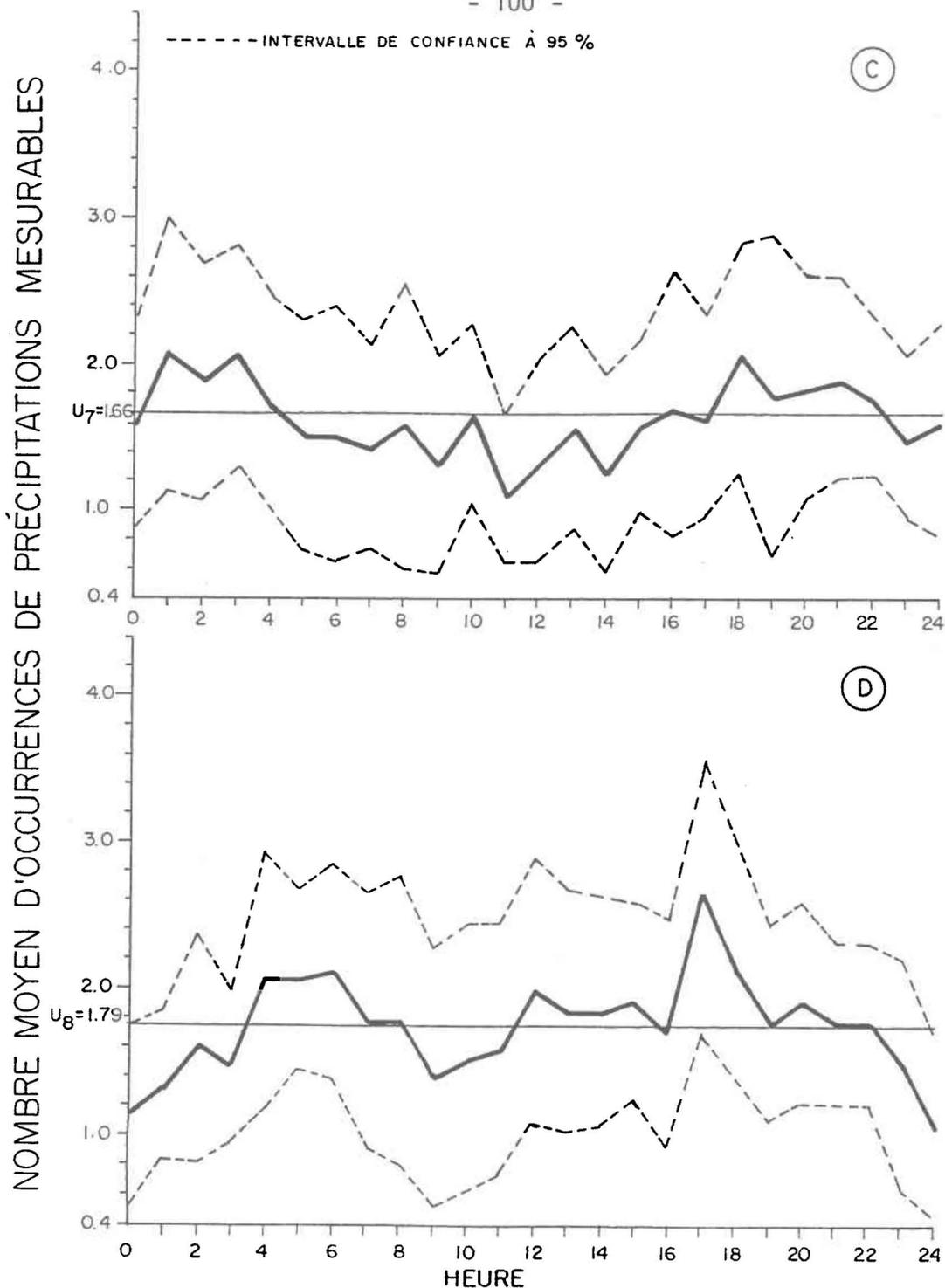


$U_i$  : Distribution uniforme pour le mois "i".  
— : Nombre moyen d'occurrences de précipitations mesurables.

FIGURE 2.6 Répartition horaire du nombre moyen d'occurrences de précipitations mesurables à la station Montréal-International-A (1966-1980).

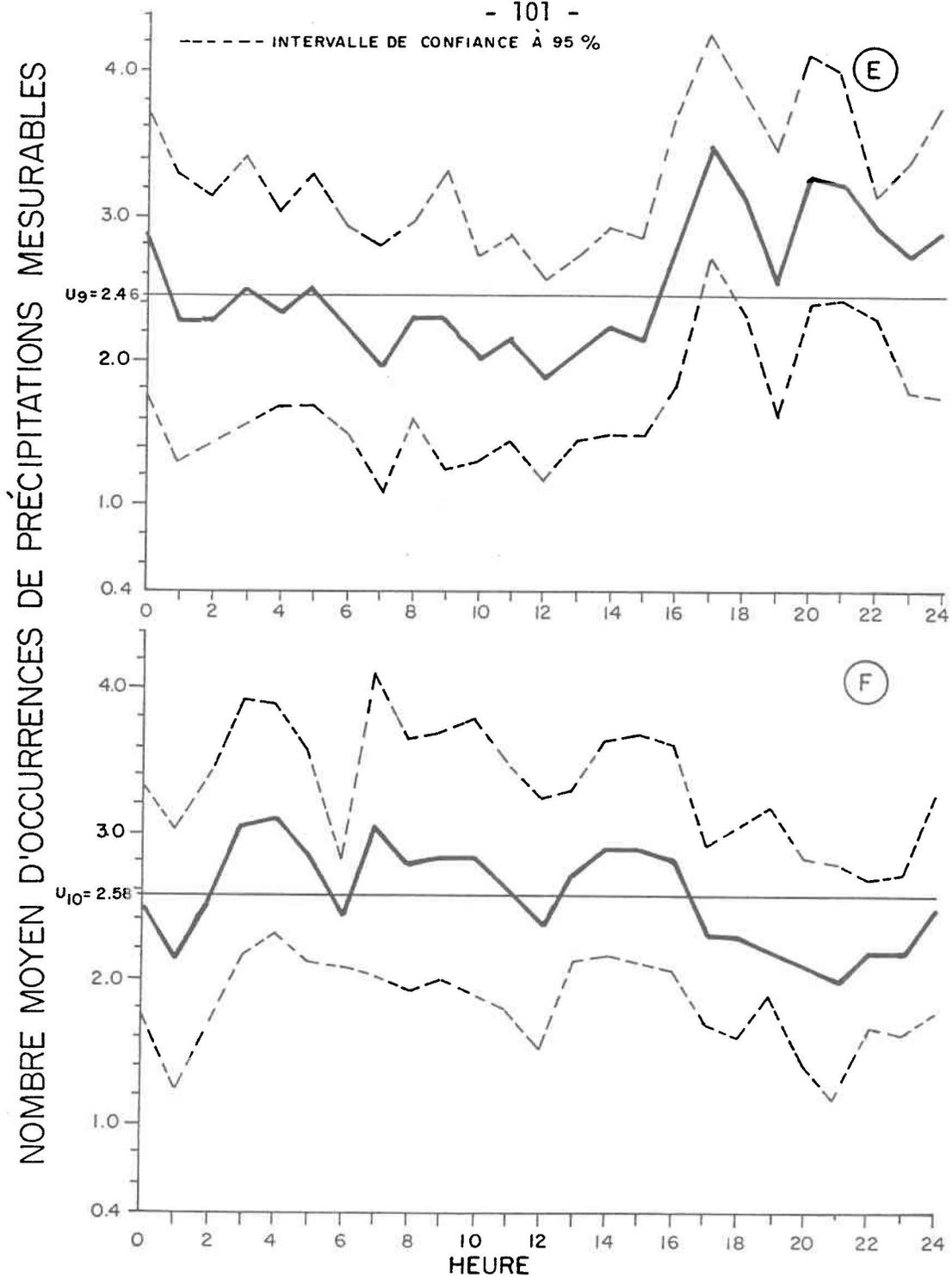
A: mai et B: juin.

<sup>1</sup> Les intervalles de confiance à 95 pour cent sur chaque nombre moyen d'occurrence de précipitations mesurables sur chaque heure de la journée ( $\bar{f}_i(h)$ ) sont obtenues en utilisant la variable t de Student car la variance de la population de chaque nombre est inconnue (c.f. équation 2.21).



$U_i$  : Distribution uniforme pour le mois "i".  
— : Nombre moyen d'occurrences de précipitations mesurables.

FIGURE 2.6 Répartition horaire du nombre moyen d'occurrences de précipitations mesurables à la station Montréal-International-A (1966-1980).  
C: juillet et D: août.



$U_i$  : Distribution uniforme pour le mois "i".  
— : Nombre moyen d'occurrences de précipitations mesurables.

FIGURE 2.6 Répartition horaire du nombre moyen d'occurrences de précipitations mesurables à la station Montréal-International-A (1966-1980).  
E: septembre et F: octobre.

Pour l'ensemble des mois, on retrouve des variations allant de 1,13 à 3,47 du nombre moyen d'occurrences de pluie mesurable par heure. Juillet (figure 2.6C) est le mois qui présente le moins de variations (de 1,13 à 2,07). Pour ce mois, les nombres moyens d'occurrences de pluie mesurable sont plus faibles sur l'ensemble des heures de la journée. Cette situation semble masquer la présence des pluies convectives qui sont généralement plus fréquentes en fin d'après-midi à Montréal. Powe (1969) a mis en évidence la fréquence importante des pluies orageuses à Montréal en fin d'après-midi.

Le mois montrant la plus grande variation est septembre (figure 2.6E); les nombres moyens d'occurrences de pluie vont de 1,87 à 3,47 heures. Le maximum principal d'occurrences de pluie horaire se situe pour l'ensemble des mois généralement soit, en fin d'après-midi (17h00 à 18h00) ou vers 1h00 à 3h00. Le minimum principal est soit dans la matinée (11h00 et 12h00) ou vers minuit. Seul le mois d'octobre (figure 2.6F) possède un minimum d'occurrences en début de soirée, soit vers 21h00.

Après avoir constaté, les variations des nombres moyens d'occurrences de précipitations sur les différentes heures, on peut se demander si ces variations sont significatives entre chacune des heures. Pour le savoir, on détermine dans un premier temps, les intervalles de confiance sur chaque nombre moyen d'occurrences de pluie mesurable correspondant à chaque heure  $k$  de la journée pour chaque mois  $i$  ( $\bar{f}_i(h)$ ). Dans un deuxième temps, le test d'égalité des moyennes est appliqué aux valeurs minimales et maximales prises par le nombre moyen d'occurrences de pluie mesurable pour un mois  $i$ , afin de vérifier si on peut considérer ces deux valeurs égales pour un niveau de signification fixée. Si le test accepte l'égalité de ces deux fréquences extrêmes de pluie mesurable pour le mois  $i$ , on peut conclure qu'il n'existe pas de variations significatives sur l'ensemble des  $\bar{f}_i(h)$  de la journée pour le mois  $i$ ; on peut donc supposer que les nombres moyens d'occurrences de pluie mesurable sur l'ensemble des 24 heures suivent une loi uniforme. Si le test d'égalité des moyennes est négatif, on admet qu'il existe des variations significatives entre les  $\bar{f}_i(h)$  et on suppose que ces dernières ne suivent pas une distribution uniforme durant la journée pour le mois  $i$ .

La construction d'un intervalle de confiance pour chaque nombre moyen d'occurrences de pluie, permet de distinguer les heures significativement différentes des autres. Les intervalles de confiance à 95 pour cent sur chaque nombre moyen d'occurrences de précipitations mesurables sur chaque heure  $h$  du mois  $i$  ( $\bar{f}_i(h)$ ), sont obtenues en utilisant la variable  $t$  de Student car la variance de la population de chaque nombre est inconnue. L'intervalle de confiance autour du nombre moyen d'occurrences  $\bar{f}_i(h)$  pour le mois  $i$  et l'heure  $h$ , au niveau de signification  $\alpha$ , est défini par:

$$[\bar{f}_i(h) - t_{j-1}(\alpha/2) \times \bar{S}_i(h), \bar{f}_i(h) + t_{j-1}(\alpha/2) \times \bar{S}_i(h)] \quad (2.21)$$

où  $\bar{f}_i(h)$ : nombre moyen d'occurrences pour le mois  $i$  de précipitations mesurables à l'heure  $h$ ;

$t_{j-1}(\alpha/2)$ : variable  $t$  (Student) à  $j-1$  degrés de liberté pour un niveau de signification  $\alpha/2$  (pour notre cas  $\alpha = 0,05$ );

$\bar{S}_i(h)$ : écart type du nombre moyen mensuel d'occurrences de précipitations mesurables à l'heure  $h$ ;

$j$ : taille de l'échantillon.

Les limites des intervalles de confiance à 95 pour cent sur chaque nombre moyen ont été déterminées et se retrouvent sur la figure 2.6. Les répartitions horaires de chacun des mois montrent que chacun des nombres moyens possède un écart type associé très large. Cette situation implique que la majorité des écarts entre les valeurs moyennes d'occurrences de pluie mesurable de chaque heure du jour et la loi uniforme ne sont pas significatifs. Cependant, on remarque pour chaque mois, qu'il pourrait exister une différence jugée significative entre les maxima et les minima du nombre moyen d'occurrences de pluie mesurable pris sur chaque répartition horaire. C'est au mois de septembre que l'écart entre les valeurs minimales et maxi-

males est le plus élevé<sup>1</sup>; ces valeurs d'après leurs intervalles de confiance montrent des différences significatives. En effet, en septembre, c'est à midi et à 17 heures que se situent les valeurs minimale et maximale du nombre moyen d'occurrences de précipitations mesurables. L'intervalle de confiance à 95 pour cent sur la valeur moyenne  $\bar{f}_9(12)$  de ce mois est de [1,18, 2,56]. Pour la valeur de  $\bar{f}_9(17)$ , cet intervalle est de [2,69, 4,25]. D'après les deux gammes de variations des intervalles de confiance sur  $\bar{f}_9(12)$  et  $\bar{f}_9(17)$ , on voit que les deux intervalles ne se recoupent pas. Par contre, en juillet, l'intervalle de confiance du nombre moyen d'occurrences de pluie sur l'ensemble des heures ne suggère aucune différence significative de la loi uniforme. Même les deux valeurs moyennes extrêmes ne semblent pas montrer de différences significatives. La figure 2.6C montre qu'en juillet, la valeur minimale du nombre moyen d'occurrences se produit à 11h00. La valeur maximale du nombre moyen se rencontre à plusieurs heures, soit 1h00, 3h00 ou bien 18h00. Dans ce cas, on considère pour le test, le nombre moyen maximal ayant l'écart type associé le plus grand, soit celui de 1h00. L'intervalle de confiance à 95 pour cent pour la valeur de  $\bar{f}_7(1)$  est de [1,17, 2,99]. Pour la valeur minimale  $\bar{f}_7(11)$ , l'intervalle est [0,61, 1,66]. On s'aperçoit que les intervalles de confiance à 95 pour cent des deux extrêmes se recourent; on peut donc supposer une distribution uniforme des occurrences horaires de pluie pour ce mois.

A l'aide du test de Student (à variance supposée inégale, Bobée, 1980), l'hypothèse d'égalité entre les valeurs moyennes maximales et minimales d'occurrences de pluie mesurable pour chacun des mois a été testée. Ce test sert à comparer des moyennes. Dans le présent cas, il s'agit de savoir si, pour un niveau de signification  $\alpha$  donné, les deux valeurs moyennes extrêmes peuvent provenir de la même population. Si ces deux valeurs extrêmes sont considérées égales pour un niveau de signification  $\alpha$ , ce résultat nous suggère une absence de cycle journalier des fréquences de

---

<sup>1</sup> En septembre le minimum se produit à 12h00 et est de 1,8 tandis que le maximum à 17h00 est de 3,4.

pluie pour le mois considéré. Si par contre, on rejette l'hypothèse d'égalité, on peut déclarer la présence d'un cycle journalier pour le niveau de signification  $\alpha$  donné.

Ce test est le mieux adapté pour des échantillons de faible<sup>1</sup> taille (Bobée, 1983). On utilise le test de Student supposant des variances inégales car le test de Fisher (test sur l'égalité des variances, Bobée, 1983) a révélé pour certains mois, qu'on ne pouvait supposer égales les variances des valeurs maximales et minimales.

Avant tout, l'application du test de Student suppose que les populations étudiées soient normalement distribuées. Le test de Shapiro et Wilk (Bobée, 1983) a été choisi pour tester si les échantillons d'occurrences de précipitations horaires pour une heure donnée, sont distribués normalement; ce test est efficace même si l'échantillon est de faible taille (Bobée, 1983). Les résultats du test sur des heures choisies au hasard ( $\alpha = 5$  pour cent), ont démontré que l'on peut supposer la normalité des échantillons.

L'hypothèse de normalité des échantillons étant respectée, le test de Student a été mis en application sur les valeurs moyennes extrêmes pour chacun des mois. Les hypothèses  $H_0$  et  $H_1$ , considérées pour chacun des mois sont:

$$H_0: \text{MAX} = \text{MIN}$$

$$H_1: \text{MAX} \neq \text{MIN}$$

où MAX (MIN): nombre moyen maximal (minimal) d'occurrences de précipitations mesurables pour un mois donné.

---

<sup>1</sup> Dans notre cas, les quatre stations étudiées ont entre 12 et 15 années d'observations.

Les résultats d'application du test de Student sur l'égalité des nombres moyens extrêmes d'occurrences de précipitations mesurables pour tous les mois, à la station Montréal-International-A sont présentés au tableau 2.11. Les seuils considérés pour les tests d'hypothèses sont les niveaux de signification de 0,05 et 0,01.

On constate, d'après les résultats du test de Student que pour les mois de mai, juillet et octobre, l'hypothèse d'égalité  $H_0$  est acceptée à un niveau de signification d'au moins 0,01. Seul le mois de juillet accepte l'hypothèse à un niveau de signification plus élevé que 0,02 soit 0,05.

Donc, à un niveau de signification inférieur à 0,05, on peut conclure que tous les mois, sauf juillet, présentent des différences significatives dans leur répartition horaire respective. A l'exception des mois de juin, août et septembre,  $H_0$  est rejetée pour  $\alpha = 0,01$ . Ce résultat suggère des écarts significatifs entre certaines heures de la journée, principalement entre les maxima et minima principaux des répartitions horaires de ces trois mois. Les extrêmes jugés significativement différents à un niveau de signification de 0,01 en juin, août et septembre se produisent respectivement à 17h00 (MAX) et 24h00 (MIN), 18h00 (MAX) et 24h00 (MIN) et, 12h00 (MIN) et 17h00 (MAX). Pour un niveau de signification de 0,05, les valeurs minimales et maximales jugées différentes sont respectivement pour mai et octobre à 11h00 (MIN) et 22h00 (MAX) et, 4h00 (MAX) et 21h00 (MIN).

#### 2.4.3 Application de la méthode à trois autres stations pluviographiques du Québec méridional

Les trois autres stations pluviographiques étudiées sont Bagotville-A, Natashquan-A et Val-d'Or-A. Ces stations n'appartiennent pas à la région de Montréal et sont situées à des latitudes plus élevées que celle-ci (c.f. annexe A, localisation géographique).

Dans un premier temps, étant donné les résultats précédents du test de Student à la station de Montréal-International-A, on a décidé de

Tableau 2.11 Résultats du test de Student portant sur l'égalité des valeurs maximales (MAX) et minimales (MIN) d'occurrences moyennes de précipitations horaires pour les mois de mai à octobre, à la station Montréal-International-A (1966-1980).

Niveau de signification ( $\alpha$ )	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre
0,01	A	R	A	R	R	A
0,05	R	R	A	R	R	R

Légende:

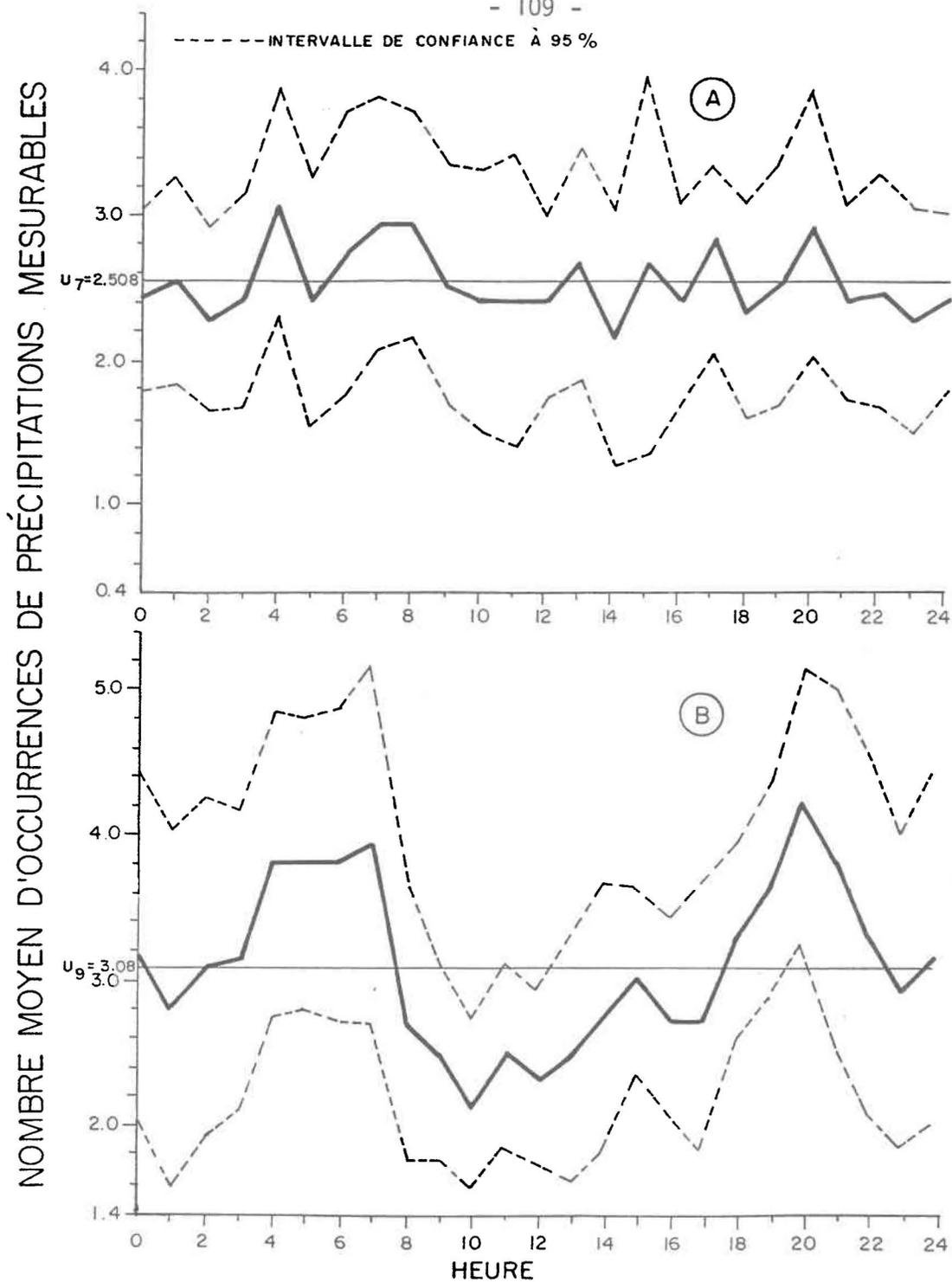
- A: l'hypothèse  $H_0$  est acceptée pour le niveau de signification  $\alpha$ ;
- R: l'hypothèse  $H_0$  est rejetée pour le niveau de signification  $\alpha$ .

présenter les graphiques des répartitions horaires de seulement deux mois: juillet et septembre. En effet, pour ces deux mois, on obtient à Montréal-International-A des résultats contraires pour le test d'hypothèse au niveau de signification de 0,01; le mois de juillet ne possède pas d'heures préférentiellement pluvieuses tandis que septembre en possède. On retrouve pour la station de la région montréalaise, l'amplitude journalière des nombres moyens d'occurrences de précipitations mesurables moins élevée en juillet qu'en septembre. En plus, le pourcentage de données manquantes pour l'ensemble des quatre stations, est le plus faible pour ces deux mois de l'année (soit moins de 2,9 pour cent). Les résultats du test de Student de comparaison des occurrences extrêmes sont toutefois présentés pour l'ensemble des mois de mai à octobre, à ces trois stations (c.f. tableau 2.12).

Les figures 2.7 à 2.9 présentent les répartitions horaires des fréquences de précipitations aux trois stations considérées, pour les mois de juillet et septembre. Les nombres moyens d'occurrences de pluie, la valeur de la distribution uniforme ( $U_j$ ) ainsi que les intervalles de confiance sur ces occurrences moyennes à 95 pour cent, ont été déterminés selon les équations (2.19), (2.20) et (2.21) respectivement.

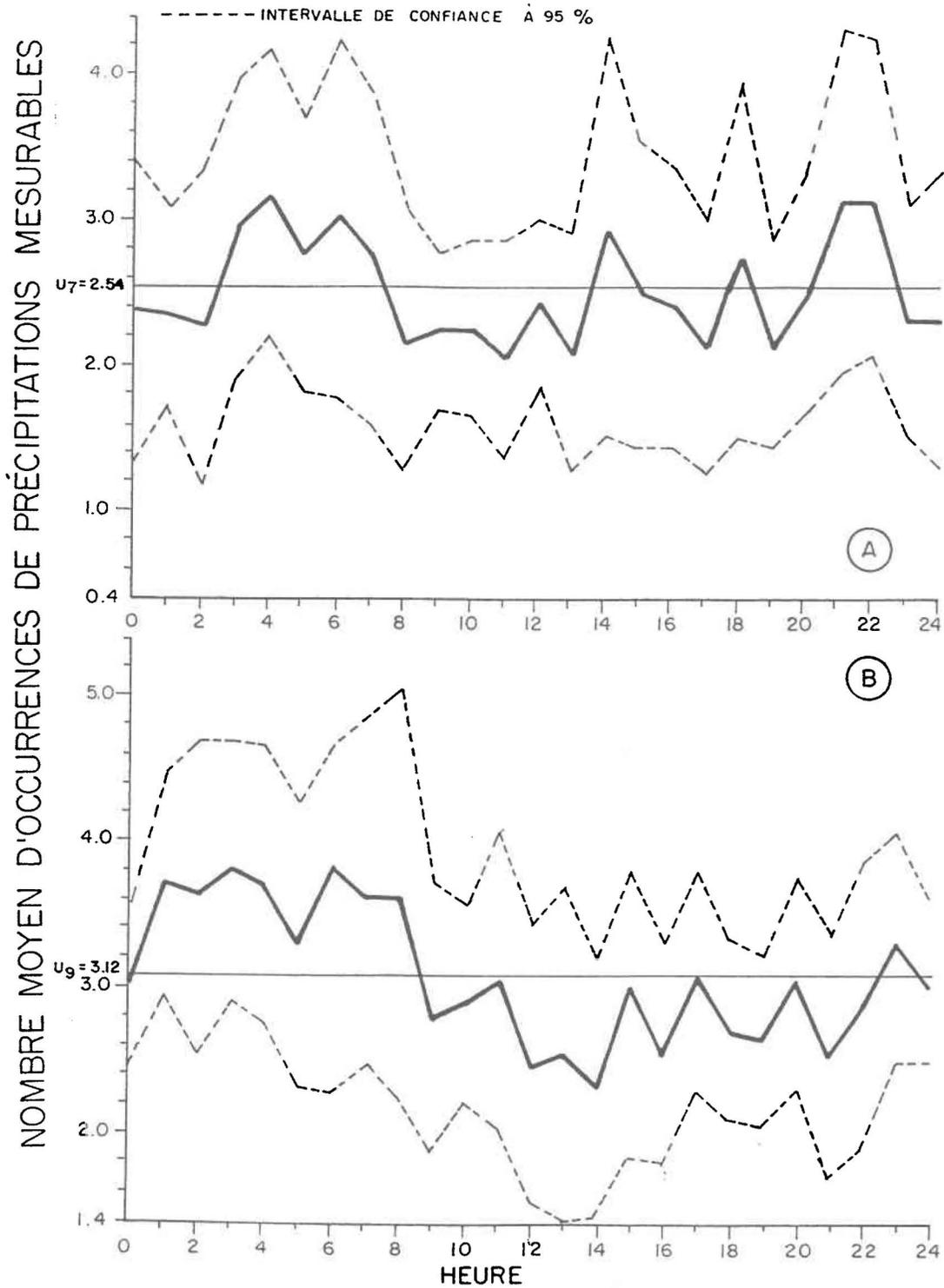
Pour le mois de juillet, les variations des occurrences moyennes autour des lois uniformes aux stations Bagotville-A (figure 2.7A) et Natashquan-A (figure 2.8A) semblent assez faibles. On y retrouve des occurrences maximales en fin d'après-midi (5h00 à 7h00), en soirée (9h00 et 10h00) et durant la nuit (vers 4h00). Les occurrences minimales se retrouvent en matinée (8h00 à 11h00) ou tôt la nuit (24h00 et 1h00).

La répartition horaire de la station Val-d'Or-A en juillet (figure 2.9A) présente une amplitude journalière des nombres moyens d'occurrences de pluie mesurable plus élevée qu'aux deux stations précédentes. Les heures les moins pluvieuses se produisent généralement la nuit (1h00 et 4h00) et le matin (9h00 et 11h00) tandis que les plus pluvieuses sont en fin d'après-midi (15h00 et 17h00) et en fin de soirée (23h00).



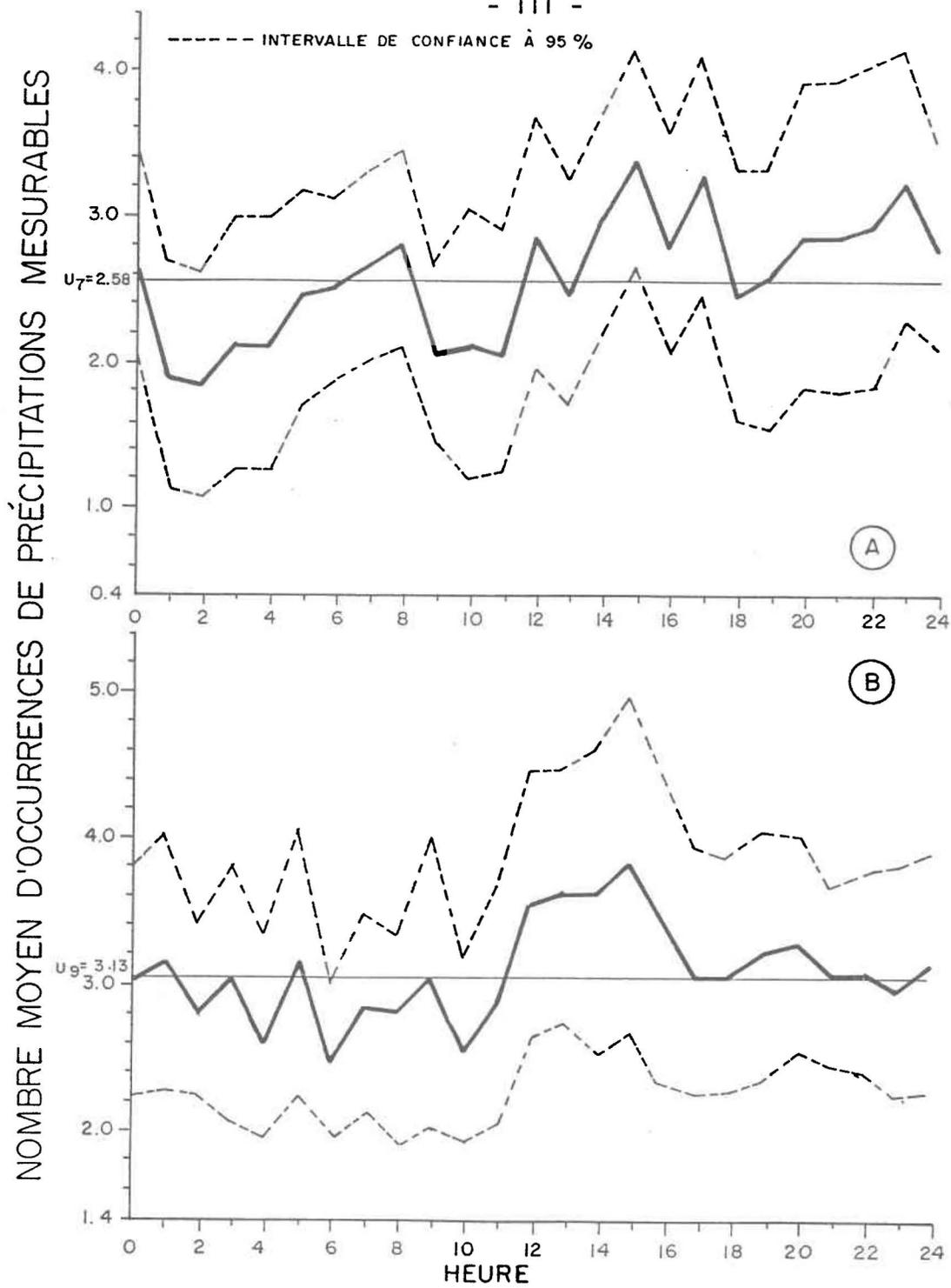
$U_i$  : Distribution uniforme pour le mois "i".  
— : Nombre moyen d'occurrences de précipitations mesurables.

FIGURE 2.7 Répartition horaire du nombre moyen d'occurrences de précipitations mesurables à la station Bagotville-A (1966-1980).  
A: juillet et B: septembre.



$U_i$  : Distribution uniforme pour le mois "i".  
— : Nombre moyen d'occurrences de précipitations mesurables.

FIGURE 2.8 Répartition horaire du nombre moyen d'occurrences de précipitations mesurables à la station Natashquan-A (1969-1980).  
A: juillet et B: septembre.



$U_i$  : Distribution uniforme pour le mois "i".  
— : Nombre moyen d'occurrences de précipitations mesurables.

FIGURE 2.9 Répartition horaire du nombre moyen d'occurrences de précipitations mesurables à la station Val-d'Or-A (1966-1980).  
A: juillet et B: septembre.

Tableau 2.12 Résultats du test de Student portant sur l'égalité des valeurs maximales (MAX) et minimales (MIN) d'occurrences moyennes de précipitations horaires pour les mois de mai à octobre, à trois stations pluviographiques du Québec méridional (1966-1980).

Station pluviographique	Niveau de signification ( $\alpha$ )	Mois					
		Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre
Bagotville-A (1966-1980)	0,01	A	A	A	R	R	R
	0,05	A	R	R	R	R	R
Natashquan-A (1969-1980)	0,01	A	R	A	A	R	R
	0,05	R	R	A	R	R	R
Val-d'Or-A (1966-1980)	0,01	A	R	R	R	A	A
	0,05	A	R	R	R	R	A

Légende:

A: l'hypothèse  $H_0$  est acceptée pour le niveau de signification  $\alpha$ ;  
R: l'hypothèse  $H_0$  est rejetée pour le niveau de signification  $\alpha$ .

En septembre, les amplitudes journalières des fréquences horaires de pluie sont généralement plus élevées aux trois stations, principalement à Bagotville-A et Natashquan-A. On remarque pour les trois stations, que l'ensemble des nombres moyens d'occurrences de précipitations mesurables présentent des valeurs plus élevées en septembre qu'en juillet, pour toute heure du jour. Les valeurs de chaque distribution uniforme mensuelle le démontrent bien (figures 2.7 à 2.9).

Chaque station présente en septembre, des tendances différentes dans le cycle journalier des fréquences. A Bagotville-A (figure 2.7B), il semble y avoir deux maxima (19h00 à 21h00 et 4h00 à 7h00); les occurrences minimales sont plutôt fréquentes dans la matinée (9h00 à 12h00). A Natashquan-A (figure 2.8B), on ne retrouve que des occurrences maximales la nuit (1h00 à 8h00) et des occurrences minimales vers 12h00 et 14h00. La station de Val-d'Or-A (figure 2.9B) a tendance à avoir un cycle journalier inverse de celui de Natashquan-A. En effet, les occurrences maximales se produisent dans l'après-midi (12h00 à 3h00) et en fin de nuit on retrouve les occurrences minimales (6h00).

Les résultats de l'application du test de Student pour les six mois (mai à octobre) sont présentés au tableau 2.12. Ces résultats pour le mois de juillet et septembre viennent confirmer l'interprétation précédente des figures 2.7 à 2.9. Pour un niveau de signification de 0,01, en juillet à la station Val-d'Or-A, l'hypothèse d'égalité des extrêmes est rejetée, ce qui suggère la présence d'un cycle journalier pour ce mois à cette station et non aux deux autres stations, où l'hypothèse  $H_0$  est acceptée pour ce niveau  $\alpha$ . En septembre, les résultats suggèrent la présence d'un cycle journalier pour ce niveau de signification  $\alpha$  égal à 0,01 pour les stations Bagotville-A et Natashquan-A. Pour  $\alpha$  égal à 0,05, on retrouve pour l'ensemble des trois stations le rejet de l'hypothèse d'égalité.

Au niveau de signification 0,01, le mois de mai ne semble pas montrer de cycle journalier distinct, car l'hypothèse  $H_0$  est acceptée pour l'ensemble des stations. A Bagotville-A, les répartitions horaires des mois

d'août, septembre et octobre ont des variations significatives à un niveau de signification de 0,01. Par contre, on retrouve pour les mois de juin, septembre et octobre pour Natashquan-A et, juin, juillet et août à Val-d'Or-A, un cycle diurne pour un niveau de 0,01 ( $H_1$ : vraie).

#### 2.4.4 Comparaison entre les répartitions horaires et les résultats du test de Student aux quatre stations pluviographiques analysées

Les répartitions journalières des pluies aux différentes stations étudiées ont montré des résultats similaires dans plusieurs cas. Pour faciliter l'interprétation des résultats obtenus précédemment, des diagrammes représentant les heures où les occurrences dépassaient la loi uniforme propre à chaque mois, sont donnés à la figure 2.10. Ces diagrammes sont accompagnés des résultats du test de Student (niveau de signification de 0,05) qui a révélé pour certains mois des différences significatives entre les valeurs minimales et maximales des répartitions horaires du nombre d'occurrences de pluie mesurable.

D'après les renseignements fournis par tous les diagrammes, on constate que les précipitations horaires se produisent généralement plus fréquemment en fin d'après-midi (15h00 à 17h00) et en soirée (19h00 et 20h00). La station de Natashquan-A ne suit pas cette règle et possède les occurrences maximales de préférence la nuit (entre 1h00 et 6h00). Les occurrences minimales se produisent de façon plus aléatoire selon les stations et les mois de l'année. Néanmoins, on distingue des minimas de fréquences de précipitations horaires dans la matinée (9h00 à 12h00) et en début de nuit (24h00 et 1h00). Seule la station de Val-d'Or-A montre des fréquences minimales de précipitations durant la nuit. Les patrons horaires des fréquences de pluie de toutes les stations sauf Natashquan-A coïncident en général avec les résultats obtenus par Gagnon (1969) à l'Assomption, Québec.

Gagnon (1969) écrit que l'air étant plus instable l'après-midi que le matin, il en résulterait des fréquences de pluie plus fortes en fin d'après-

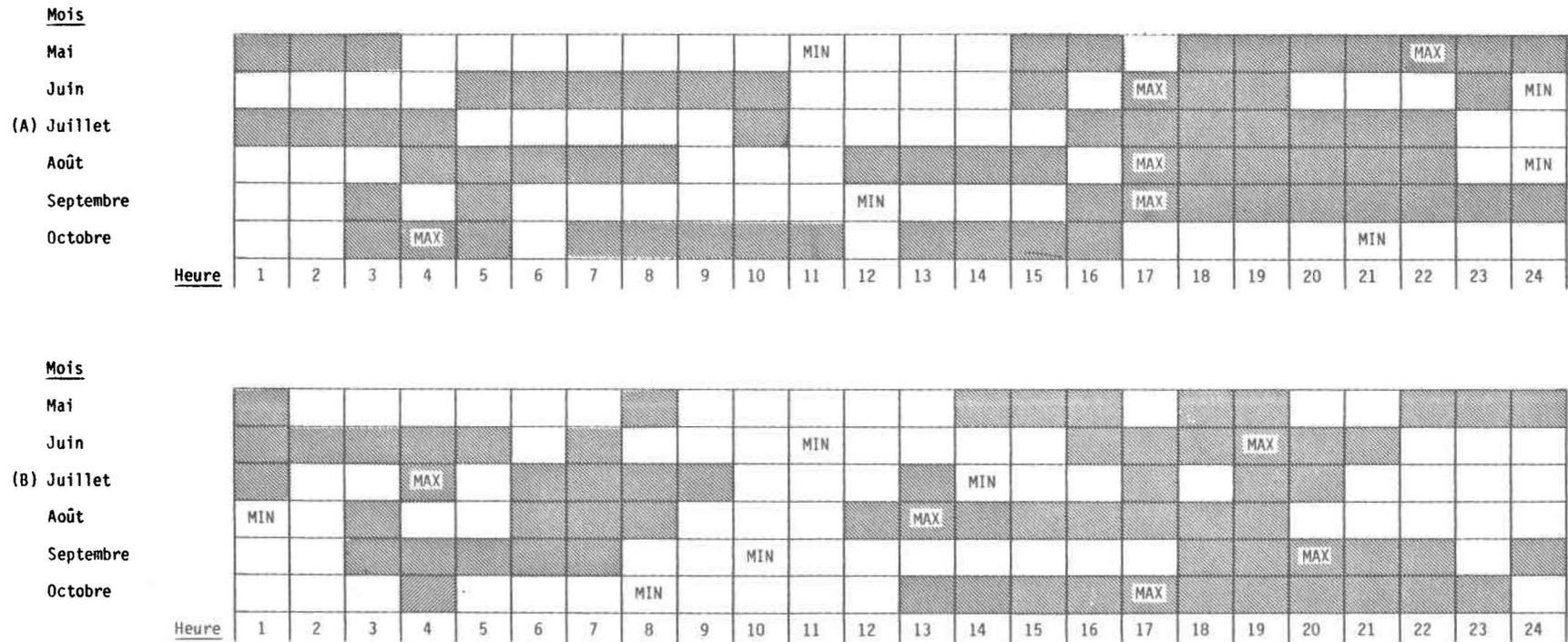
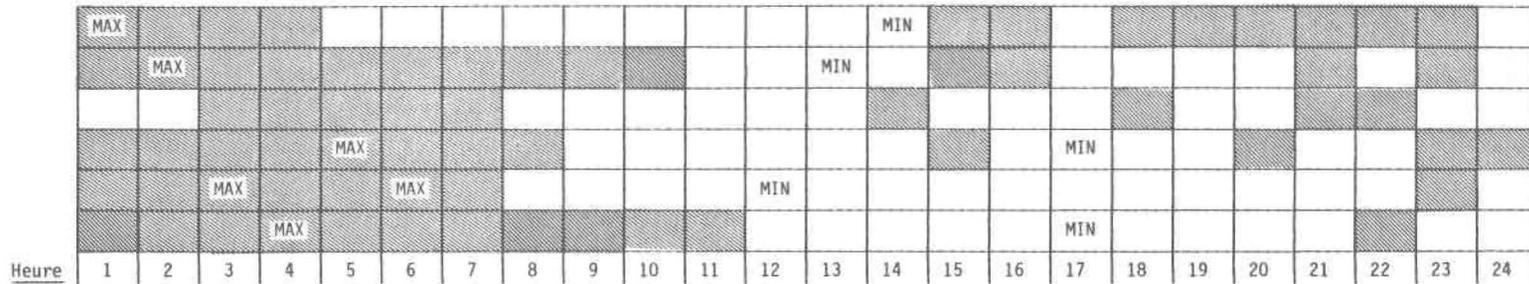


FIGURE 2.10 Distribution des précipitations horaires par rapport à une loi uniforme: les zones hachurées indiquent des occurrences moyennes supérieures à la valeur prise par la loi uniforme, tandis que les occurrences moyennes inférieures correspondent aux zones blanches. Les valeurs minimales et maximales jugées significativement différentes pour un niveau de signification de 0,05, sont indiquées respectivement par MIN et MAX.  
 A: Montréal-International-A.  
 B: Bagotville-A.

Mois  
 Mai  
 Juin  
 (C) Juillet  
 Août  
 Septembre  
 Octobre



Mois  
 Mai  
 Juin  
 (D) Juillet  
 Août  
 Septembre  
 Octobre

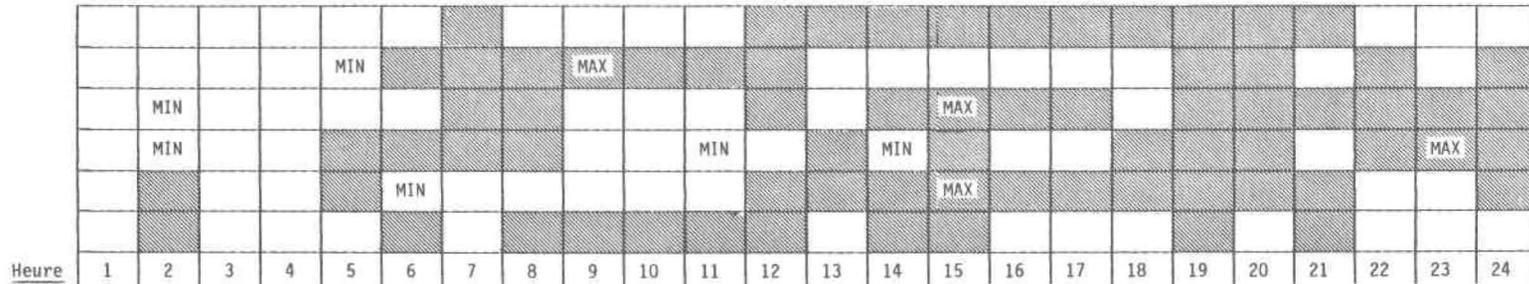


FIGURE 2.10 Distribution des précipitations horaires par rapport à une loi uniforme: les zones hachurées indiquent des occurrences moyennes supérieures à la valeur prise par la loi uniforme, tandis que les occurrences moyennes inférieures correspondent aux zones blanches. Les valeurs minimales et maximales jugées significativement différentes pour un niveau de signification de 0,05, sont indiquées respectivement par MIN et MAX.  
 C: Natashquan-A.  
 D: Val-d'Or-A.

midi. Cette instabilité atmosphérique est due en grande partie au réchauffement radiatif des basses couches de l'atmosphère.

Pour les Etats-Unis, plusieurs études sur les variations journalières des pluies ont été faites et leurs résultats indiquent que la variation journalière des pluies d'été, reflète le cycle diurne de l'activité de convection (Kincer, 1916; Means, 1944; Huff, 1971).

Les fréquentes précipitations horaires au cours de la nuit, surtout à la station de Natashquan-A où les heures nocturnes sont préférentiellement pluvieuses, ont des origines mal connues. Gagnon (1969) a suggéré que l'augmentation des fréquences de précipitations au cours de la nuit, proviendrait de l'instabilité créée dans l'atmosphère par le refroidissement nocturne des couches nuageuses supérieures. En étudiant les intensités moyennes des précipitations pour toutes les heures de la journée, il s'est aperçu que celles-ci étaient moins élevées la nuit que le jour. D'après Gagnon (1969), il pourrait exister un processus nocturne de refroidissement de l'air par le haut qui provoquerait des précipitations de faible intensité.

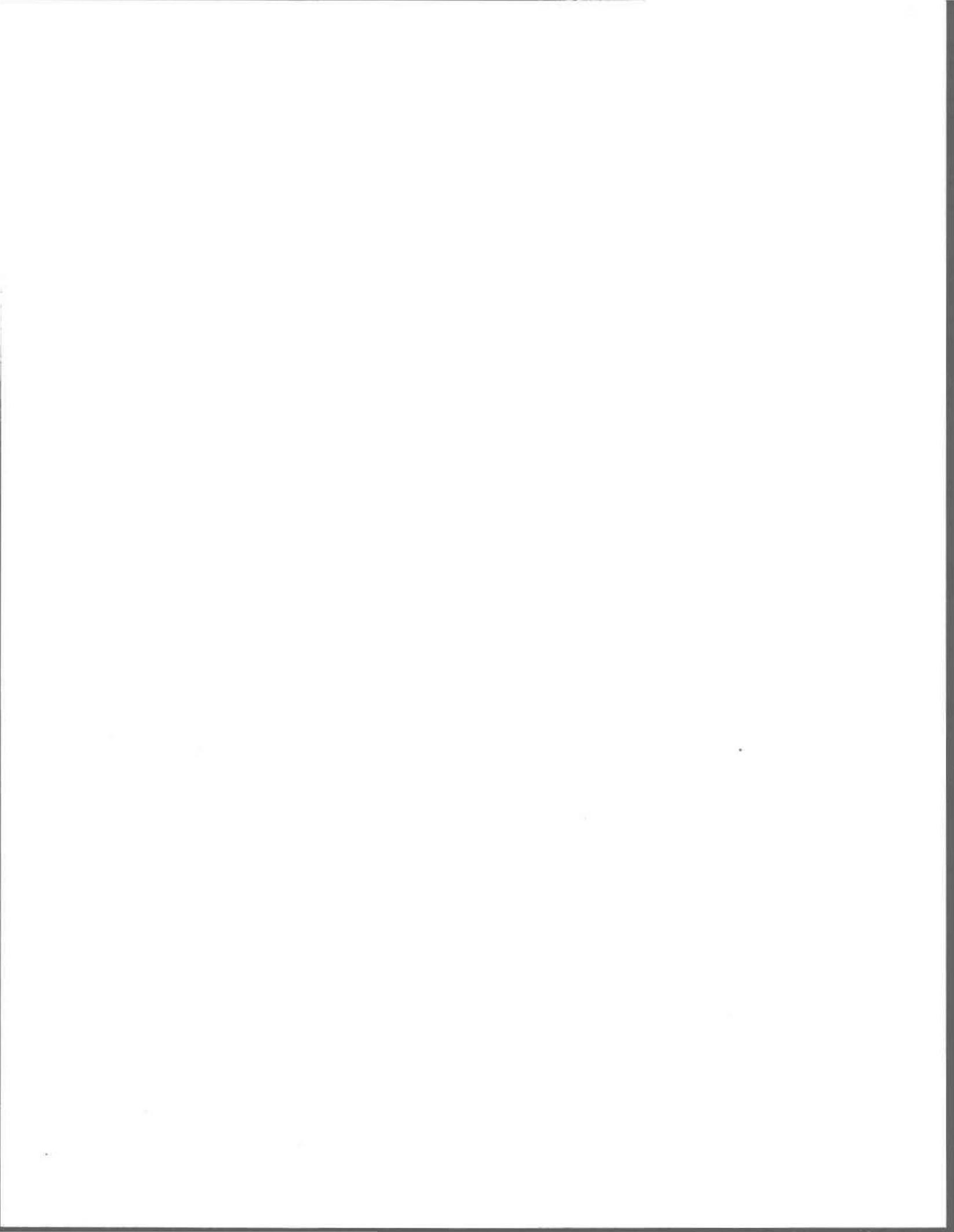
Huff (1971) affirme qu'une cause possible des fréquences maximales durant la nuit peut être due à la fréquence des passages des différents fronts à ces heures. Dépendamment de la répartition journalière des fronts, il existe peut-être une tendance aux passages nocturnes de ceux-ci. Huff (1961) dans une étude pour la ville d'Urbana (Illinois) constata la forte association entre la fréquence des passages frontaux et les fréquences maximales de précipitations. Enfin, il mentionne qu'il existe une forte corrélation entre, d'une part, les maxima de précipitations nocturnes, les orages et les fortes précipitations et, d'autre part, le réchauffement radiatif diurne. Ce réchauffement provoquant des mouvements convectifs de l'air peut intensifier le processus nocturne des précipitations. Beaucoup d'hypothèses ont été avancées pour expliquer les fortes fréquences nocturnes des précipitations, aucune n'a été confirmée véritablement. Cependant, plusieurs études américaines affirment que les fréquences maximales nocturnes de

précipitations pour les régions côtières proviennent probablement des effets de la circulation des brises de terre et de mer sur le continent (Wallace, 1974; Schwartz et Bosart, 1979; Burpée et Lahiff, 1983). On peut donc supposer que les précipitations nocturnes fréquentes à la station côtière de Natashquan-A, pourraient être reliées à l'effet des brises de terre et de mer liées à la présence du Golfe du Saint-Laurent. Ce processus peut influencer et intensifier le processus nocturne des précipitations, comme l'ont déjà mentionné les études américaines.

D'après les résultats obtenus, il est difficile de généraliser pour l'ensemble des stations et selon les mois, s'il y a présence ou non d'un cycle diurne des précipitations. Cependant on a remarqué la présence d'une certaine organisation des heures pluvieuses au cours de la journée aux quatre stations étudiées (pour  $\alpha = 0,01$ ), celle-ci étant généralement plus évidente pour les mois de juin, août et septembre. Les mois de mai et juillet semblent moins sujet aux variations diurnes des fréquences de précipitations pour la majorité des stations.

## CHAPITRE 3

### LES EPISODES PLUVIEUX



### 3. LES EPISODES PLUVIEUX

#### 3.1 Caractéristiques saisonnières des fréquences, durées et intensités des épisodes pluvieux à dix stations pluviographiques du Québec méridional

Au chapitre 2, l'analyse des différents paramètres pluviométriques horaires à l'échelle du Québec méridional, a permis une connaissance plus approfondie du régime pluviométrique. Cependant, des informations supplémentaires concernant la durée, l'intensité et la fréquence des précipitations sont souvent utiles à la solution ou l'analyse de problèmes tels que l'érosion des sols, le transport des polluants atmosphériques à longue distance, la construction d'un réseau de drainage urbain, etc... La connaissance des caractéristiques locales ou régionales des épisodes pluvieux peut s'avérer utile pour la modélisation des phénomènes hydrologiques.

La définition d'un épisode pluvieux peut varier selon les champs d'étude. En théorie, un épisode pluvieux devrait correspondre à la période durant laquelle il y a des précipitations. Malheureusement, les données pluviographiques sont archivées selon un pas de temps fixe et non selon le début et la fin des précipitations. A l'aide des données de précipitations horaires, on définit un épisode pluvieux comme une séquence de précipitations horaires consécutives. Donc, si une ou plusieurs heures consécutives sont pluvieuses et ne sont pas séparées d'une ou plusieurs heures sans précipitations, on est en présence d'un épisode pluvieux.

Cette définition de l'épisode pluvieux a déjà été utilisée par différents auteurs dont Eagleson (1972), Dauphine (1976), Fortin et al. (1985), Brown et al. (1983) et Thorp et Scott (1982). Brown et al. (1983) qualifient ces épisodes pluvieux de primaires. Dans certains cas cependant, on peut être amené à regrouper des épisodes pluvieux séparés par une ou quelques heures non pluvieuses. En effectuant ces regroupements, on veut combiner des épisodes pluvieux qui peuvent être associés à une même perturbation atmosphérique. Brown et al. (1983) ont étudié en Orégon (Etats-

Unis), les caractéristiques des épisodes pluvieux primaires (durée, intensités moyenne et maximale, hauteur totale et intervalle sec entre deux épisodes pluvieux). Pour l'estimation de l'impact des précipitations sur l'érosion des sols, des épisodes pluvieux combinés, réunissant des épisodes primaires séparés par un intervalle sec de moins de six heures, ont été considérés par ces mêmes auteurs.

Thorp et Scott (1982) ont analysé les variations saisonnières et régionales des durées et intensités moyennes d'épisodes pluvieux combinés pour le nord-est des Etats-Unis. Cette étude s'inscrivait dans le cadre de la modélisation de la déposition humide des polluants atmosphériques. Les épisodes pluvieux combinés choisis par Thorp et Scott (1983), étaient constitués de précipitations horaires séparées par des intervalles secs de moins de trois heures en été et de moins de six heures en hiver. Le choix de différents intervalles secs pour les deux saisons provient de la différence entre les caractéristiques des perturbations atmosphériques hivernales et estivales. Ces auteurs observent qu'en été, les perturbations atmosphériques sont généralement moins bien structurées, de courte durée et de nature orageuse. Par opposition, on retrouve en hiver des systèmes synoptiques mieux structurés, se déplaçant plus rapidement et recouvrant une grande superficie. L'intervalle de temps sec se doit d'être plus long en hiver qu'en été. Pour le Québec, Fortin et al. (1985) ont constaté les variations saisonnières des diverses caractéristiques des épisodes pluvieux primaires en été et en hiver. Ces auteurs ont remarqué que la fréquence des cycles longs humides (durées moyennes de 3 à 9 heures) augmente de façon significative en hiver par rapport à l'été. D'après les résultats de Fortin et al. (1985), pour Montréal, ces cycles couvrent 30 pour cent des jours<sup>1</sup> pendant l'hiver comparativement à 5 pour cent en été. Par contre, les cycles longs secs (durée moyenne de 2 à 5 heures sans pluie) varie de façon inverse aux cycles longs humides. En hiver, ces auteurs ont trouvé des pourcentages

---

<sup>1</sup> La variable utilisée pour quantifier la contribution relative des cycles est la proportion du nombre de jours couvert par l'ensemble des cycles de ce type sur la période considérée.

dans le sud du Québec de 60 pour cent des jours et en été, 90 pour cent des jours.

Comme l'écrit Dauphine (1976), le choix de certains seuils est arbitraire. Ce dernier présente une étude des épisodes pluvieux dans le sud de la France et utilise des intervalles secs d'une, deux et six heures. Il conclut qu'aucune solution n'est vraiment satisfaisante. Il constate en effet, que selon les types de perturbations et le seuil choisi, on peut comptabiliser soit un trop grand nombre de précipitations brèves soit trop peu d'épisodes pluvieux de durée plus longue.

L'intervalle de temps sec entre les séquences de précipitations horaires pour la présente étude, est d'une heure. Le choix de cet intervalle offre la possibilité d'effectuer ultérieurement la combinaison de différents épisodes pluvieux s'il y a lieu.

A partir des données de précipitations horaires, il a été possible de concevoir une banque de données contenant certaines caractéristiques propres à chacun des épisodes pluvieux primaires. Chaque épisode pluvieux est caractérisé par sa durée, sa hauteur totale, sa hauteur horaire maximale, son intensité moyenne et l'intervalle de temps sec compris entre cet épisode pluvieux et le suivant.

La durée (D) d'un épisode pluvieux correspond au nombre total d'heures consécutives avec pluie mesurable. La hauteur totale (H) est la hauteur de pluie cumulée durant l'épisode pluvieux. On définit la hauteur maximale (Hm) de l'épisode comme étant la hauteur maximale de pluie tombée pendant une heure quelconque au cours de l'épisode pluvieux. La valeur de l'intensité moyenne ( $\bar{I}$ ) d'un épisode pluvieux est déterminée par l'équation suivante:

$$\bar{I} = \frac{H}{D} \quad (3.1)$$

où H: hauteur totale (mm);  
D: durée de l'épisode pluvieux (heure).

En tout dernier lieu, on évalue l'intervalle de temps sec en comptabilisant le nombre d'heures sans précipitations entre l'épisode pluvieux étudié et celui qui lui succède.

Dans le présent chapitre, on analyse les durées, intensités moyennes et hauteurs totales des épisodes pluvieux aux dix stations pluviographiques étudiées à la section 2.2. Il est à noter que la hauteur horaire maximale et la longueur des épisodes secs ne seront pas analysées.

### 3.2 Distribution mensuelle des fréquences, durées et intensités moyennes des épisodes pluvieux

Un aperçu global des variations intermensuelles (de mai à octobre) des fréquences, durées moyennes et intensités moyennes des épisodes pluvieux est tout d'abord présenté.

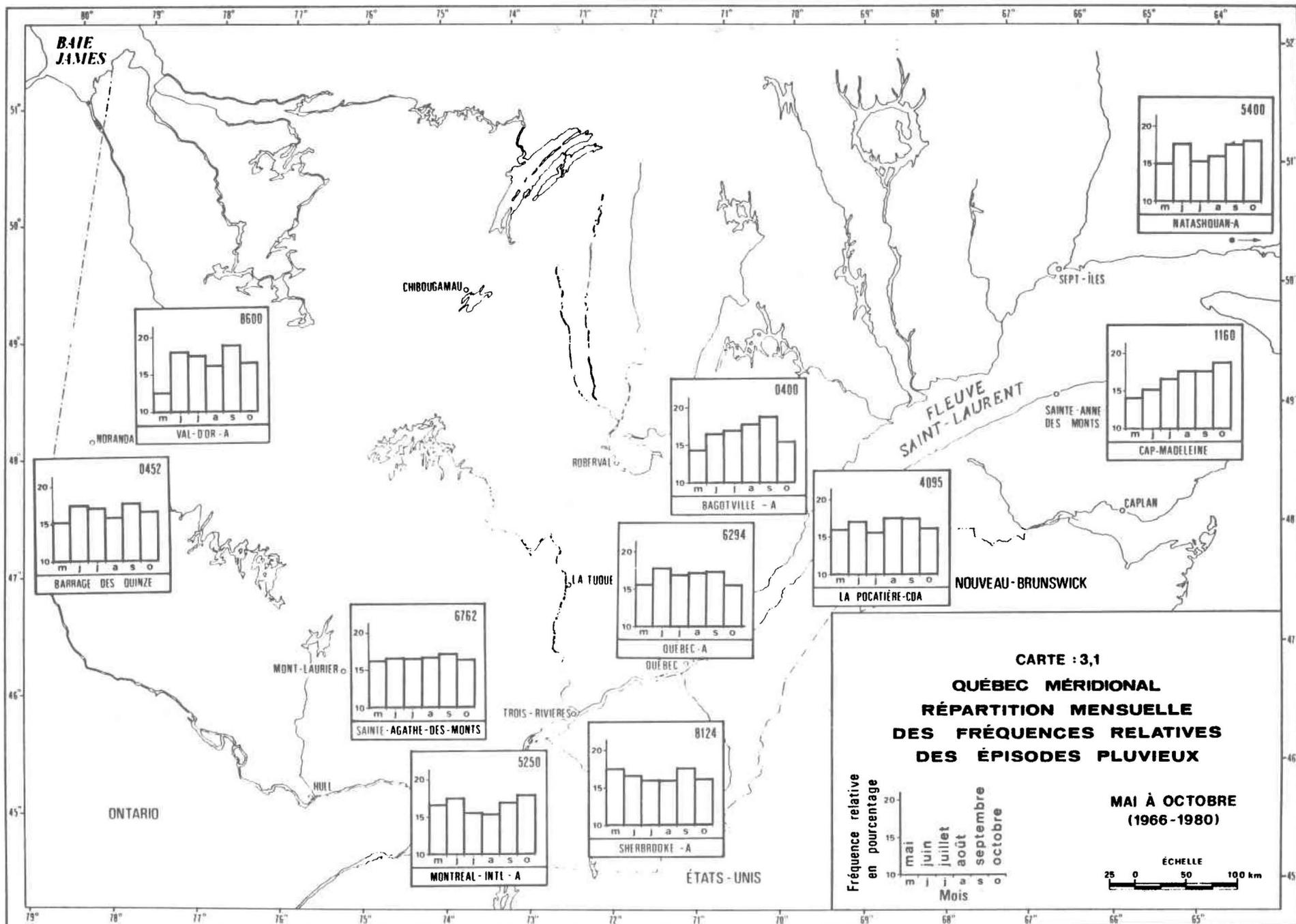
La carte 3.1 montre les distributions des fréquences des épisodes pluvieux aux dix stations pluviographiques retenues<sup>1</sup>. Les fréquences mensuelles relatives des épisodes pluvieux pour chaque station ont dû être normalisées pour contrer l'effet des données manquantes. La fréquence relative normalisée des épisodes pluvieux ( $F'_i$ ) du mois "i" est évaluée par l'équation suivante<sup>2</sup>:

$$F'_i = \frac{f'_{ij}}{\sum_{i=5}^{10} f'_{ij}} \times C_i \quad (3.2)$$

---

<sup>1</sup> Les dix stations pluviographiques retenues sont les mêmes que celles de la section 2.2.

<sup>2</sup> Cette équation est la même qu'à la section 2.2, sauf qu'elle tient compte dans ce cas-ci des épisodes pluvieux et non des précipitations horaires.



où  $f'_{ij}$ : nombre d'occurrences d'épisodes pluvieux pour un mois "i" donné pour "j" années d'observations;

$C_i$ : facteur de correction pour le mois "i" (voir équation 2.16);

$12 < j < 15$ ,  $i = 5, 6, \dots, 10^1$ .

D'après la carte 3.1, les variations intermensuelles des fréquences des épisodes pluvieux des dix stations pluviographiques sont généralement faibles<sup>2</sup> surtout à la station de Sainte-Agathe-des-Monts et Québec-A. Quelques stations situées plus au nord du Québec méridional soit Val-d'Or-A, Bagotville-A, Cap-Madeleine et Natashquan-A, montrent des variations mensuelles légèrement plus prononcées. Pour l'ensemble des stations, on retrouve généralement en mai les fréquences d'épisodes pluvieux les moins élevées; on note spécialement à la station Val-d'Or-A une diminution d'environ 5 pour cent du nombre d'épisodes pluvieux pour ce mois par rapport aux autres mois.

Pour les stations de Cap-Madeleine, Natashquan-A et Bagotville-A, les fréquences des épisodes pluvieux ont tendance à augmenter de mai à septembre ou octobre.

D'après les résultats obtenus, il ne semble pas y avoir de cycle saisonnier des fréquences des épisodes pluvieux pour la majorité des stations sauf à Cap-Madeleine, à Natashquan-A et à Bagotville-A.

La comparaison entre la distribution mensuelle des fréquences des précipitations horaires (figure 2.2) et des épisodes pluvieux montre un intérêt particulier. La distribution des fréquences des épisodes pluvieux nous renseigne seulement sur le nombre d'occurrences des épisodes pluvieux

---

<sup>1</sup> 5 = mai, 6 = juin, 7 = juillet, 8 = août, 9 = septembre et 10 = octobre.

<sup>2</sup> Les valeurs des fréquences mensuelles varient généralement entre elles d'environ 1 à 4 pour cent selon les stations.

et non sur la durée de ceux-ci. En comparant la carte 2.2 et 3.1, on peut avoir quelques indices des types particuliers d'épisodes pluvieux qui peuvent se produire de mai à octobre. On a vu à la section 2.2 que les fréquences des précipitations horaires pour les stations du sud du Québec diminuaient généralement de mai à août, pour augmenter par la suite en septembre et octobre. Par contre, les répartitions saisonnières des fréquences d'épisodes pluvieux offrent peu de variations et en général, pourraient être considérées comme stables. D'après ces deux constatations, on peut donc supposer que les durées d'épisodes pluvieux sont plus faibles en juillet et août que pour les autres mois.

Ces constatations sur les types d'événements pluvieux selon les saisons sont déjà connues pour l'Amérique du Nord. D'après le type de climat que le Québec méridional possède, on sait qu'en été les épisodes pluvieux sont généralement plus intenses et de courte durée. Par contre, au printemps et en automne, les épisodes pluvieux sont généralement plus longs et d'intensité plus faible. Pour vérifier ces constatations, on a voulu quantifier la durée et l'intensité de ces épisodes pluvieux de façon à vérifier l'évolution saisonnière et spatiale des types de pluie aux dix stations sélectionnées. Ce genre d'étude n'a pas de précédent pour le Québec méridional.

Pour chacune des stations, les durées moyennes  $\bar{D}_{ij}$  et intensités moyennes ( $\bar{I}_{ij}$ ) des épisodes pluvieux ont été évaluées sur une base mensuelle à partir des équations 3.3 et 3.4 respectivement:

$$\bar{D}_{ij} = \frac{D_{ij}}{N_{ij}} \quad (3.3)$$

$\bar{D}_{ij}$ : durée moyenne d'épisode pluvieux pour le mois  $i$  et les  $j$  années d'observations;

$D_{ij} = \sum_{k=1}^j d_{ik}$  où  $d_{ik}$ : durée totale des épisodes pluvieux pendant le mois  $i$  de la  $k$ ième année d'observations de la période considérée.

$N_{ij} = \sum_{k=1}^j n_{ik}$  où  $n_{ik}$  est le nombre d'épisodes pluvieux pendant le mois  $i$  de la  $k$ ième année d'observations de la période considérée.

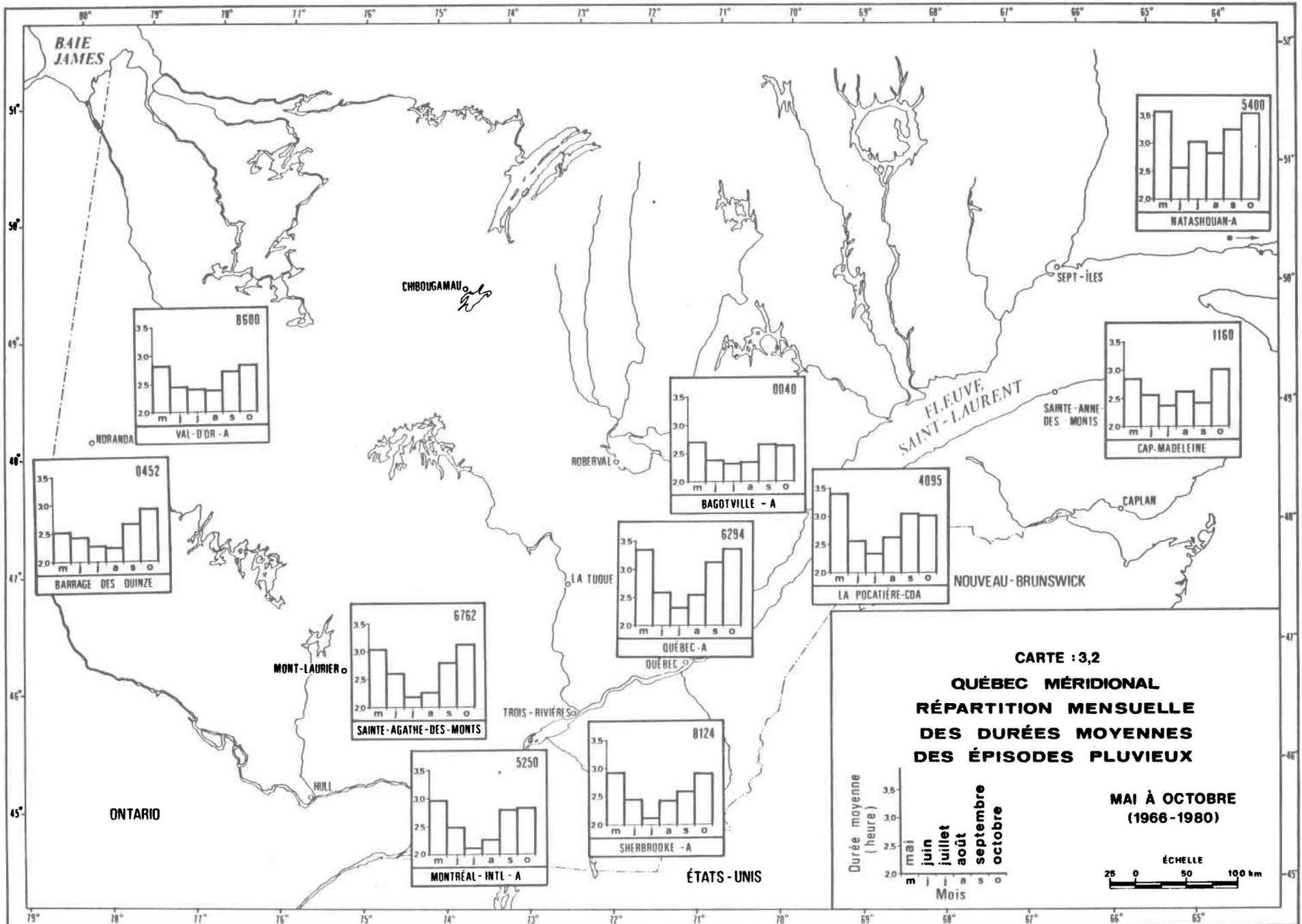
$$\bar{I}_{ij} = \frac{I_{ij}}{N_{ij}} \quad (3.4)$$

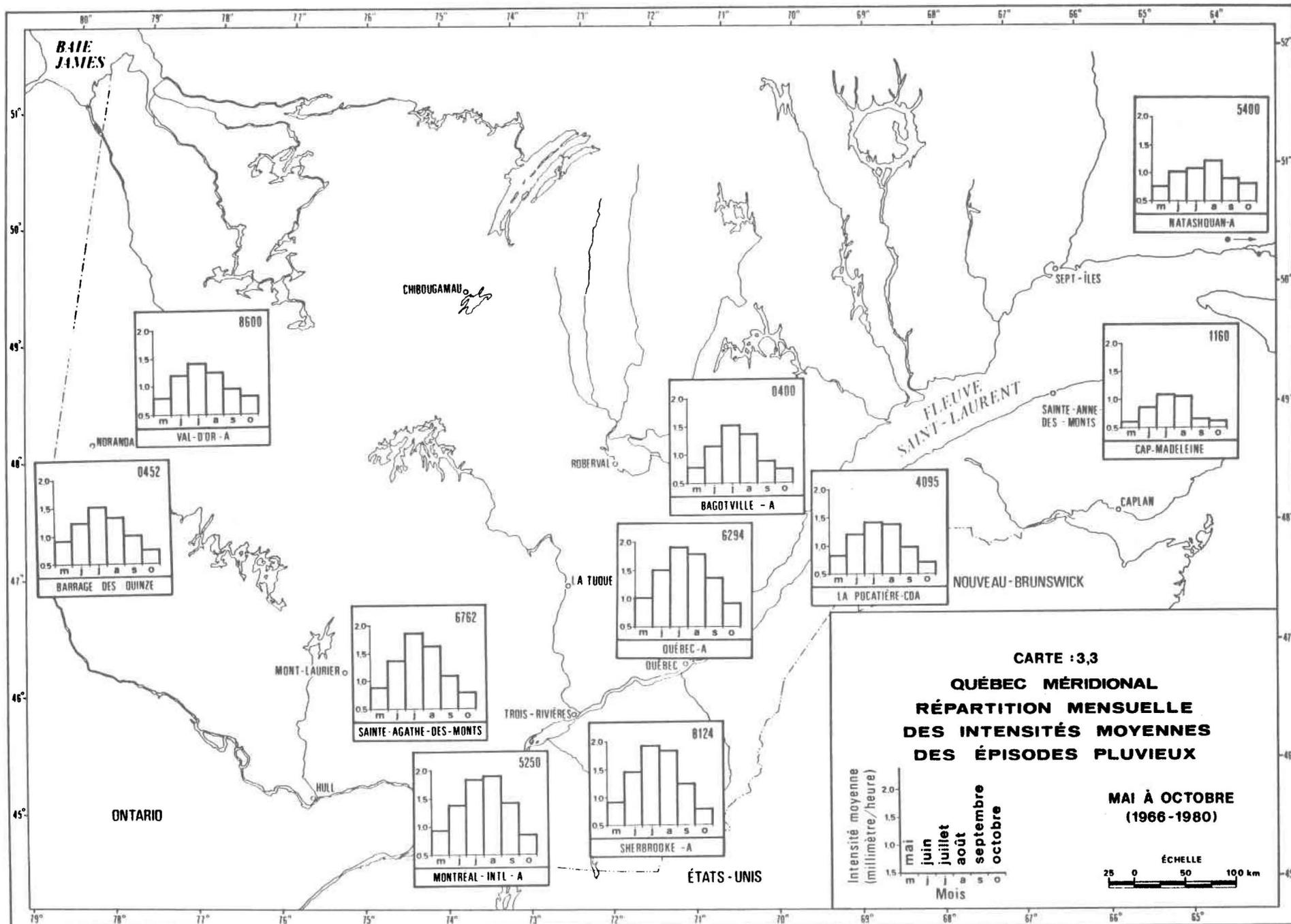
où  $\bar{I}_{ij}$ : intensité moyenne d'épisodes pluvieux pour le mois  $i$  et les  $j$  années d'observations;

$I_{ij} = \sum_{k=1}^j I'_{ik}$  où  $I'_{ik}$  est l'intensité moyenne des épisodes pluvieux du mois  $i$  de la  $k$ ième année d'observation de la période considérée;

$N_{ij} = \sum_{k=1}^j n_{ik}$  où  $n_{ik}$  est le nombre d'épisodes pluvieux pendant le mois  $i$  de la  $k$ ième année d'observations de la période considérée.

Les cartes 3.2 et 3.3 présentent respectivement les valeurs moyennes mensuelles des durées et intensités pour les dix stations pluviographiques étudiées pour chaque mois. Les résultats indiquent que les durées moyennes d'épisodes pluvieux décroissent de mai à juillet ou août pour connaître une augmentation en septembre et octobre pour l'ensemble des stations (carte 3.2). L'amplitude saisonnière des durées moyennes est moins élevée aux stations localisées au nord du Québec méridional soit Barrage des Quinze, Val-d'Or-A, Bagotville-A et Cap-Madeleine.

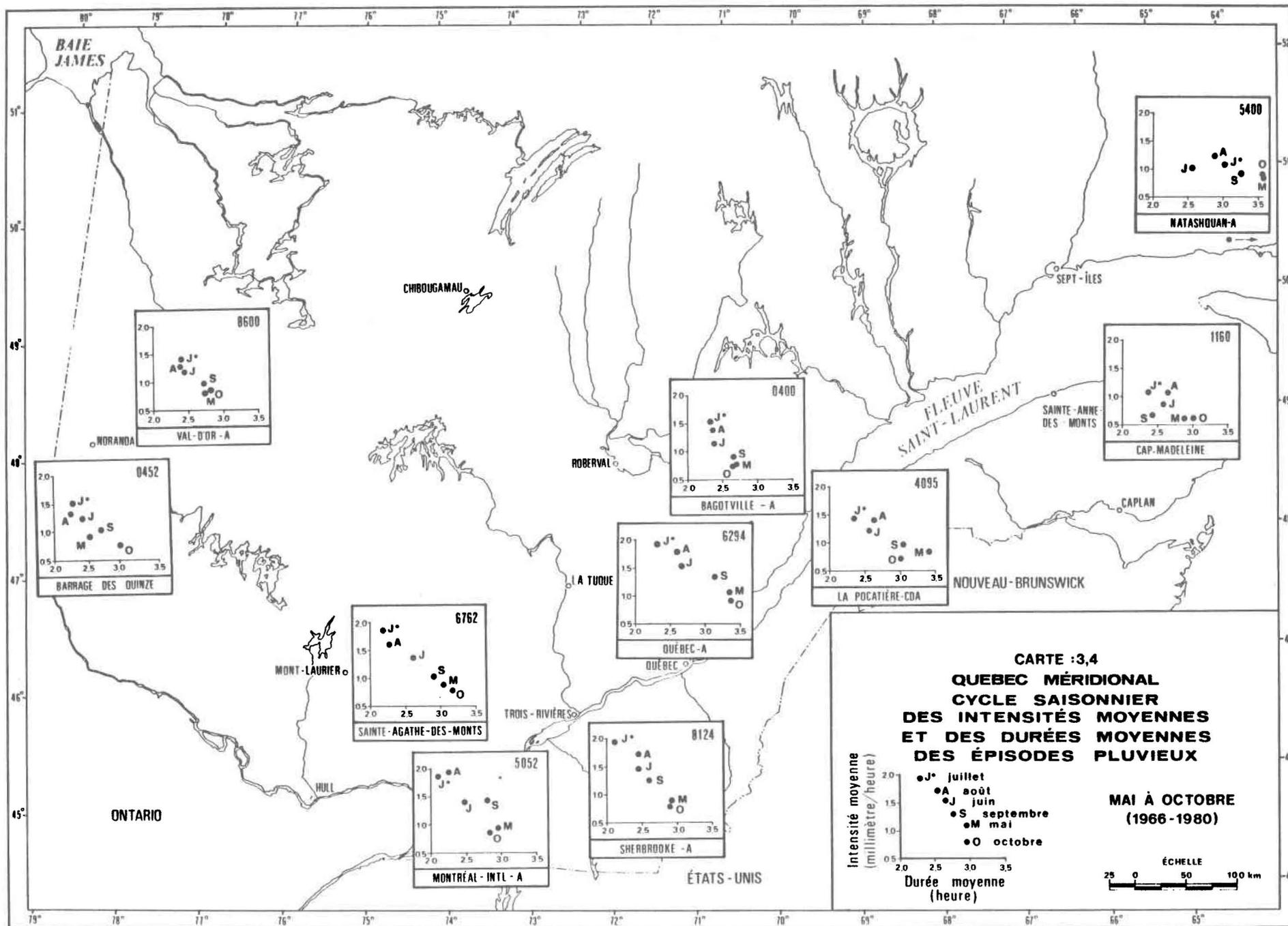




Les intensités moyennes des épisodes pluvieux offrent le schéma inverse. En effet, on retrouve généralement des intensités croissantes de mai à juillet ou août et décroissantes pour les mois d'automne (septembre et octobre). Tout comme les répartitions mensuelles des durées moyennes, les amplitudes saisonnières des intensités sont moins élevées dans le nord du Québec méridional. Les stations du sud du Québec telles que Montréal-International-A, Sherbrooke-A, Sainte-Agathe-des-Monts et Québec-A, présentent les amplitudes saisonnières des intensités moyennes les plus élevées.

Ces valeurs de durées et intensités moyennes des épisodes pluvieux nous montrent bien les variations saisonnières des types d'événements de précipitations au Québec de mai à octobre. Comme on l'a mentionné auparavant, en été on retrouve des épisodes pluvieux moins longs et plus intenses pour l'ensemble des dix stations du Québec méridional. Cependant, on a noté que les amplitudes saisonnières des durées et intensités moyennes étaient plus fortes aux stations du sud du Québec méridional qu'au nord de celui-ci. Par exemple à la station de Québec-A, on retrouve pour mai et juillet respectivement, une durée moyenne d'épisodes pluvieux de 3,34 et 2,32 heures, tandis que l'intensité moyenne y est 1,1 et 1,9 mmh<sup>-1</sup>. Par contre pour une station située plus au nord du Québec méridional comme Barrage des Quinze, les valeurs moyennes des durées et des intensités pour mai et juillet sont respectivement de 2,52 et 2,27 heures et 0,9 et 1,5 mmh<sup>-1</sup>. On remarque d'après ces résultats à Québec en juillet que si l'intensité des épisodes pluvieux est plus forte qu'à Barrage des Quinze et ce, pour des épisodes approximativement de même durée, on peut conclure que l'effet convectif sur les précipitations est plus fort en été au sud du Québec méridional.

La carte 3.4 présente le cycle saisonnier des intensités moyennes et durées moyennes des épisodes pluvieux. On remarque pour l'ensemble des stations que les intensités maximales sont en juillet. Ces dernières correspondent généralement aux durées moyennes minimales pour la saison. Par opposition, on retrouve en octobre ou en mai selon les stations, des durées moyennes maximales et intensités moyennes minimales des épisodes pluvieux. Comme l'a mentionné Fortin et al. (1985), les épisodes pluvieux



plus longs et de moins fortes intensités se produisent généralement au printemps et en automne. Il semble exister une certaine relation saisonnière entre l'intensité moyenne et la durée moyenne des épisodes pluvieux comme le démontre la carte 3.4. Pour chacune des stations, en termes des durées moyennes croissantes et des intensités moyennes décroissantes les mois se présentent dans l'ordre suivant: juillet, août, juin, septembre, mai et octobre. Aux différentes stations, la relation saisonnière entre l'intensité moyenne et la durée moyenne se présente sous une forme presque linéaire, ayant une pente négative plus ou moins prononcée (exemple: les stations Sherbrooke-A et Bagotville-A).

### 3.3 Distributions mensuelles des fréquences des durées et intensités des épisodes pluvieux

Les répartitions mensuelles des intensités et des durées des épisodes pluvieux primaires ont été étudiées par des auteurs tels Eagleson (1972) et Brown et al. (1983). D'après ces auteurs, les distributions mensuelles des fréquences de ces deux variables ont des allures exponentielles. Eagleson (1972), pour des études hydrologiques, a représenté ces distributions par une loi exponentielle.

Dans le but d'analyser les variations spatio-temporelles caractéristiques des distributions des intensités moyennes et durées des épisodes pluvieux au Québec, le calcul des fréquences mensuelles pour diverses classes d'intensité moyenne et de durée a été fait pour chacune des dix stations pluviométriques déjà mentionnées. Les durées des différents épisodes pluvieux sont regroupées en vingt classes. Les classes représentent des durées allant d'une heure à vingt heures et plus. Pour bien étudier le phénomène des intensités moyennes des épisodes pluvieux et obtenir une représentation juste de la distribution des intensités moyennes, il semblait favorable d'utiliser les classes de  $1 \text{ mm/hre}^{-1}$ ; onze classes d'intervalles de  $1 \text{ mm/hre}^{-1}$  ont donc été retenues.

Etant donné la similitude les distributions des fréquences de durées et des intensités moyennes des épisodes pluvieux aux diverses stations

étudiées, seulement les résultats de trois stations sont présentées au tableau 3.1. Ces trois stations sont Montréal-International-A, Val-d'Or-A et Natashquan-A. Les tableaux de distributions des fréquences des durées et intensités moyennes pour les sept autres stations pluviographiques, sont présentés en annexe F.

Le tableau 3.1 donne les résultats des distributions de fréquences des différentes durées d'épisodes pluvieux pour les stations choisies. Les épisodes pluvieux les plus fréquents pour tous les mois, sont ceux de durée d'une heure; plus de 40 pour cent des épisodes pluvieux proviennent de cette classe de durée. Chaque distribution montre une asymétrie positive.

Généralement, on remarque une certaine évolution mensuelle des distributions de fréquences des durées d'épisodes pluvieux. En mai, la fréquence des épisodes pluvieux de durée d'une heure est plus faible par rapport aux autres mois. Les classes d'épisodes pluvieux de durées entre quatre et dix heures offrent généralement des fréquences plus élevées en fin de printemps (mai) et en automne (septembre et octobre) qu'en été. A Montréal-International-A (tableau 3.1A), on retrouve pour des durées de moins de 3 heures, une fréquence de 70,23 pour cent en mai et 85,91 pour cent en juillet. Par contre, pour cette même station, on note la diminution de la fréquence des épisodes pluvieux de durées comprises entre 4 et 10 heures de mai à juillet (de 27,83 pour cent à 13,73 pour cent).

En septembre et octobre, on retrouve généralement un patron de distribution des durées similaire au mois de mai. Notons par exemple que la fréquence des épisodes pluvieux de durée moindre que trois heures en octobre est de 74,77 pour cent et pour les durées comprises entre quatre et dix heures, elle est de 21,28 pour cent. La fréquence des épisodes pluvieux dépassant 11 heures est faible à Montréal. On remarque respectivement qu'en mai et juillet, seulement 1,93 et 0,35 pour cent des épisodes pluvieux ont des durées plus élevées que 11 heures.

TABLEAU 3.1 Distribution mensuelle des fréquences des durées d'épisodes pluvieux.

A: Montréal-International-A (1966-1980).  
 B: Natashquan-A (1969-1980).  
 C: Val-d'Or-A (1966-1980).

mois <sup>1</sup>	DUREE (HEURES)												TOTAL						
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		13	14	15	16	17	18 ET 19 JUS
5	40.78	21.36	8.09	9.71	5.18	4.53	3.88	0.97	2.27	1.29	0.65	0.00	0.37	0.00	0.00	0.32	0.32	0.32	0.32
6	46.98	21.74	11.80	7.76	2.48	2.17	2.80	1.55	1.24	0.62	0.00	0.31	0.00	0.31	0.00	0.62	0.00	0.00	0.00
7	45.07	25.70	18.14	9.15	1.76	1.06	1.06	0.35	0.00	0.00	0.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8	51.05	20.63	10.49	6.28	4.20	2.10	1.05	2.10	1.75	0.00	0.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9	45.54	17.57	11.78	6.37	5.41	5.41	1.59	2.33	0.64	1.81	0.32	0.00	0.32	0.32	0.00	0.32	0.00	0.32	0.32
10	43.90	19.45	9.42	6.69	6.69	1.82	3.65	0.91	0.61	0.91	0.61	0.30	1.52	0.61	0.91	0.00	0.00	0.00	0.00
TOTAL <sup>2</sup>	844	387	204	141	80	53	44	25	21	15	7	2	7	4	3	4	1	1	2

1844

mois <sup>1</sup>	DUREE (HEURES)												TOTAL							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		13	14	15	16	17	18	19
5	41.88	19.53	6.98	6.98	2.79	3.72	3.26	2.79	4.85	0.47	2.33	0.47	0.93	0.47	0.00	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47
6	50.40	15.87	11.90	9.52	3.17	2.38	2.78	0.40	0.78	1.19	0.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.40
7	41.32	22.31	10.74	5.79	5.79	4.13	1.24	1.85	1.85	2.07	1.24	0.41	0.83	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.83
8	47.98	19.35	10.08	5.85	2.42	5.24	1.61	2.02	1.21	0.81	0.40	1.61	0.40	0.40	1.21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9	42.34	17.88	8.78	6.57	6.57	3.65	2.19	3.28	1.82	3.28	0.36	0.73	1.09	0.73	0.00	0.36	0.00	0.00	0.00	0.00
10	42.15	18.39	8.05	5.75	6.51	4.71	0.77	2.30	3.07	1.92	1.15	0.77	0.77	0.77	0.38	0.77	0.00	0.00	0.00	1.15
TOTAL <sup>2</sup>	681	281	141	100	69	59	29	31	32	25	18	12	10	6	4	4	1	2	3	7

1492

mois <sup>1</sup>	DUREE (HEURES)												TOTAL							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		13	14	15	16	17	18	19
5	42.05	19.70	11.74	6.33	5.30	3.79	2.65	1.69	1.69	0.38	0.00	1.14	0.38	0.38	0.00	0.38	0.00	0.00	0.00	0.00
6	48.02	20.30	11.89	7.16	4.46	2.48	1.90	1.73	0.98	0.25	0.50	0.50	0.00	0.00	0.25	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00
7	46.87	24.62	9.74	7.44	3.59	1.54	2.58	1.28	0.51	0.51	0.51	0.51	0.00	0.26	0.00	0.00	0.26	0.00	0.00	0.00
8	47.68	21.76	11.85	7.44	2.75	2.20	2.20	1.65	1.10	0.35	0.00	0.00	0.26	0.26	0.00	0.26	0.00	0.00	0.00	0.00
9	48.56	18.27	11.06	6.73	3.85	2.40	1.97	1.68	0.96	0.72	1.44	0.24	1.44	0.24	0.00	0.24	0.00	0.00	0.00	0.24
10	44.74	20.75	7.82	6.38	5.66	3.77	2.16	1.62	1.08	1.35	0.27	0.54	0.54	0.54	0.00	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27
TOTAL <sup>2</sup>	1028	482	235	166	93	58	45	36	23	14	11	10	10	6	2	2	5	2	2	2

2208

- 1 En pourcentage du nombre total d'épisodes pluvieux pour le mois.
- 2 Nombre total d'épisodes pluvieux d'une durée donnée pour les mois de mai à octobre.

Les deux autres stations Natashquan-A (tableau 3.1B) et Val-d'Or-A (tableau 3.1C) montrent des distributions de fréquences des durées très similaires à Montréal, surtout Val-d'Or-A. Pour cette dernière, les fréquences d'épisodes pluvieux de moins de trois heures, en mai et juillet, sont respectivement 73,49 et 81,03 pour cent; quant aux épisodes pluvieux de durées comprises entre 4 et 10 heures, on retrouve 24,23 et 17,43 pour cent pour ces deux mois. Les épisodes pluvieux de plus de 11 heures sont faiblement représentés pour tous les mois; en mai et juillet, on a seulement 2,28 et 1,54 pour cent.

A Natashquan-A (tableau 3.1B), une légère différence existe dans les divers patrons mensuels par rapport aux deux autres stations. Il semble que les épisodes pluvieux de longues durées (quatre heures et plus) soient légèrement plus fréquents comparativement aux autres stations. En examinant les fréquences du mois de mai et juillet pour cette station, on observe le changement dans la distribution des durées. En mai et juillet pour des épisodes de moins de trois heures, les fréquences respectives sont de 68,37 et 74,37 pour cent; les durées de quatre à dix heures ont des fréquences de 24,66 et 22,32 pour cent tandis, que pour celles de plus de 11 heures, on obtient 7,01 et 3,31 pour cent.

Pour l'ensemble des dix stations, il semble y avoir une tendance à la diminution des fréquences des durées de quatre heures et plus pour les mois d'été. Néanmoins, les occurrences des épisodes pluvieux de très longues durées (11 heures et plus) sont habituellement très faibles par rapport aux autres types d'épisodes à tous les mois étudiés.

Le tableau 3.2 représente les distributions mensuelles des fréquences des intensités moyennes des épisodes pluvieux des trois stations pluviographiques<sup>1</sup> ci-haut mentionnées. Les trois tableaux démontrent que plus de la moitié des épisodes pluvieux ont des intensités moyennes ne dépassant pas

---

<sup>1</sup> Les tableaux des distributions mensuelles des fréquences des intensités moyennes des sept autres stations sont inclus dans l'annexe D.

TABLEAU 3.2 Distribution mensuelle des fréquences des intensités moyennes d'épisodes pluvieux.  
 A: Montréal-International-A (1966-1980).  
 B: Natashquan-A (1969-1980).  
 C: Val-d'Or-A (1966-1980).

**A**

MOIS <sup>1</sup>	INTENSITE MOYENNE (MM/H)											TOTAL
	> 0 A <= 1,0	> 1,0 A <= 2,0	> 2,0 A <= 3,0	> 3,0 A <= 4,0	> 4,0 A <= 5,0	> 5,0 A <= 6,0	> 6,0 A <= 7,0	> 7,0 A <= 8,0	> 8,0 A <= 9,0	> 9,0 A <= 10,0	10,0 ET PLUS	
5	86.99	24.27	5.18	2.91	0.00	0.32	0.00	0.00	0.00	0.00	0.32	1844
6	63.04	18.63	7.76	4.97	1.55	0.93	1.24	0.31	0.31	0.31	0.93	
7	53.87	17.25	11.62	4.93	3.87	3.17	0.35	1.06	1.06	1.06	1.76	
8	55.94	14.69	11.54	5.94	3.85	2.45	2.10	0.35	1.05	0.35	1.75	
9	63.69	19.11	7.64	2.87	1.91	1.91	1.27	0.64	0.32	0.00	0.64	
10	72.64	20.06	4.86	0.91	0.91	0.30	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	
TOTAL <sup>2</sup>	1162	352	147	68	36	27	16	7	8	5	16	

**B**

MOIS <sup>1</sup>	INTENSITE MOYENNE (MM/H)											TOTAL
	> 0 A <= 1,0	> 1,0 A <= 2,0	> 2,0 A <= 3,0	> 3,0 A <= 4,0	> 4,0 A <= 5,0	> 5,0 A <= 6,0	> 6,0 A <= 7,0	> 7,0 A <= 8,0	> 8,0 A <= 9,0	10,0 ET PLUS		
5	77.67	15.35	5.12	1.40	0.47	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1492
6	69.44	17.46	7.94	3.57	0.40	0.00	0.40	0.00	0.40	0.40	0.40	
7	67.36	18.60	7.85	2.48	2.07	0.83	0.41	0.41	0.00	0.00	0.00	
8	63.31	18.95	8.47	4.44	1.61	1.21	0.81	0.40	0.40	0.40	0.40	
9	73.36	17.15	5.11	1.82	1.46	0.36	0.00	0.36	0.36	0.00	0.00	
10	73.95	17.24	5.36	2.30	1.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
TOTAL <sup>2</sup>	1056	261	99	40	18	6	4	3	3	2	2	

**C**

MOIS <sup>1</sup>	INTENSITE MOYENNE (MM/H)											TOTAL
	> 0 A <= 1,0	> 1,0 A <= 2,0	> 2,0 A <= 3,0	> 3,0 A <= 4,0	> 4,0 A <= 5,0	> 5,0 A <= 6,0	> 6,0 A <= 7,0	> 7,0 A <= 8,0	> 8,0 A <= 9,0	> 9,0 A <= 10,0	10,0 ET PLUS	
5	75.00	17.80	5.30	1.14	0.76	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2208
6	67.08	16.58	7.43	3.47	2.23	1.24	0.99	0.25	0.25	0.00	0.50	
7	60.51	21.28	6.41	4.62	2.82	1.54	0.77	0.26	0.51	0.51	0.77	
8	63.64	18.18	10.47	3.58	1.38	1.10	0.83	0.28	0.00	0.00	0.55	
9	71.83	16.83	6.73	2.64	0.96	0.48	0.24	0.00	0.24	0.24	0.00	
10	72.51	19.95	5.66	0.81	0.54	0.27	0.27	0.00	0.00	0.00	0.00	
TOTAL <sup>2</sup>	1503	407	156	62	33	18	12	3	4	3	7	

<sup>1</sup> En pourcentage du nombre total d'épisodes pluvieux pour le mois.  
<sup>2</sup> Nombre total d'épisodes pluvieux d'une classe d'intensités moyennes données pour les mois de mai à octobre.

1 mmh<sup>-1</sup>. Les distributions des fréquences d'intensités moyennes montrent, tout comme les durées, une distribution de type exponentiel pour l'ensemble des stations.

En général, les précipitations ayant des intensités moyennes plus petites que 2 mmh<sup>-1</sup>, constituent plus de 90 pour cent des épisodes pluvieux en mai et octobre. Pendant les mois d'été (juin, juillet et août), il existe une augmentation graduelle des fréquences d'épisodes pluvieux pour les classes d'intensités moyennes plus fortes (plus de 2 mmh<sup>-1</sup>). Pour des intensités moyennes moindres (2 mmh<sup>-1</sup> et moins), les fréquences en général décroissent légèrement en été. Ainsi à la station de Montréal (tableau 3.2A), les mois de mai et juillet comptent respectivement 91,26 et 71,12 pour cent d'épisodes pluvieux dont les intensités sont plus faibles que 2 mmh<sup>-1</sup>. Par contre, pour Natashquan-A et Val-d'Or-A, cette diminution des fréquences en été, pour la même classe d'intensité, est moins forte, plus particulièrement à Natashquan-A. En effet, en mai et juillet pour la station côtière, les fréquences des faibles intensités moyennes (2 mmh<sup>-1</sup> et moins) sont de 93,02 et 85,96 pour cent; à Val-d'Or-A, on observe des fréquences de 92,80 et 81,79 pour cent pour les mêmes mois.

Pour les classes d'intensités moyennes modérées (de 2 mmh<sup>-1</sup> à 5 mmh<sup>-1</sup>), on remarque des fréquences plus importantes en été qu'au printemps (mai) et en automne (septembre et octobre). En mai, à Montréal-International-A (tableau 3.2A), Natashquan-A (3.2B) et Val-d'Or-A (3.2C), les fréquences pour des classes d'intensités moyennes allant de 2 mmh<sup>-1</sup> à 5 mmh<sup>-1</sup> sont respectivement 8,09, 6,99 et 7,20 pour cent. En juillet, par contre pour ces mêmes stations, on retrouve les fréquences suivantes 20,42, 12,40 et 13,85 pour cent.

Les fréquences des intensités moyennes fortes (plus de 5 mmh<sup>-1</sup>) pour les trois stations, sont minimales en mai (Montréal-International-A: 0,64, Natashquan-A: 0,47 et Val-d'Or-A: 0,00 pour cent). En juillet, ces fréquences augmentent (Montréal: 8,46, Natashquan-A: 1,65 et Val-d'Or-A: 4,36).

Les distributions de fréquences des durées et des intensités moyennes des épisodes pluvieux ont généralement des variations saisonnières inverses. L'évolution mensuelle de ces deux variables peut être expliquée par des conditions météorologiques à l'origine des précipitations différentes d'un mois à l'autre. Au printemps et à l'automne, le passage d'un système synoptique étendant son influence sur quelques jours est plus fréquent, alors que les averses se produisant pendant quelques heures seulement se rencontrent surtout l'été.

Au Québec, comme on a pu le constater d'après le tableau 3.1 (et l'annexe F), les passages d'épisodes pluvieux de longue durée sont plus fréquents en fin de printemps et en automne. En été par contre, les fréquences d'épisodes pluvieux plus courts sont favorisés. Fortin et al. (1985) pour un modèle québécois de transport à longue distance des polluants atmosphériques, ont dû utiliser des doubles chaînes de Markov pour bien représenter les cycles longs d'épisodes pluvieux plus présents au printemps et à l'automne ainsi que les cycles courts des épisodes pluvieux estivaux. Les pluies légères ( $2 \text{ mmh}^{-1}$  et moins), même si elles représentent la majorité des épisodes pluvieux pour tous les mois, voient leurs fréquences légèrement diminuées à l'été pour faire place à des pluies plus intenses. Comme nous l'avons déjà mentionné dans le cas des précipitations horaires (c.f. section 2.3), en été, l'effet de convection est plus important en raison des températures plus élevées surtout au sud du Québec. Les précipitations convectives sont généralement plus intenses et de durée relativement courte; elles sont souvent de type averse.

Les variations spatiales des deux types de distribution sont peu prononcées. Les deux stations offrant des différences dans les schémas des durées et intensités moyennes les plus accusées sont Montréal-International-A et Natashquan-A. Les différences se situent au niveau des épisodes pluvieux qui semblent plus longs à Natashquan-A qu'à Montréal pour tous les mois. Cependant, les intensités des épisodes pluvieux en été, sont plus fortes à Montréal-International-A qu'à Natashquan-A.

La plupart des fluctuations trouvées entre les dix stations pour les schémas des distributions de fréquences des intensités moyennes et des durées peuvent être reliées à diverses explications. Les variations spatio-temporelles peuvent s'expliquer soit par des facteurs maritimes (station continentale versus station côtière, exemple: Montréal-International-A et Natashquan-A) ou climatologiques (déplacement des trajectoires des systèmes synoptiques vers le nord du Québec en été, effet de convection plus marqué au sud du Québec méridional).

### 3.4 Distribution mensuelle de la contribution à la pluie totale des épisodes pluvieux en fonction de leur durée

En général, on connaît très souvent les variations spatiales d'un paramètre tel que la pluie totale mensuelle ou annuelle pour un territoire donné. Malheureusement, on ne sait pas quels types d'épisodes pluvieux produisent généralement ces précipitations. L'étude de Thorp et Scott (1982) fait le bilan de la contribution à la pluie saisonnière des épisodes pluvieux de même durée sur le nord-est des Etats-Unis; les auteurs observent que pour l'été, ce sont les épisodes pluvieux d'une durée de trois heures qui contribuent le plus à la quantité totale de pluie estivale.

Le bilan de la contribution à la pluie totale mensuelle et saisonnière des épisodes pluvieux de même durée est dressé ici pour les dix stations pluviographiques déjà mentionnées à la section précédente. La hauteur totale de pluie produite par des épisodes pluvieux d'une durée donnée est présentée en pourcentage de la pluie mensuelle ou saisonnière. Ces pourcentages ( $Q_{Di}$ ) sont déterminés pour un mois "i" donné (ou toute la période) par l'équation suivante:

$$Q_{Di} = \frac{P_{TD}}{P_{Ti}} \times 100 \quad (3.5)$$

où  $Q_{Di}$ : contribution (en pourcentage) à la pluie totale du mois i (ou de la saison i) de tous les épisodes pluvieux de durée D;

où  $P_{TD}$ : hauteur totale de pluie produite par tous les épisodes pluvieux de durée  $D$  au cours du mois  $i$  (ou de la saison  $i$ ) pour l'ensemble des années d'observations à la station considérée;

$P_{Ti}$ : hauteur totale de pluie produite par tous les épisodes pluvieux du mois  $i$  (ou de la saison  $i$ ) pour l'ensemble des années d'observations à la station considérée;

$D = 1, 2, 3, \dots, 17, 18$  heures et plus;

$i = 5, 6, 7, 8, 9, 10^1$ .

Les valeurs  $Q_{Di}$  ont été calculées pour l'ensemble des dix stations pour chacun des mois (mai à octobre) et sur toute la période. Comme précédemment, les distributions mensuelles des valeurs de  $Q_{Di}$  aux dix stations se sont révélées similaires, sauf à la station de Natashquan-A où l'on a détecté quelques différences.

Les tendances générales des variations mensuelles des valeurs de  $Q_{Di}$  sont décrites à l'aide des résultats obtenus à trois des dix stations choisies, soit Montréal-International-A, Val-d'Or-A et Natashquan-A (tableau 3.3). De plus, dans l'intérêt de mieux faire ressortir les variations intermensuelles et spatiales, des lignes de différents pourcentages ont été tracés à l'intérieur du tableau. Les distributions mensuelles et saisonnières de la contribution à la pluie totale des différentes durées d'épisodes pluvieux des sept autres stations étudiées sont contenues à l'annexe F.

L'analyse des dix stations (tableau F.3 et annexe F) démontre que même si les épisodes pluvieux d'une heure sont les plus fréquents (approximativement plus de 40 pour cent, c.f. tableau 3.1), ceux-ci ne contribuent

---

<sup>1</sup> 5 = mai, 6 = juin, 7 = juillet, 8 = août, 9 = septembre, 10 = octobre.

Tableau 3.3 Distribution mensuelle de la contribution à la pluie totale des épisodes pluvieux en fonction de leur durée.  
 A: Montréal-International-A (1966-1980).  
 B: Natashquan-A (1969-1980).

A	Durée (heure)																		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18+	
Mois <sup>1</sup>																			
Mai	8,76	13,12	7,39	13,54	9,02	11,78	11,49	3,34	6,27	4,25	2,20	0,00	1,68	0,00	0,00	2,82	2,84	1,50	
Juin	16,30	20,68	12,91	9,66	4,09	6,81	8,31	6,76	5,07	2,20	0,00	1,62	0,00	1,90	0,00	4,50	0,00	0,00	
Juillet	13,06	20,51	27,51	20,35	5,89	2,50	4,50	2,36	1,61	0,00	1,71	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Août	15,60	29,48	9,21	11,91	8,19	5,03	3,74	8,13	7,28	0,00	1,43	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Septembre	11,69	11,23	7,65	11,51	9,78	14,07	2,40	5,59	2,65	8,01	0,48	0,00	1,61	5,50	0,00	1,46	0,00	6,37	
Octobre	7,15	11,49	9,84	8,86	13,27	2,85	13,00	2,10	2,09	5,23	2,94	0,64	2,24	6,68	0,00	0,00	0,00	11,62	
Période <sup>2</sup> complète	12,30	17,94	12,55	12,74	8,31	7,30	6,74	4,85	4,10	3,31	1,39	0,35	2,26	1,61	0,98	1,39	0,39	1,49	

B	Durée (heure)																		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18+	
Mois <sup>1</sup>																			
Mai	4,06	6,01	5,44	5,12	4,80	8,04	8,08	5,72	14,37	2,17	6,57	2,79	2,97	0,90	0,00	3,80	2,34	16,82	
Juin	8,64	8,64	13,18	19,14	5,95	8,07	11,64	2,31	4,61	5,82	2,35	1,56	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,09	
Juillet	4,94	13,22	9,09	8,60	8,83	11,82	3,06	4,08	4,77	9,25	6,11	3,70	3,69	0,00	0,00	0,00	0,00	8,84	
Août	7,95	6,92	13,14	7,54	3,85	10,72	3,80	8,37	5,83	3,97	2,25	12,24	2,23	1,66	9,53	0,00	0,00	0,00	
Septembre	5,66	7,50	5,45	8,24	11,17	6,85	6,45	9,00	7,64	14,57	1,17	2,52	4,45	3,62	0,00	2,07	0,00	3,64	
Octobre	3,85	6,18	3,80	3,97	10,32	5,94	1,68	4,02	6,82	6,87	10,07	8,20	4,49	6,70	1,77	6,75	0,00	9,57	
Période <sup>2</sup> complète	5,83	8,05	8,29	8,45	7,62	8,58	5,42	5,73	7,17	7,28	4,80	5,54	3,08	2,34	2,14	1,98	0,32	7,38	

<sup>1</sup> En pourcentage de la pluie totale mensuelle.  
<sup>2</sup> En pourcentage de la pluie saisonnière.

Tableau 3.3 Distribution mensuelle de la contribution à la pluie totale des épisodes pluvieux en fonction de leur durée (suite).  
C: Val-d'Or-A (1966-1980).

C	Durée (heure)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18+
Mois <sup>1</sup>																			
Maï		6,40	12,11	10,65	11,82	10,87	11,05	6,16	7,02	10,95	1,39	0,00	6,86	1,42	1,12	0,00	2,18	0,00	0,00
Juin		11,99	15,27	16,14	11,39	9,35	6,61	3,45	9,84	5,68	0,64	2,71	2,16	0,00	0,00	1,88	2,89	0,00	0,00
Juillet		13,35	18,49	13,16	11,47	8,94	5,72	9,47	3,86	3,16	2,48	2,62	3,32	0,00	2,03	0,00	0,00	0,00	1,93
Août		12,80	17,00	16,34	13,26	5,46	6,59	7,73	5,59	7,43	3,49	0,00	0,00	2,02	0,81	0,00	1,48	0,00	0,00
Septembre		8,23	10,02	13,31	9,53	9,97	6,65	4,87	6,43	3,75	3,30	7,82	1,63	10,07	1,32	0,80	0,00	0,00	2,30
Octobre		7,91	11,18	6,33	16,35	11,67	10,53	5,16	7,06	5,13	4,94	1,48	3,47	1,40	2,58	0,00	1,00	0,00	3,81
Période <sup>2</sup> complète		10,50	14,26	13,02	12,13	9,22	7,47	6,20	6,55	5,55	2,72	2,77	2,59	2,66	1,30	0,51	1,15	0,63	0,77

<sup>1</sup> En pourcentage de la pluie totale mensuelle.

<sup>2</sup> En pourcentage de la pluie saisonnière.

qu'à un faible pourcentage de la pluie mensuelle. Ce pourcentage varie selon les stations et les saisons mais ne dépasse habituellement pas 15 pour cent de la pluie mensuelle en été, à chacune des dix stations (tableau 3.3 et annexe F).

En général, pour les mois de mai, septembre et octobre, les valeurs du pourcentage diminuent pour des épisodes pluvieux de durée d'une heure; par exemple, à Val-d'Or-A (tableau 3.3C) en mai et octobre, les pourcentages sont respectivement de 6,40 et 7,91, tandis qu'en juillet, on a 13,35 pour cent. Sur toute la période, l'examen du pourcentage de la pluie saisonnière pour des durées d'une heure à toutes les stations, montre que cette valeur ne représente pas une forte contribution aux précipitations saisonnières, soit de 8 à 10 pour cent de la pluie totale saisonnière.

Aux trois stations étudiées, pour des épisodes pluvieux de moins de trois heures, les pourcentages de pluie de juillet sont approximativement le double de ce qu'ils sont en mai et octobre (par exemple à Montréal: juillet: 61,08; mai: 29,27 et octobre: 28,48 pour cent). Ce changement a pour effet de diminuer la contribution des épisodes pluvieux de plus de trois heures pour la saison estivale. Les fluctuations estivales des pourcentages des épisodes pluvieux courts (3 heures et moins) semblent être reliées directement aux variations des fréquences de ce type d'épisodes pluvieux (c.f. section 3.3). D'après la comparaison des tableaux 3.1 et 3.3, on note de mai à juillet, une augmentation des fréquences des durées d'épisodes pluvieux de moins de trois heures, en même temps que la contribution de pluie pour ces épisodes augmente.

Pour toutes les stations, la hauteur de pluie mensuelle, attribuable à des épisodes pluvieux pour des durées de quatre à dix heures, est assez élevée. Le tableau de Val-d'Or-A (tableau 3.3C) démontre bien que ces épisodes contribuent à plus de 40 pour cent des précipitations mensuelles.

La station de Natashquan-A (tableau 3.3B) possède quelques particularités. Les pourcentages de pluie totale pour les épisodes de moins de trois

heures sont nettement inférieurs à ceux des autres stations. Les valeurs n'atteignent pas plus de 30 pour cent de la pluie totale en été, saison où se situe d'ailleurs les pourcentages maximaux pour cette catégorie d'épisodes pluvieux. Cette station se démarque particulièrement pour ces fortes contributions de pluie pour des épisodes de plus de 11 heures en mai (36,21 pour cent) et en octobre (46,56 pour cent). En comparaison avec cette station côtière, on retrouve respectivement à Montréal-International-A et à Val-d'Or-A des pourcentages de pluies plus faibles pour les durées d'épisodes pluvieux de plus 11 heures soit de 11,07 et 11,58 pour cent en mai et de 24,12 et 13,73 pour cent en octobre. Cette constatation démontre qu'à Natashquan-A, la contribution aux totaux mensuels des longs épisodes pluvieux (plus de 11 heures) est certes non négligeable en mai et en octobre.

L'analyse des patrons des lignes d'isopourcentage de contribution à la pluie mensuelle pour la majorité des stations (tableau 3.3 et annexe F.3), montre que les isolignes de cinq et dix pour cent dépassent très rarement dix heures pour tous les mois. En fait, les épisodes pluvieux de dix heures et plus contribuent généralement à moins de dix pour cent de la pluie totale mensuelle.

En général pour la majorité des stations, on retrouve en mai, septembre, octobre et quelques fois en juin, un patron d'isopourcentages semblable pour les durées d'épisodes pluvieux de zéro à dix heures. En fait les pourcentages pour ces mois et ces durées d'épisodes pluvieux varient habituellement de 5 à 10 pour cent. Pour les durées dépassant dix heures, les pourcentages sont généralement plus petits que 5 pour cent. Pour les mois d'été (juillet et août), des isolignes de 15, 20 et parfois 25 pour cent de la pluie apparaissent pour des épisodes de deux à trois heures. Par exemple, à la station Montréal-International-A (tableau 3.3A) en juillet, les épisodes de durées comprises entre deux et quatre heures ont des pourcentages dépassant 20 pour cent chacun, tandis que chacune des classes d'épisodes pluvieux de plus de cinq heures représentent moins de 5 pour cent de la pluie mensuelle.

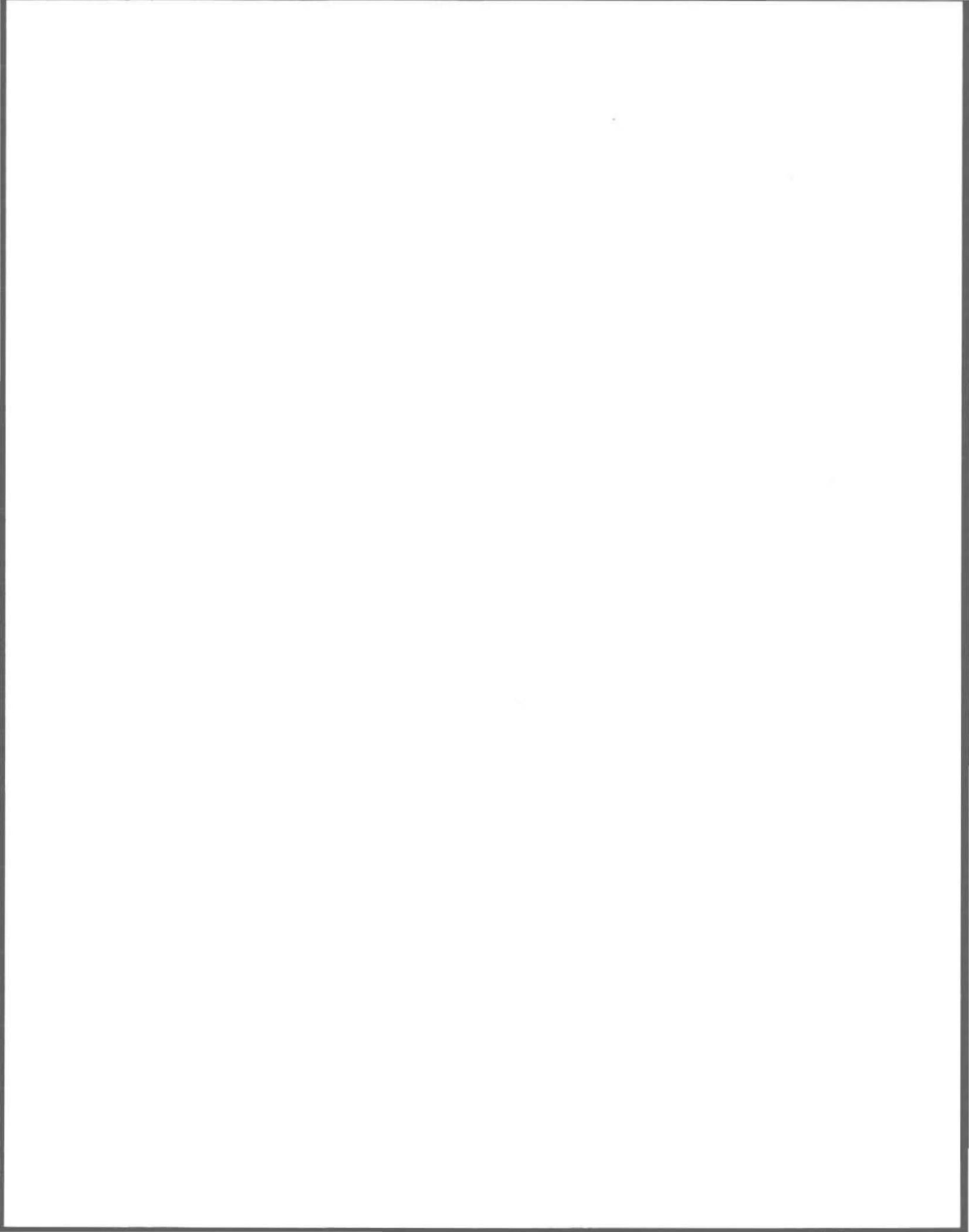
Généralement pour l'ensemble des stations, les épisodes pluvieux de plus de 18 heures offrent un pourcentage de plus de 5 pour cent de la pluie mensuelle en mai, septembre et octobre. Pour les mois d'été, rares sont les stations qui présentent des pourcentages de plus de 5 pour cent de la pluie mensuelle pour les mêmes durées d'épisodes, cependant les deux stations côtières Natashquan-A (tableau 3.3B) et Cap-Madeleine (annexe D.3.D) présentent cette caractéristique.

De plus, il est à remarquer qu'à Natashquan-A, le tracé des isolignes pour tous les mois, démontrent bien que les pourcentages sont distribués plus uniformément sur les épisodes pluvieux de moins de 11 heures (variations de 5 à 10 pour cent). A cette station, les pourcentages de pluie pour des durées d'épisodes pluvieux de deux à quatre heures en été, présentent une augmentation plus faible qu'aux autres stations.

La station Natashquan-A semble d'après les résultats de l'analyse des épisodes pluvieux, être la plus influencée par la présence du Golfe du Saint-Laurent. A Cap-Madeleine, autre station côtière, on retrouve des similarités avec la station de Natashquan-A dans les schémas saisonniers des durées, des intensités et des pourcentages. Par contre, cette dernière semble avoir des tendances tantôt continentales, tantôt maritimes. On note à Cap-Madeleine des pourcentages de pluie de plus de 5 pour cent en juillet, pour des épisodes de pluie dépassant 18 heures, comme à Natashquan-A. D'un autre côté, les épisodes pluvieux de moins de sept heures offrent généralement, de mai à juillet à Cap-Madeleine, des pourcentages de plus de 5 pour cent. Ce pourcentage n'est pourtant pas dépassé pour des durées de pluie comprises entre 8 et 16 heures. Cette dernière caractéristique est plutôt similaire aux stations plus continentales comme par exemple Sainte-Agathe-des-Monts (annexe F, tableau F.3.C).

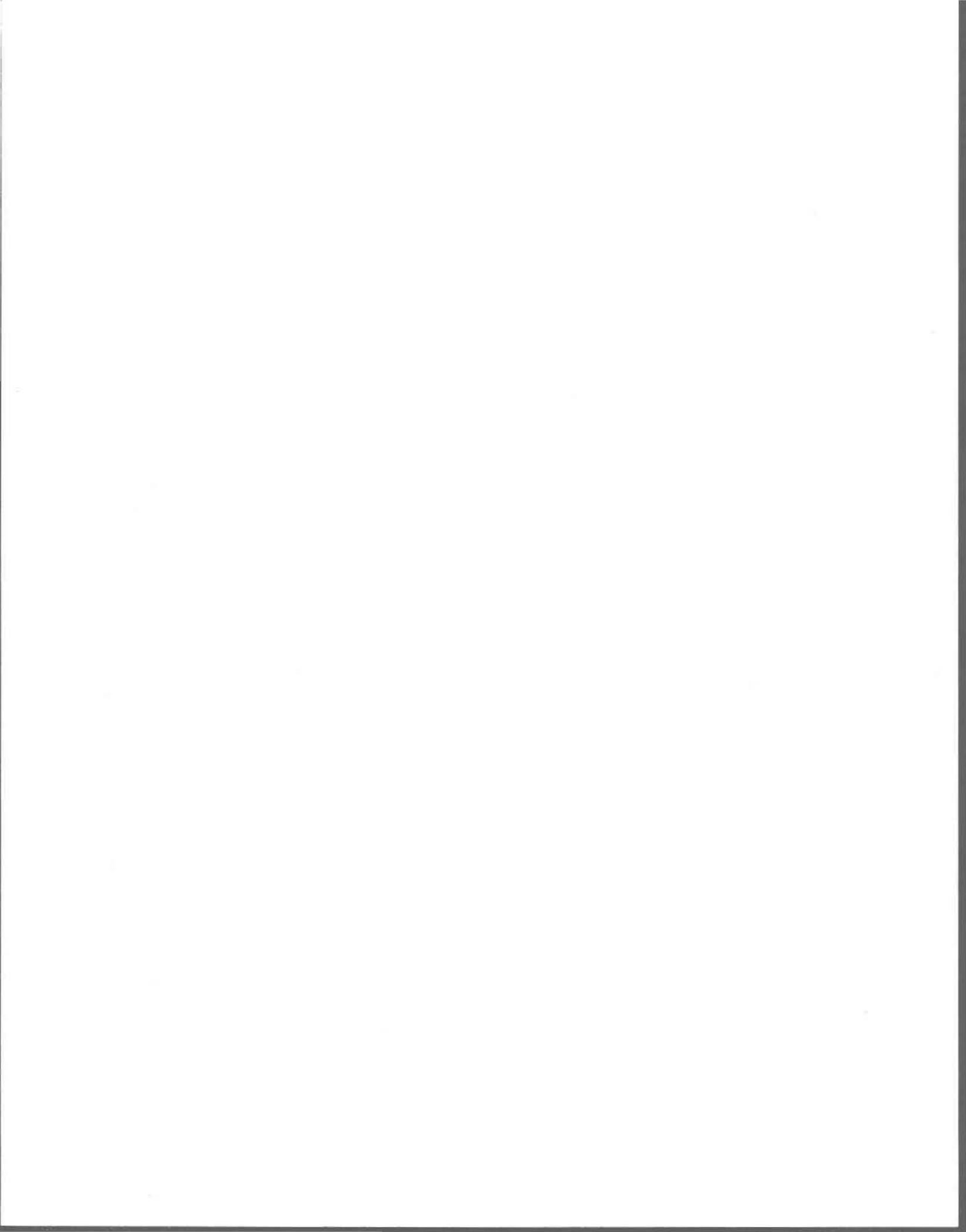
Pour l'ensemble de la période (mai à octobre), les durées d'épisodes de deux et trois heures obtiennent les pourcentages maximaux de pluie totale (environ 10 à 12 pour cent). Ces résultats sont semblables à ceux de Thorp et Scott (1982) qui ont montré que les épisodes de trois heures apportaient

la plus forte contribution de pluie au nord-est des Etats-Unis pendant l'été. A la station de Natashquan-A, les contributions à la pluie saisonnière semblent réparties de façon plus régulière pour des épisodes de un à dix heures.



CHAPITRE 4

CONCLUSION



#### 4. CONCLUSION

Ce dernier chapitre présente une synthèse des principales conclusions résultant de l'analyse quantitative des précipitations horaires et des épisodes pluvieux.

Dans un premier temps, les ajustements statistiques par des lois dérivées de la loi gamma sur les distributions de mai et juillet des hauteurs horaires de précipitation ont été étudiés, pour trois stations pluviographiques: Montréal-International-A, Lennoxville-CDA et Val-d'Or-A. Les résultats ont démontré que l'emploi de la loi gamma généralisée ou de la loi gamma à deux paramètres est plus adéquat que celui de la loi exponentielle pour représenter l'ensemble de la distribution empirique des données horaires. Néanmoins, même si la loi gamma généralisée montre des meilleurs résultats aux trois stations étudiées, la loi gamma présente l'avantage de ne nécessiter l'estimation que des deux premiers moments. L'utilisation de la loi gamma a donc été jugée préférable à la loi gamma généralisée d'autant plus que celle-ci montre une performance très voisine de cette dernière.

Pour dix stations pluviographiques jugées représentatives de chaque région climatologique du Québec méridional, les répartitions mensuelles des précipitations en pourcentage de la pluie saisonnière et des fréquences de précipitations horaires ont été analysées. Les répartitions mensuelles des précipitations montrent généralement une tendance à l'augmentation des valeurs du pourcentage de la pluie saisonnière du mois de mai aux mois estivaux (juillet ou août) et à la diminution de ces valeurs en octobre. Seules les stations côtières telles que Natashquan-A et Cap-Madeleine présentent des valeurs des pourcentages mensuels de la pluie saisonnière augmentant de mai à septembre. Il ne semble pas exister de relation entre l'altitude ou la latitude des stations pluviographiques et l'allure des régimes des précipitations en pourcentage de la pluie saisonnière. Les types et les fréquences des perturbations atmosphériques voyageant au-dessus du Québec méridional sont probablement les facteurs les plus influents sur les répartitions.

Les répartitions mensuelles des fréquences de précipitations horaires montrent habituellement des patrons inverses à celui des pourcentages mensuels de la pluie saisonnière. On a noté pour les stations situées surtout au sud du 47<sup>e</sup> degré de latitude nord, des fréquences mensuelles de pluie horaire plus élevées en mai et octobre tandis que les fréquences minimales se produisent durant les mois estivaux (juillet et août). Pour les stations localisées au nord du 47<sup>e</sup> degré de latitude nord, il existe peu de variations de fréquences pour les mois de mai à juillet; par contre, pour les mois d'août à octobre, on note une augmentation graduelle des fréquences. Ce gradient latitudinal dans les schémas des fréquences des précipitations horaires peut être dû à la trajectoire plus nordique des dépressions en été. Le passage prédominant des dépressions sur la vallée du Saint-Laurent en fin de printemps et en automne et, sur le nord du Québec méridional à l'été, agit possiblement sur les fréquences des pluies horaires.

Grâce à l'examen des cartes mensuelles du taux moyen horaire et des fréquences horaires de précipitations ainsi qu'à l'analyse des coefficients de corrélation, il a été possible de mettre en évidence certaines variables météorologiques et physiographiques ayant une influence sur les deux paramètres cartographiés. Les fluctuations saisonnières du taux moyen horaire peuvent être résumées ainsi: les valeurs de ce paramètre sont plus élevées en été qu'à la fin de printemps et à l'automne. Par opposition, les fréquences des pluies horaires sont généralement maximales en mai et octobre et minimales en été.

L'influence mensuelle de la température maximale moyenne sur la valeur du taux moyen horaire pour chacune des 70 stations étudiées s'est révélée croissante de mai à juillet et août. Cette constatation démontre ainsi l'importance des mouvements convectifs de l'air plus fréquents en été sur les précipitations horaires. La latitude montre aussi des influences importantes sur les valeurs du taux moyen horaire. L'altitude et la longitude se sont révélées peu influentes sur la valeur de ce paramètre pluviométrique.

Les fréquences mensuelles des précipitations horaires varient surtout en fonction de l'altitude et de la température maximale moyenne. La position latitudinale des stations est une autre variable qu'on ne doit pas négliger quant à son importance sur la fréquence des précipitations horaires.

La dernière section de l'analyse des précipitations horaires a traité des répartitions horaires des fréquences de précipitation sur une base mensuelle. Les répartitions horaires de quatre stations pluviographiques ont été étudiées. Le test de Student portant sur l'égalité des valeurs minimales et maximales des répartitions horaires du nombre moyen d'occurrences de pluie mesurable a été utilisé pour déterminer s'il existe un cycle diurne de la pluie pour différents mois. D'après les résultats obtenus, il est difficile de généraliser pour l'ensemble des stations et selon les mois, s'il y a présence ou non d'un cycle diurne de la pluie. Cependant, on a remarqué aux quatre stations étudiées, la présence d'une certaine organisation des heures pluvieuses au cours de la journée pour les mois de juin, août et septembre. Par contre, les mois de mai et juillet semblent moins sujets aux variations horaires du nombre moyen d'occurrences de précipitations mesurables pour la majorité des stations.

Les variations intermensuelles des fréquences, durées et intensités des épisodes pluvieux de dix stations pluviographiques ont été analysées au chapitre 3. On remarque que les fréquences mensuelles des épisodes pluvieux offrent généralement peu de variations de mai à octobre tout en ayant une légère tendance à l'augmentation. Les valeurs mensuelles des durées et intensités moyennes des épisodes pluvieux ont été calculées pour les dix stations. Les durées moyennes d'épisodes pluvieux décroissent de mai à juillet ou août selon les stations pour ensuite connaître une augmentation en septembre et octobre. Les intensités moyennes possèdent des patrons mensuels inverses. Généralement, les intensités moyennes sont croissantes de mai à juillet et décroissantes en automne. Ces valeurs viennent quantifier les types de précipitations présentes selon les mois au Québec méridional. Ces valeurs mensuelles démontrent bien des précipitations plus

intenses en été qu'au printemps ou à l'automne, mais aussi de moins longue durée en été. Les amplitudes saisonnières des durées et des intensités moyennes des épisodes pluvieux sont plus élevées pour les stations du sud du Québec méridional. La température maximale moyenne étant plus élevée au sud du Québec méridional durant l'été, elle intensifie les mouvements convectifs de l'air, provoquant ainsi des pluies plus intenses.

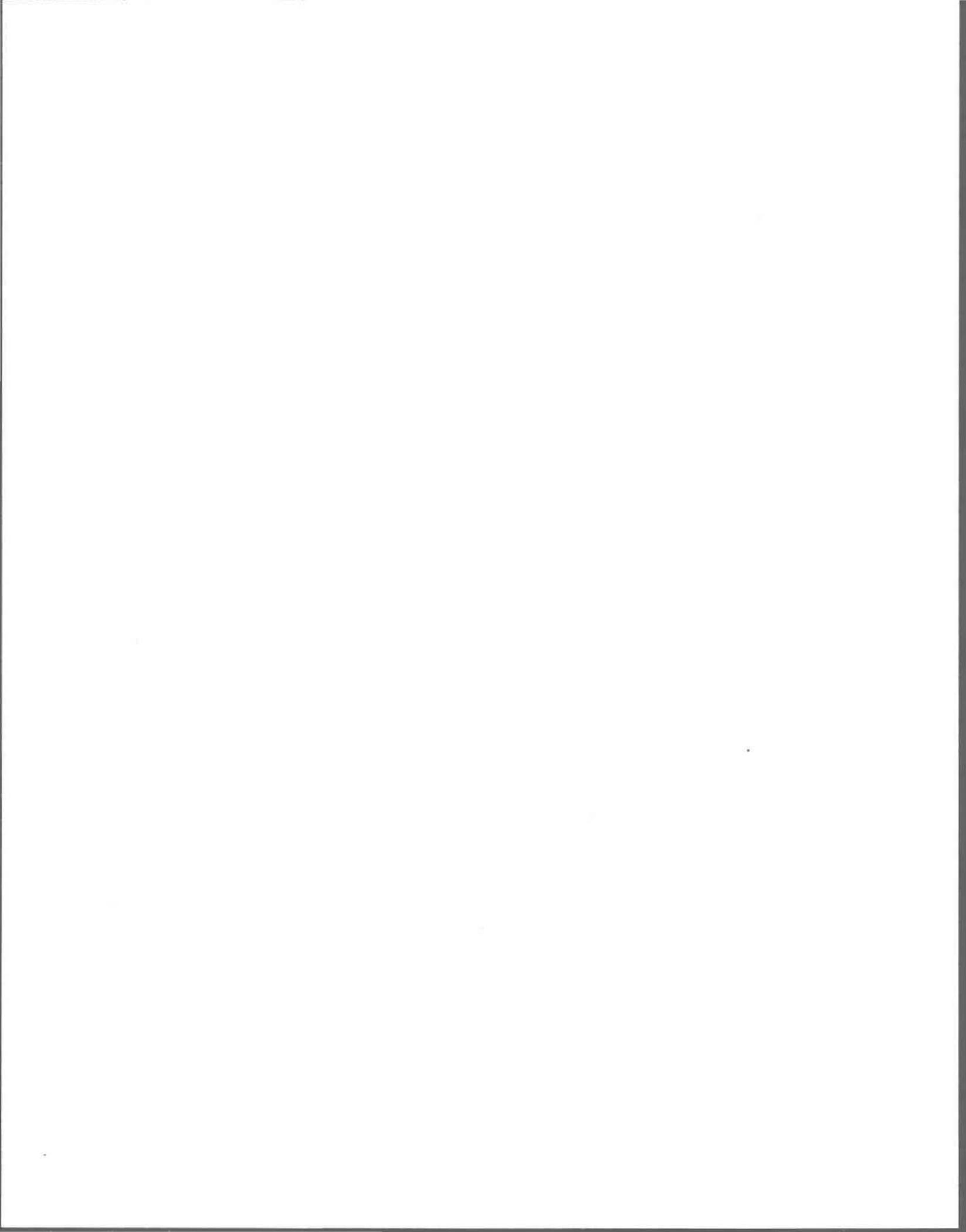
Pour tous les mois les épisodes pluvieux les plus fréquents sont ceux dont la durée est d'une heure. Ils représentent habituellement plus de 40 pour cent des épisodes pluvieux. Pour les mois de mai et octobre, les épisodes pluvieux ayant des intensités de moins de  $4 \text{ mmh}^{-1}$  constituent plus de 90 pour cent des épisodes pluvieux. Les fréquences de cette classe d'intensité moyenne diminuent cependant durant les mois d'été de 10 à 20 pour cent.

Même si les épisodes pluvieux d'une heure sont les plus fréquents pour toutes les stations et à tous les mois, les résultats de la section 3.3 ont démontré que ces épisodes ne contribuent qu'à moins de 15 pour cent de la pluie totale mensuelle à chaque station. On a constaté aussi que sur l'ensemble de la période (mai à octobre), les durées d'épisodes de deux et trois heures obtiennent les pourcentages maximaux de pluie totale (environ de 10 à 12 pour cent).

Cette étude constituant une première phase de l'analyse des données de précipitations horaires à la Direction de la météorologie du Québec, renferme beaucoup d'informations sur le régime pluviométrique du Québec méridional. Néanmoins, l'analyse des différents sujets concernant soit les précipitations horaires ou les épisodes pluvieux a dû être limitée soit en termes du nombre de stations ou de mois étudiés. Par contre, la variation mensuelle des paramètres pluviométriques étudiées dans cette présente étude a pu être reliée à différents facteurs météorologiques et physiographiques.

Cette étude des précipitations horaires contribue sans aucun doute à une meilleure compréhension du régime pluviométrique du Québec méridional.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES



## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BASU, A.N. (1971). Fitting of a Markov chain model for daily rainfall data at Calcutta. *Indian J. Met. Geophys.*, 22: 67-74.
- BOBEE, B. (1983). Méthodes statistiques appliquées aux sciences de l'eau. INRS-Eau, notes de cours, Québec.
- BOBEE, B., BOUCHER, P., BOUCHER, H. et PARADIS, M. (1983). Ajustement des distributions Pearson type 3, gamma, gamma généralisée, log-Pearson type 3 et log-gamma. INRS-Eau, rapport scientifique No 105, Québec.
- BOBEE, B. et PARADIS, M. (1983). La distribution gamma généralisée et son application en hydrologie. INRS-Eau, rapport scientifique No 156, 52 p., Québec.
- BOBEE, B. (1980). Méthodes statistiques appliquées aux sciences de l'eau. INRS-Eau, notes de cours, Québec.
- BOBEE, B. et ROBITAILLE, R. (1975). Ridge-regression: programme de calcul Rid Reg et application. INRS-Eau, rapport interne No 29. Université du Québec.
- BROWN, B.G., KATZ, R.W. et MURPHY, A.H. (1983). Exploratory analysis of precipitation events in Western Oregon. Preprint Volume II, International Meeting Statistical Climatology. Lisbon, p. 3.3.1-3.3.6.
- BURPEE, W.R. et LAHIFF, L.N. (1983). Area-average rainfall variations on sea-breeze days in South Florida. *Monthly Weather Review*, 112: 520-534.
- DAUPHINE, A. (1976). Les précipitations dans les midis français. Université de Nice, thèse de doctorat, 692 p.

- DEBSKI, K. (1966). Continental hydrology. Volume III, U.S. Department of Interior, Washington, D.C.
- EAGLESON, P.S. (1972). Dynamics of flood frequency. Water Resources Research, 8(4): 878-898.
- FORTIN, J.P., LACHANCE, M., LELIEVRE, C. et FERLAND, G. (1985). Développement d'un modèle québécois de transport à longue distance des polluants atmosphériques. INRS-Eau, rapport scientifique No 151, Québec.
- GABRIEL, K.R. et NEWMAN, J. (1962). A Markov chain model for daily rainfall occurrences at Tel Aviv. Quart. J. Roy. Meteor. Soc., 88: 90-95.
- GAGNON, R.M. (1969). Pluie horaire à l'Assomption, Québec. Naturaliste canadien, No 96, p. 591-600.
- GAGNON, R.M. et FERLAND, M. (1974). Atlas de hauteur, fréquence et durée des pluies au Québec méridional. MP-51, Direction générale des eaux, Québec.
- GAGNON, R.M., POLLOCK, D.M. et SPARROW, D.M. (1970). Critical meteorological conditions for maximum flows, the St. François and Chaudière River Basins, Quebec. Climatological studies, No 16. Department of Transport, Meteorological Branch, Toronto, 85 p.
- HAAN, C.T. (1977). Statistical methods in hydrology. The Iowa State University Press, Ames, Iowa, 378 p.
- HAAN, C.T., ALLEN, D.M. et STREET, J.O. (1976). A Markov chain model for daily rainfall. Water Resources Res., 12: 443-449.
- HAINES, D.A. (1973). Mean precipitation-hours for the conterminous United States. Department of Agriculture, 19 p.

- HENDRICK, R.L. et HEAT, B.D. (1978). The effect of elevation of snowfall and rainfall-first results from the Mt.Mansfield network. Eastern Snow Conference, U.S.A., p. 141-152.
- HOERL, A.E. et KENNARD, R.W. (1970). Ridge-regression: biased estimation for non orthogonal problems. *Technometrics*, 12: 69-82.
- HOUDE, A. (1978). Atlas climatologique du Québec: température et précipitation. Service de la météorologie, ministère des Richesses naturelles, M-36, Québec, 42 p.
- HOWARD, C.D.D. (1976). Theory of storage and treatment plant overflows. *ASCE Journal of the Environmental Engineering Division*, 102(EE4): 709-722.
- HUFF, F.A. (1961). Distribution of frontal passages at Urbana, 1951-1960. Illinois State Water Survey unpublished mimeographed report, 13 p.
- HUFF, F.A. (1971). Distribution of hourly precipitation in Illinois. Illinois Water Survey, Circular 105, Urbana, 23 p.
- HUFTY, A. (1976). Introduction à la climatologie. Presses universitaires de France, Magellan (La géographie et ses problèmes: 5), 264 p.
- JACQUES, G. (1982). Description du contenu des statistiques climatologiques annuelles et mensuelles. Publication M-82-9, ministère de l'Environnement, Direction de la météorologie.
- KINCER, J.B. (1916). Daytime and night time precipitation and their economic significance. *Mon. Wea. Rev.*, 44: 628-633.
- KITE, G.W. (1977). Frequency and risk analyses in hydrology. Water Resources Publications, Fort Collins, 224 p.

- LAVABRE, J. (1980). Analyse de la pluviométrie du Real Collobrier par la méthode des composantes principales. La météorologie IV série, No 20-21, p. 205-216.
- LLAMAS, J. (1974). L'hydrologie du Québec. Annuaire du Québec, 54e édition, Bureau de la statistique, ministère de l'Industrie et du Commerce, Québec, p. 16-28.
- MASSON, J.M. (1980). Analyse d'une longue série pluviographique. Montpellier, Bel-Air, 1920-1971. La météorologie VI série, No 20-21, p. 105-117.
- MEANS, L.L. (1944). The nocturnal maximum occurrence of thunderstorms in the mid western states. Department of Meteorology, University of Chicago, Misc. Rep. No 16, 37 p.
- NGUYEN, V.T. (1982). A stochastic approach to characterization of rainfall temporal patterns. International Symposium on Urban Hydrology, Hydraulics and Sediment Control. University of Kentucky, Lexington, p. 263-265.
- NGUYEN, V.T. et ROUSSELLE, J. (1981). A stochastic model for the time distribution of hourly rainfall depth. Water Resources Research, 17(2): 399-409.
- NGUYEN, V.T., ROUSSELLE, J. et McPHERSON, M.B. (1980). Evaluation of areal versus point rainfall with sparse data. Can. J. Civ. Eng., 8: 173-178.
- PASSARELLI, R.E. Jr. et BOEHME, H. (1983). The orographic modulation of pre warm front precipitation in Southern New England. Monthly Weather Review, 111: 1062-1070.

- PAUL, P. (1973). Climatologie dynamique de la région de Montréal (Québec). Université Louis Pasteur, thèse de doctorat, Strasbourg, 2 tomes, 337 p.
- PERRIER, R. (1965). Les précipitations au Saguenay - Lac Saint-Jean. Feuille météorologique, 4: 171-181.
- POWE, N.N. (1969). Le climat de Montréal. Service de la météorologie du Canada, Toronto, Etudes climatologiques, 15: 51 p.
- PROULX, H. (1984). Analyse de la variation spatio-temporelle des éléments climatiques température et précipitation sur le Québec méridional. Université de Sherbrooke, thèse de maîtrise, 213 p.
- REITAN, C.H. (1974). Frequencies of cyclones and cyclogenesis for North America, 1951-1970. Monthly Weather Review, 10: 861-868.
- SCHAWRTZ, B.E. et BOSART, L.F. (1979). The diurnal variability of Florida rainfall. Monthly Weather Review, 107: 1535-1545.
- SERVICE DE LA METEOROLOGIE. (1982). Répertoire des stations météorologiques, 1981. Québec, 143 p.
- STERN, R.D. (1980). Analysis of daily rainfall at Samary, Nigeria, using a simple two part model. Arch. Met. Geoph. Biokl. Ser. B., 28: 123-135.
- THOMAS, M.R. (1962). The diurnal variation of precipitation frequency of Toronto. Service de météorologie du Canada, Toronto, 6 p.
- THORP, J.M. et SCOTT, B.C. (1982). Preliminary calculations of average storm, duration and seasonal precipitation rates for the Northeast sector of United States. Atmospheric Environment, 16(7): 1763-1774.
- VIERS, G. (1974). Eléments de climatologie. Nathan, Paris, 224 p.

- VILLENEUVE, G.O. (1959). Bref aperçu climatique du Québec méridional. Cahiers de géographie du Québec, 6: 153-162.
- WALLACE, J.M. (1974). Diurnal variations in precipitation and thunder storm frequency over the conterminous United States. Monthly Weather Review, 103: 406-419.
- WILSON, C. (1973). Le climat du Québec, 2ième partie: Mise en applications des renseignements climatologiques. Service de météorologie du Canada, Ottawa, 116 p.
- YEVJEVICH, V. et TAESOMBUT, V. (1978). Use of partial flood series for estimating distribution of maximum annual flood peak. Hydrology Papers, 97: 77 p. Colorado State University, Fort Collins.
- ZISHKA, M.K. et SMITH, P.J. (1980). The climatology of cyclones and anti-cyclones over North America and surrounding ocean environs for January and July, 1950-1977. Monthly Weather Review, 108(4): 387-401.

ANNEXE A

INVENTAIRE DES STATIONS PLUVIOGRAPHIQUES  
DE LA BANQUE DE DONNEES DES PRECIPITATIONS  
HORAIRES (QUEBEC, 1980)

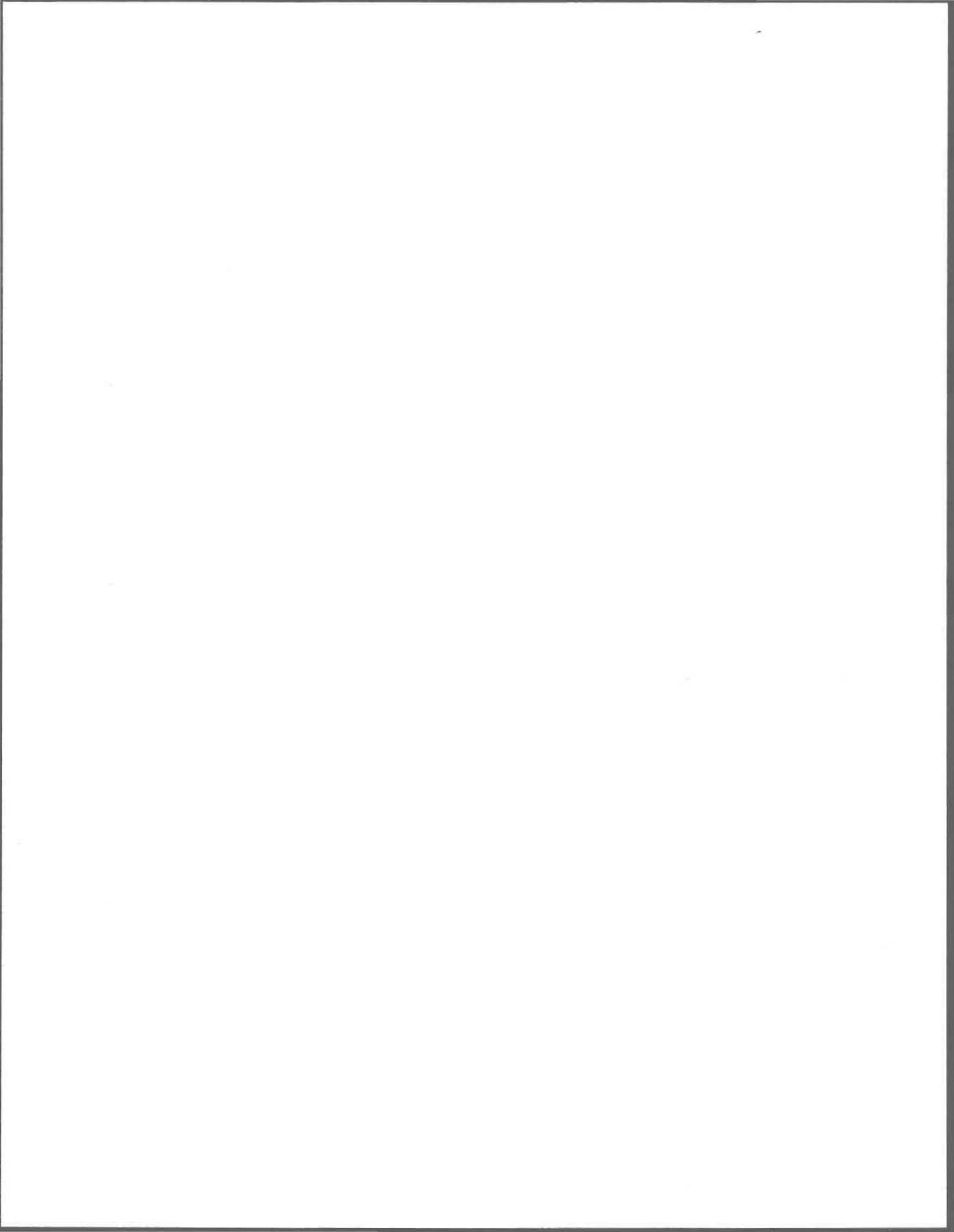


Tableau A.1 Inventaire des stations pluviographiques contenues dans la banque de données (Québec, 1980).

Identification		Latitude nord	Longitude ouest	Altitude (mètres)	Période d'observations		Nombre d'années d'observations	Données manquantes (%)		
Numéro	Nom de la station	(degrés et minutes)			Début	Fin				
701	A9E0*	Courville-de-Poissy	46'53	71'10	114	1974	1980	7	3,5	
	HE63	Trois-Rivières-Aqueduc	46'23	72'37	55	1974	1980	7	19,0	
	1308	Charlesbourg Jardin Zoologique	46'54	71'18	152	1969	1977	9	28,5	
	1309*	Charlesbourg Parc Orléans	46'52	71'16	114	1971	1980	10	11,6	
	1982	Deschambault	46'40	71'56	15	1972	1980	9	16,9	
	2232*	Duburger	46'49	71'18	15	1971	1980	10	14,7	
	2240*	Duchesnay	46'52	71'39	166	1970	1980	11	11,4	
	3362*	Joliette-Ville	46'01	73'27	58	1967	1977	9	11,4	
	3362	Joliette-Ville	46'01	73'26	55	1978	1980	3	28,6	
	3655	Lac Jacques-Cartier	47'34	71'14	799	1969	1974	6	38,5	
	4160*	L'Assomption-CDA	45'49	73'26	21	1963	1980	18	1,4	
	4329	Loretteville	46'52	71'22	130	1977	1980	4	34,5	
	5417	Neufchâtel	46'51	71'22	91	1973	1977	5	35,3	
	5730*	Oka	45'30	74'04	91	1966	1980	14	15,7	
	6K95	Québec-Ville	46'49	71'15	8	1969	--	1	51,3	
	6294**	Québec-A	46'48	71'23	73	1961	1980	20	1,2	
	6800	Saint-Alban	46'43	72'05	76	1966	1980	14	24,6	
	6900*	Saint-Augustin	46'44	71'30	58	1965	1980	16	5,3	
	6902	Sainte-Béatrix	46'12	73'37	229	1976	1980	5	15,7	
	6906	Saint-Benoît	45'35	74'03	43	1973	1977	5	14,4	
	6906	Saint-Benoît	45'34	74'03	53	1978	1980	3	5,2	
	6932*	Sainte-Catherine	46'51	71'37	152	1968	1980	13	4,8	
	7100	Saint-Donat	46'19	74'13	401	1967	1979	13	43,1	
	7100	Saint-Donat	46'19	74'12	389	1980	--	1	14,9	
	7265	Sainte-Foy	46'46	71'20	77	1968	1972	5	53,1	
	7B65*	Sainte-Foy-Matapédia	46'45	71'17	79	1971	1980	10	17,1	
	7BFN	Sainte-Foy-Pie-XII	46'46	71'19	152	1972	1980	9	7,0	
	8000*	Shawinigan	46'34	72'43	93	1968	1980	13	5,8	
	8574	Valcartier-BFC	46'54	71'30	169	1979	1980	2	10,5	
	702	0305	Arthabaska	46'02	71'55	152	1969	1974	6	23,2
		0360	Asbestos	45'46	71'57	229	1972	1980	8	39,1
		0840*	Brome	45'11	72'34	206	1971	1980	10	8,9
		1320	Chartierville	45'17	71'12	518	1966	1980	15	22,4
2127		Douanes-Armstrong	45'49	70'24	564	1965	1966	2	67,1	
2160		Drummondville	45'53	72'29	82	1967	1980	14	23,2	
BL09		Fabreville	45'35	73'49	30	1977	1980	4	18,7	
2494		Fortierville	46'29	72'03	53	1972	1980	9	16,9	
2700		Gentilly	46'24	72'22	6	1974	1975	2	44,7	
2720*		Georgeville	45'08	72'14	267	1966	1980	11	18,9	

\* Stations pluviographiques sélectionnées pour l'étude du Québec méridional; sur la carte 1.1, celles-ci sont indiquées par les quatre derniers chiffres du numéro.

\*\* Stations pluviographiques sélectionnées pour la section 2.2 et le chapitre 3.

Tableau A.1 Inventaire des stations pluviographiques contenues dans la banque de données (Québec, 1980) (suite).

Identification		Latitude nord	Longitude ouest	Altitude (mètres)	Période d'observations		Nombre d'années d'observations	Données manquantes (%)
Numéro	Nom de la station	(degrés et minutes)			Début	Fin		
702	2800*	45'23	72'42	168	1968	1980	13	10,8
	3312*	45'23	71'28	346	1965	1980	16	7,8
	3677*	45'35	70'54	404	1968	1973	5	30,7
	3677	45'36	70'53	465	1974	1980	7	8,3
	4254	46'49	71'10	73	1979	1980	2	3,5
	4280*	45'22	71'51	152	1960	1980	21	5,5
	4320*	45'37	71'21	375	1966	1973	7	30,2
	4320	45'38	71'22	267	1974	1980	7	3,8
	4624*	45'20	71'24	445	1965	1980	16	5,7
	5212	45'27	71'09	1111	1978	1980	3	34,8
	5250**	45'28	73'45	36	1943	1980	39	2,2
	5257	45'34	73'33	46	1976	1980	5	8,9
	5260*	45'30	73'37	133	1966	1980	14	15,2
	5267	45'31	73'34	41	1971	1979	9	27,3
	5280*	45'30	73'55	57	1980	1981	21	2,3
	5328	45'35	73'11	30	1975	1979	5	40,4
	5330	45'33	73'05	174	1965	1966	2	25,1
	5332	45'33	73'10	210	1968	--	1	0,7
	5745*	45'07	74'03	46	1963	1980	18	8,9
	6838	45'26	73'56	40	1963	1968	6	10,1
	6839*	45'26	73'56	40	1969	1980	12	11,1
	7040*	45'10	73'41	56	1967	1980	13	17,9
	7120*	45'12	71'41	399	1966	1976	11	28,4
	7120	45'12	71'41	381	1977	1980	4	4,2
	7200	46'04	70'58	312	1965	1980	16	13,0
	7248	46'05	71'31	221	1976	1980	5	5,3
	7283*	46'09	70'42	168	1965	1980	16	16,0
	7302	45'53	72'46	44	1972	1980	9	14,1
	7320*	45'31	73'25	27	1964	1980	17	15,3
	7372*	45'16	71'31	393	1965	1980	16	10,1
	7517	45'37	73'08	30	1979	1980	2	46,0
	7656	46'15	71'13	366	1972	1980	9	10,9
	7725	45'46	70'57	442	1973	1980	8	5,6
	7750*	45'56	70'29	395	1966	1980	15	10,4
	7785	46'07	70'23	480	1972	1980	9	12,7
	7802*	45'22	71'32	346	1965	1980	16	6,7
	8120	45'24	71'54	181	1960	1971	11	4,4
	8124**	45'26	71'41	241	1962	1980	19	2,1
	8440	46'04	71'19	311	1964	1965	2	55,7

\* Stations pluviographiques sélectionnées pour l'étude du Québec méridional; sur la carte 1.1, celles-ci sont indiquées par les quatre derniers chiffres du numéro.

\*\* Stations pluviographiques sélectionnées pour la section 2.2 et le chapitre 3.

Tableau A.1 Inventaire des stations pluviographiques contenues dans la banque de données (Québec, 1980) (suite).

Identification		Latitude nord	Longitude ouest	Altitude (mètres)	Période d'observations		Nombre d'années d'observations	Données manquantes (%)
Numéro	Nom de la station	(degrés et minutes)			Début	Fin		
	8441*	46'06	71'22	427	1967	1978	12	7,2
	8441	46'06	71'21	381	1979	1980	2	4,6
	8676*	46'23	70'56	152	1965	1980	16	16,1
	8720*	46'04	71'57	148	1963	1970	8	14,0
	8720	46'03	71'58	137	1973	1980	7	17,3
	8906*	45'24	71'18	508	1965	1980	16	11,9
	8946*	45'22	70'53	526	1972	1976	5	17,2
	8946	45'23	70'52	396	1977	1980	4	9,0
703	0457*	46'43	75'59	236	1966	1980	15	16,5
	0462	48'11	68'01	320	1966	1967	2	26,3
	1375	45'54	75'05	223	1970	1980	11	23,8
	3679	51'52	74'18	337	1970	1971	2	54,2
	4480*	46'22	75'59	170	1964	1980	15	6,6
	5290	45'41	74'02	82	1976	1980	5	3,1
	5520*	46'23	75'03	274	1969	1980	12	21,8
	6762*	46'03	74'17	395	1966	1980	15	2,8
	7175	45'57	74'55	229	1976	--	1	30,4
	7400*	45'48	74'03	169	1969	1980	10	15,1
	8040*	45'37	76'28	168	1970	1980	11	9,6
	8350	46'56	75'08	274	1968	1977	10	37,5
704	DFLR	50'17	65'58	5	1975	1980	6	37,8
	J01E	51'04	67'29	488	1974	--	1	55,1
	0440*	49'08	68'12	22	1968	1980	13	7,3
	0446	47'26	70'30	15	1979	1980	2	33,8
	0812	51'25	57'13	19	1973	1980	8	32,0
	1020	47'27	70'27	351	1966	1972	7	44,1
	1177	47'04	70'47	6	1972	1980	9	24,1
	2378*	48'44	69'05	76	1968	1980	13	8,2
	2388*	47'19	71'09	640	1967	1980	14	2,9
	2590	51'57	68'08	566	1965	1980	16	28,1
	2870	47'45	70'07	366	1969	1980	12	28,7
	3000	50'32	59'30	8	1974	1978	5	41,5
	3017	50'15	63'36	5	1969	1978	6	22,7
	3713	47'44	70'44	741	1968	1971	4	15,1
	4470	50'39	68'50	406	1964	1971	8	19,0
	4981	50'17	64'09	22	1979	1980	2	3,9
	5400**	50'12	61'49	7	1969	1980	12	5,7
	7910	50'16	66'15	55	1966	1980	15	26,7
705	1120	48'06	65'39	37	1965	1973	9	10,6

\* Stations pluviographiques sélectionnées pour l'étude du Québec méridional; sur la carte 1.1, celles-ci sont indiquées par les quatre derniers chiffres du numéro.

\*\* Stations pluviographiques sélectionnées pour la section 2.2 et le chapitre 3.

Tableau A.1 Inventaire des stations pluviographiques contenues dans la banque de données (Québec, 1980) (suite).

Identification		Latitude nord	Longitude ouest	Altitude (mètres)	Période d'observations		Nombre d'années d'observations	Données manquantes (%)		
Numéro	Nom de la station	(degrés et minutes)			Début	Fin				
705	1160**	Cap-Madeleine	49'15	65'20	28	1967	1980	14	8,6	
	1175*	Cap Seize	49'01	66'24	213	1969	1980	12	13,9	
	1240	Causapcal-Recherches	48'30	67'10	332	1970	1973	4	47,4	
	2605	Gaspé-A	48'46	64'29	33	1977	1980	4	38,2	
	2820*	Grande-Rivière	48'24	64'30	6	1967	1975	9	11,8	
	2820	Grande-Rivière	48'24	64'29	15	1978	1980	3	12,0	
	3649	Lac Humqui	48'17	67'37	396	1972	1980	9	11,9	
	4095**	La Pocatière-CDA	47'21	70'02	30	1964	1980	17	0,8	
	5120*	Mont-Joli-A	48'36	68'12	52	1968	1980	13	5,6	
	5380	Murdochville	48'57	65'31	575	1967	1980	13	36,0	
	5705	Nouvelle	48'06	66'18	15	1970	1980	11	21,2	
	6200	Port-Menier	49'49	64'21	6	1972	1979	5	58,1	
	6480*	Rimouski	48'27	68'31	36	1964	1980	15	14,3	
	2528	Rivière-au-Renard	49'01	64'24	41	1967	1973	7	6,2	
	6563	Rivière-au-Renard	49'01	64'24	41	1974	1977	4	18,6	
	6615*	Rivière-du-Loup	47'48	69'33	148	1967	1979	10	17,3	
	6695	Romieu-Sud	48'56	66'48	396	1969	1971	3	23,7	
	6814	Saint-Alexis-Matapédia	47'59	67'04	290	1980	--	1	42,9	
	6922	Saint-Bruno-de-Kamouraska	47'27	69'45	213	1966	1980	14	29,6	
	6970*	Saint-Charles-Garnier	48'20	68'03	323	1969	1980	12	19,4	
	7287*	Sainte-Germaine	46'23	70'32	448	1965	1977	13	13,6	
	7287	Sainte-Germaine	46'25	70'28	511	1978	1980	3	4,2	
	7395*	Saint-Jean-de-Cherbourg	48'52	67'07	290	1970	1976	7	15,2	
	7395	Saint-Jean-de-Cherbourg	48'53	67'07	351	1977	1980	4	6,0	
	7518*	Saint-Malachie	46'33	70'49	221	1965	1980	16	5,4	
	7574	Saint-Modeste	47'51	69'23	152	1973	1980	8	9,7	
	706	0400**	Bagotville-A	48'20	71'00	159	1960	1980	21	7,8
		1442	Chicoutimi-Université	48'25	71'03	76	1976	1980	5	19,7
		3690*	Lac Sainte-Croix	48'25	71'45	160	1971	1980	10	10,0
		4890	Mesy	48'16	71'41	384	1969	1977	9	28,9
		5100*	Mont-Apica	47'58	71'25	549	1969	1980	12	18,9
		5640*	Normandin-CDA	48'51	72'32	137	1961	1980	20	11,6
		6080*	Portage-des-Roches	48'18	71'13	165	1969	1980	12	0,1
6685		Roberval-A	48'31	72'16	179	1970	1980	6	13,0	
7060*		Saint-Coeur-de-Marie	48'38	71'43	107	1967	1980	14	17,3	
7399		Saint-Jean-Vianney	48'31	71'13	84	1972	--	1	76,8	
HF96		Van Bruyssel	47'57	72'10	394	1971	--	1	4,9	
707		0448	Barrage-à-Lac-Kempt	47'33	74'11	421	1969	--	1	53,3
	0454	Barrage Gouin	48'21	74'06	404	1967	1971	5	37,0	

\* Stations pluviographiques sélectionnées pour l'étude du Québec méridional; sur la carte 1.1, celles-ci sont indiquées par les quatre derniers chiffres du numéro.

\*\* Stations pluviographiques sélectionnées pour la section 2.2 et le chapitre 3.

Tableau A.1 Inventaire des stations pluviographiques contenues dans la banque de données (Québec, 1980) (suite).

Identification		Latitude nord	Longitude ouest	Altitude (mètres)	Période d'observations		Nombre d'années d'observations	Données manquantes (%)		
Numéro	Nom de la station	(degrés et minutes)			Début	Fin				
707	3652	Lac Inmam	46'59	73'11	320	1974	1980	7	10,1	
	4240	La Tuque	47'27	72'48	125	1967	1980	12	26,2	
	5800	Parent	47'55	74'37	439	1970	1978	9	12,8	
708	7570*	Saint-Michel-des-Saints	46'41	73'55	351	1969	1980	12	17,9	
	0449	Barrage Cabonga	47'19	76'28	366	1966	1969	4	23,3	
	0452*	Barrage des Quinze	47'33	79'14	265	1966	1980	15	12,6	
	0468*	Barrage Témiscamingue	46'43	79'06	181	1968	1980	13	11,9	
	1000	Cadillac	48'13	78'23	321	1979	1980	2	23,6	
	1002	Cadillac	48'12	78'20	325	1976	1978	3	48,5	
	6400	Rapide-Sept	47'46	78'18	311	1971	1972	2	45,4	
	6440	Rapide-Deux	47'56	78'34	290	1966	1969	4	20,9	
	709	0120*	Amos	48'34	78'08	310	1968	1980	13	12,2
		1295	Chapais	49'47	74'52	402	1963	1971	9	16,5
1401*		Chibougameau-A	49'49	74'25	403	1971	1980	10	12,2	
2305		Eastmain	52'15	78'31	6	1960	--	1	67,4	
2524		Fort-Rupert	51'29	78'45	12	1973	1974	2	60,8	
3715		La Grande-Rivière-A	53'38	77'42	191	1977	1980	4	17,7	
4638		Matagami	49'44	77'38	256	1968	1977	9	17,2	
4639		Matagami-A	49'46	77'48	281	1973	1980	5	12,1	
5000		Mistassini-Post	50'25	73'53	380	1968	1980	11	44,5	
5480		Nitchequon	53'12	70'54	536	1968	1980	13	20,3	
5700		Nouveau Comptoir	53'00	78'49	9	1974	1975	2	72,9	
8600**		Val-d'Or-A	48'03	77'47	338	1961	1980	20	3,9	
710		3282	Inoucdjouac	58'27	78'07	8	1969	1980	12	37,0
	6210	Poste-de-la-Baleine-A	55'17	77'46	18	1969	1980	10	28,6	
711	0830	Border	55'20	63'13	465	1967	1979	11	38,3	
	2400	Fort-Chimo-A	58'06	68'25	36	1970	1980	11	26,1	
	3522	Koartac	61'04	69'41	28	1972	1980	8	37,6	
	7825	Shefferville-A	54'48	66'49	522	1967	1980	12	27,8	

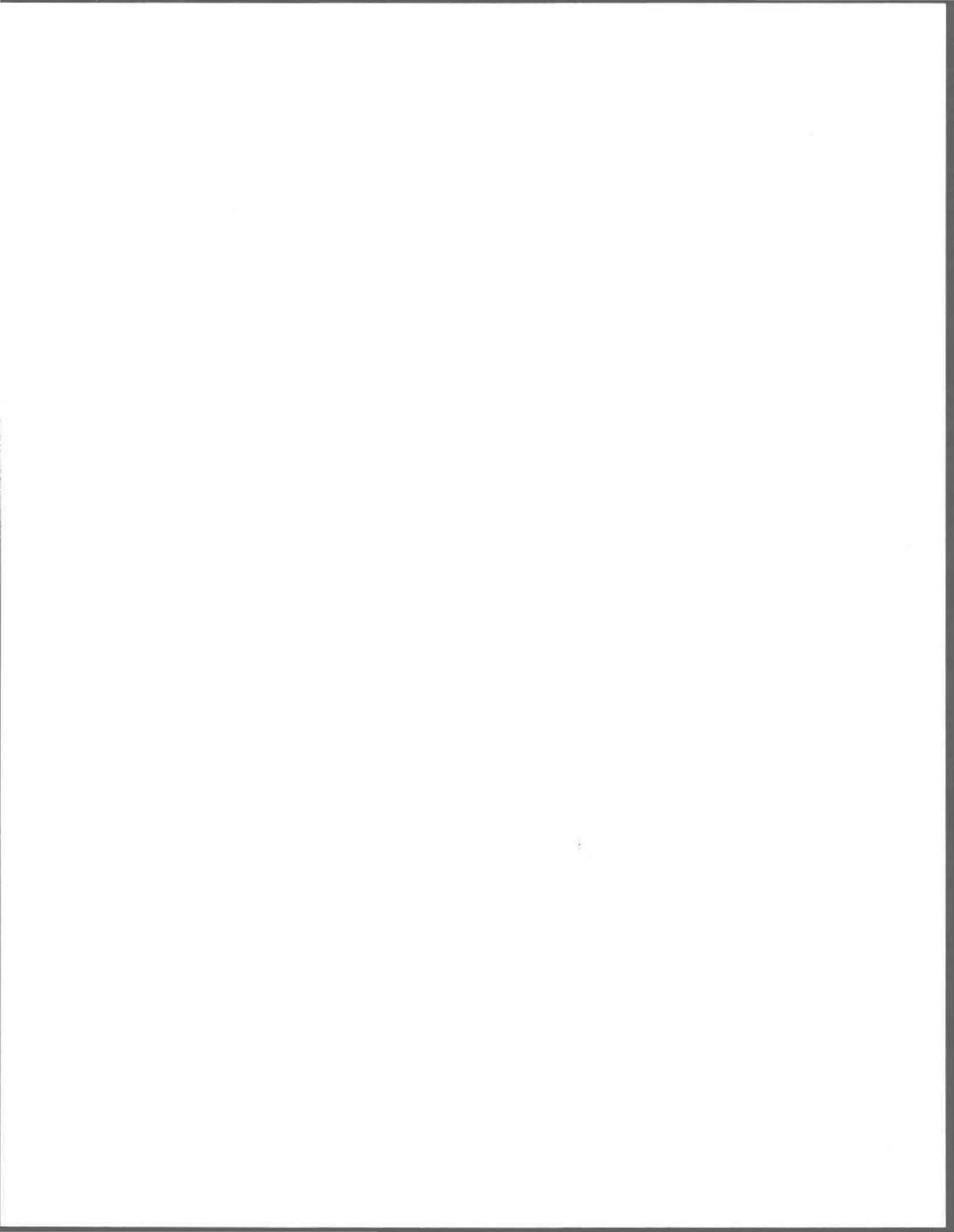
\* Stations pluviographiques sélectionnées pour l'étude du Québec méridional; sur la carte 1.1, celles-ci sont indiquées par les quatre derniers chiffres du numéro.

\*\* Stations pluviographiques sélectionnées pour la section 2.2 et le chapitre 3.

N.B.: A) Quelques stations pluviographiques ouvertes sur moins d'un an, vers le début des années 1960, n'ont pu être identifiées. Ces stations ne sont pas incluses dans cet annexe.

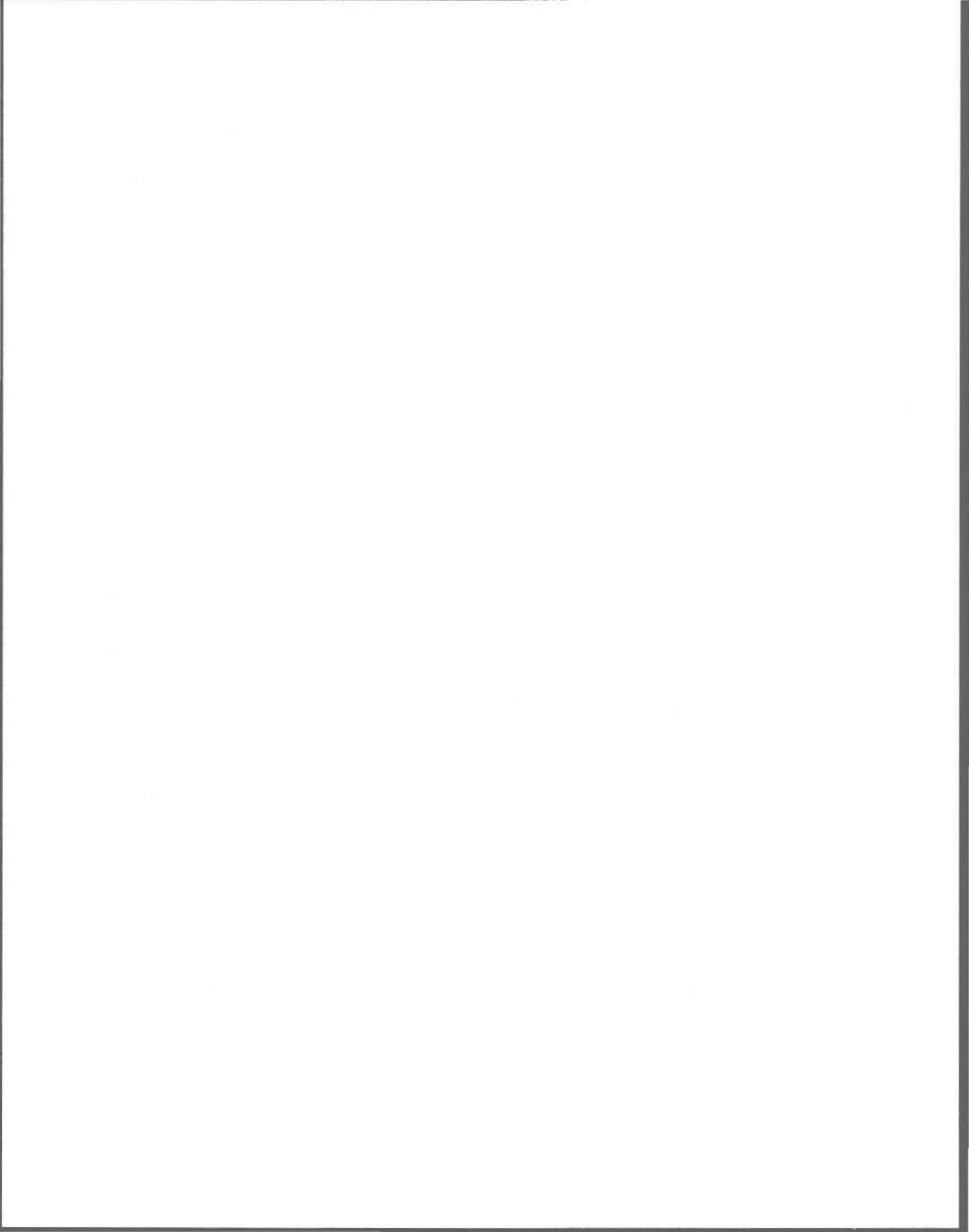
B) Les stations ayant une étoile et moins de 10 ans d'observations, ont été choisies malgré leur changement de localisation (généralement, les numéros sont restés les mêmes).

C) Les données de latitude, de longitude et d'altitude proviennent de la publication du Service de la météorologie (1982).



ANNEXE B

L'EFFET DE CONVERSION AU SYSTEME  
INTERNATIONAL SUR LES DONNEES  
DE PLUIE HORAIRE



L'EFFET DE CONVERSION AU SYSTEME  
INTERNATIONAL SUR LES DONNEES  
DE PLUIE HORAIRE

Cette annexe a pour but de montrer l'effet de conversion au système international sur les fréquences relatives des données horaires de précipitation.

Le changement de système

L'instauration du système international apporta de nombreux changements au niveau des instruments météorologiques dont le pluviographe. Auparavant, en système anglais, la précision du pluviographe était le centième de pouce. Cette précision correspond pour le système international, approximativement à 0,254 mm. La nouvelle calibration due au changement de système nous donne maintenant une précision de 0,2 mm. Ce changement de système a donc eu pour effet d'améliorer la précision sur les mesures de hauteurs de précipitations horaires. Néanmoins, l'erreur sur les hauteurs de pluie horaire exprimée en centième de pouce, a été amplifiée à cause de leur conversion en millimètre<sup>1</sup>, qu'on a de plus arrondi au dixième de millimètre. Les données ainsi converties sont surestimées. Cette surestimation peut avoir des répercussions directes sur le calcul des paramètres statistiques (ex.: moyenne, variance). Par exemple, les données converties étant surévaluées, elles font augmenter la valeur de la moyenne. A la station Québec-A pour la période 1966 à 1968, le calcul de la valeur moyenne des pluies horaires recueillies sur toute la saison étudiée (mai à octobre), a été effectué de deux manières:

---

<sup>1</sup> Calcul de conversion des hauteurs de pluie (Pi) de pouce avec arrondissement à une décimale:  $P_i * 25,4$  mm.

- a) MOYA: moyenne des données de pluie horaire en système anglais (pouce). Cette valeur moyenne a été par la suite, convertie en système international en utilisant le calcul de conversion;
- b) MOYB: moyenne des données de pluie horaire déjà convertie en système international (mm).

On a trouvé le rapport  $\frac{\text{MOYA}}{\text{MOYB}}$  égal à 0,95 soit un écart de 5 pour cent entre les deux moyennes.

La recalibration des pluviographes au nouveau système de mesures a été effectuée entre les années 1977 et 1979, pour la totalité des stations pluviographiques du Québec. En considérant l'ensemble des données, le nombre d'années où celles-ci sont mesurées en millimètre est moindre que les années où le système anglais était en vigueur. Pour cette étude, les enregistrements de pluie étant analysés jusqu'en 1980, le nombre d'années d'utilisation du système métrique peut correspondre à un maximum de quatre années d'observations. Il est important d'essayer de minimiser l'effet de conversion, qui est plus marqué sur les faibles hauteurs de pluie, lorsqu'on choisit les intervalles de classes pour la construction d'histogrammes de fréquence relative.

#### Choix des classes

Il est classique de choisir des intervalles de classe égaux pour obtenir une représentation juste du phénomène. En effet, si l'on augmente la largeur d'une classe, la fréquence d'occurrence des événements de cette classe peut augmenter considérablement par rapport aux autres. On ne dispose pas de méthodes systématiques pour déterminer le choix du nombre de classes. La construction d'un histogramme se veut avant tout une synthèse de l'information que l'on désire représentative de la réalité. Ainsi le choix des classes selon Bobée (1983) est un compromis entre ces deux situations:

- des classes trop larges entraînent généralement une perte de précision de l'histogramme;
- des classes trop petites entraînent généralement des fluctuations artificielles dans l'histogramme.

Pour la station Québec-A située à l'aéroport de Québec, les données horaires de précipitations disponibles s'échelonnent sur 20 ans (1961-1980) et ce, pour les mois de mai à octobre. Les données manquantes correspondent à moins de 1,3% de l'ensemble de la période. La conversion au système international y fut instaurée au cours de l'été 1977. Pour observer l'effet de conversion sur les distributions des hauteurs de pluie horaires, on a choisi deux types d'intervalles pour des périodes d'observations spécifiques (tableau B.1). Les années d'observations considérées correspondent à des périodes où les données sont mesurées dans un des deux systèmes de mesures ou les deux conjointement.

Ces intervalles ont été choisis de façon à obtenir dans chaque classe la fréquence relative d'occurrence d'une hauteur de pluie spécifique à chaque système pour les périodes (1) et (2). Par exemple, à la période 1 (1961-1976), on ne retrouve que les données converties grâce à l'emploi de classe d'intervalles de 0,25 mm; une seule valeur convertie de hauteur de pluie est possible à l'intérieur de chaque classe<sup>1</sup>. De même pour les données métriques de la période 2 (1978-1980), en employant des intervalles de 0,2 mm, une seule valeur de hauteur de précipitation apparaît dans chaque classe.

---

<sup>1</sup> Pour la période 1:  
la première classe est ] 0,0 , 0,25 ] = aucune valeur convertie possible;  
la deuxième classe est ] 0,25 , 0,50 ] = valeur possible 0,3 mm;  
la troisième classe est ] 0,50 , 0,75 ] = valeur possible 0,5 mm;  
etc.

Tableau B.1 Types d'intervalles choisis pour le classement des hauteurs de précipitations horaires en fonction de différentes périodes d'observations.

Période (années)	Type d'intervalle (mm)	Caractéristiques des données de hauteurs de précipitations horaires
1 (1961-1976)	0,25	convertie*
2 (1978-1980)	0,20	métrique
3 (1961-1980)	0,20	convertie et métrique
4 (1961-1980)	0,25	convertie et métrique

\* Convertie: données mesurées en système anglais qui ont été converties en système international.

Résultats des distributions des hauteurs horaires de précipitations à la station de l'aéroport de Québec

Généralement, les histogrammes des hauteurs horaires de pluie présentent les fréquences relatives les plus élevées pour les classes de plus faibles hauteurs et, celles-ci décroissent exponentiellement avec l'augmentation de ces hauteurs. Ces résultats sont confirmés par les figures B.1A et B.1B, celles-ci représentent les histogrammes de hauteurs horaires de pluie des périodes 1 et 2 respectivement. Il faut préciser que pour la période 2, l'histogramme (figure B.1B) est calculé seulement sur trois années d'observations. Ces conditions peuvent influencer les valeurs des fréquences relatives de certaines classes qui devraient généralement être moins élevées que les classes précédentes (par exemple: classe: 1,8 à 2,0 mm).

En traçant les distributions sur la période de 1961 à 1980 avec les deux types d'intervalles (figure B.1C et B.1D), on peut voir que celle de la figure B.1C, employant l'intervalle de 0,25 mm, minimise le plus l'effet de conversion. L'histogramme de la figure B.1D, utilisant cette fois-ci des intervalles de 0,2 mm, présente des creux dans la distribution des hauteurs horaires de pluie. Ces creux sont la conséquence directe de la mise en commun des données métriques et converties. La conversion a donc, pour effet de créer des creux ou pics artificiels si, les classes ne sont pas choisies correctement lors de la construction de l'histogramme des hauteurs horaires de pluie.

Pour contrer cet effet de conversion, il est préférable de prendre des classes d'intervalles de 0,25 mm comme le présente la figure B.1C. La distribution des hauteurs de précipitations horaires de cette figure, correspond mieux à la réalité du phénomène.

A la figure B.1C, un problème se pose cependant pour la première classe de 0,0 à 0,25 mm, où la fréquence relative d'occurrence est de beaucoup plus faible que celle de 0,25 à 0,50 mm. En fait, la seule valeur

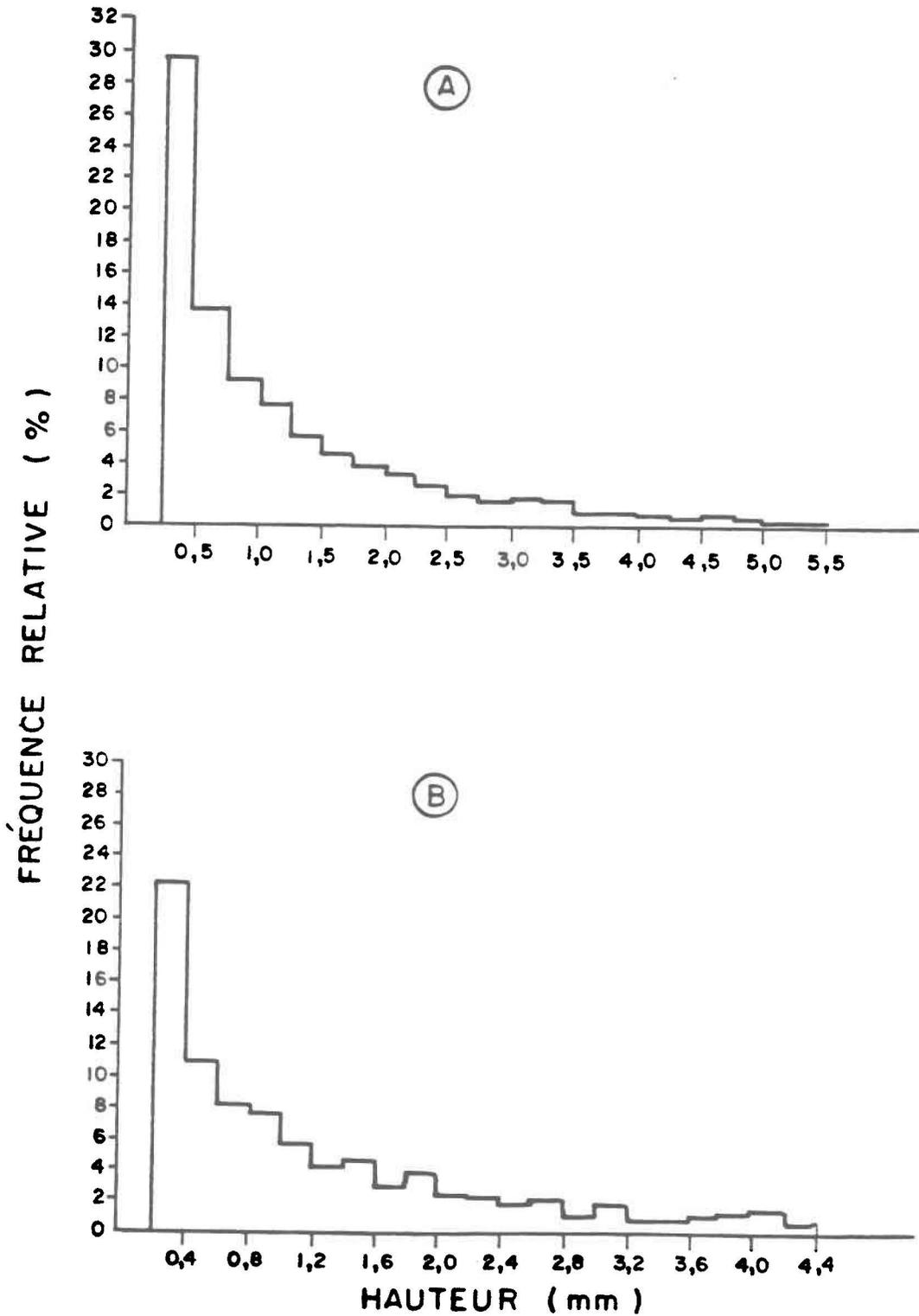


FIGURE B.1 Histogrammes des fréquences relatives des hauteurs de précipitations horaires pour la période de mai à octobre, à la station Québec-A.  
A: type d'intervalle 0,25 mm (1961-1976).  
B: type d'intervalle 0,20 mm (1978-1980).

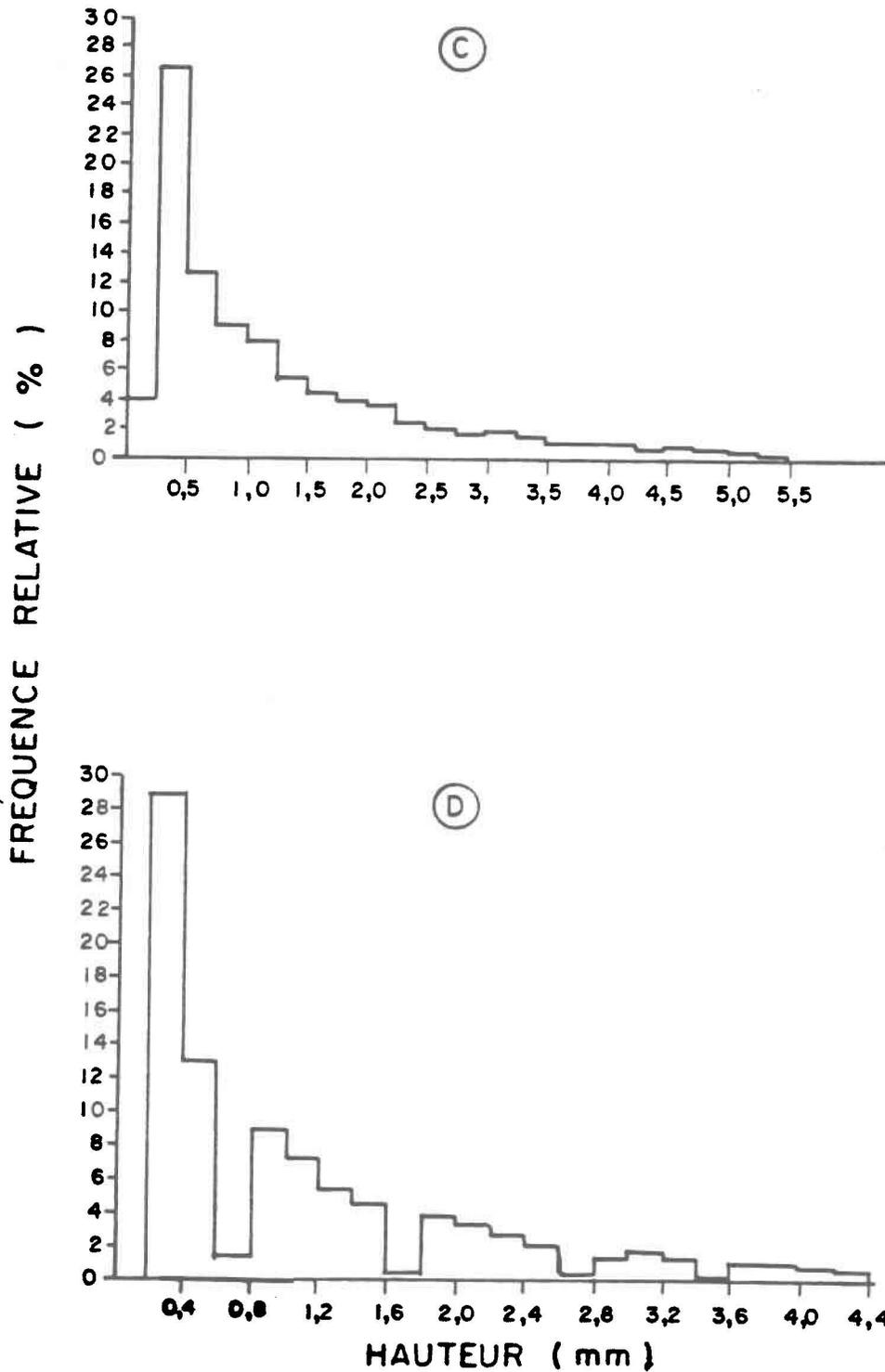


FIGURE B.1 Histogrammes des fréquences relatives des hauteurs de précipitations horaires pour la période de mai à octobre, à la station Québec-A.  
C: type d'intervalle 0,25 mm (1961-1980).  
D: type d'intervalle 0,20 mm (1961-1980).

possible dans la première classe est la hauteur 0,2 mm qui résulte de la recalibration de l'appareil en 1977. Cette hauteur de 0,2 mm n'étant possible que depuis trois années, elle ne peut représenter véritablement la plus faible classe des hauteurs de pluie pour laquelle la fréquence relative d'occurrence est généralement la plus élevée. Pour simplifier le problème, si on veut représenter cette distribution par une loi statistique, il s'agit d'étudier les données horaires de précipitations sur une période précédant l'arrivée du système métrique. Dans ce cas, les données étudiées seront seulement celles qui ont subies la conversion.

Une alternative se présente; on peut généralement éliminer l'effet de conversion si l'on choisit des classes d'intervalles plus larges (voir chapitre 2, section 1). En plus, l'emploi de classes d'intervalles plus larges nous permet d'utiliser les dernières années d'observations prises en système métrique, ce dernier point n'est sûrement pas négligeable lors d'une analyse statistique.

En fait, pour minimiser l'effet de la conversion au système métrique, il s'agit de bien choisir ses classes d'intervalles. Sinon, il se pourrait que dans la distribution de certains paramètres, on retrouve des pics ou des creux qui sont créés artificiellement par le changement de système.

ANNEXE C

VALEURS DES ERREURS ABSOLUES RESULTANT  
DES AJUSTEMENTS STATISTIQUES

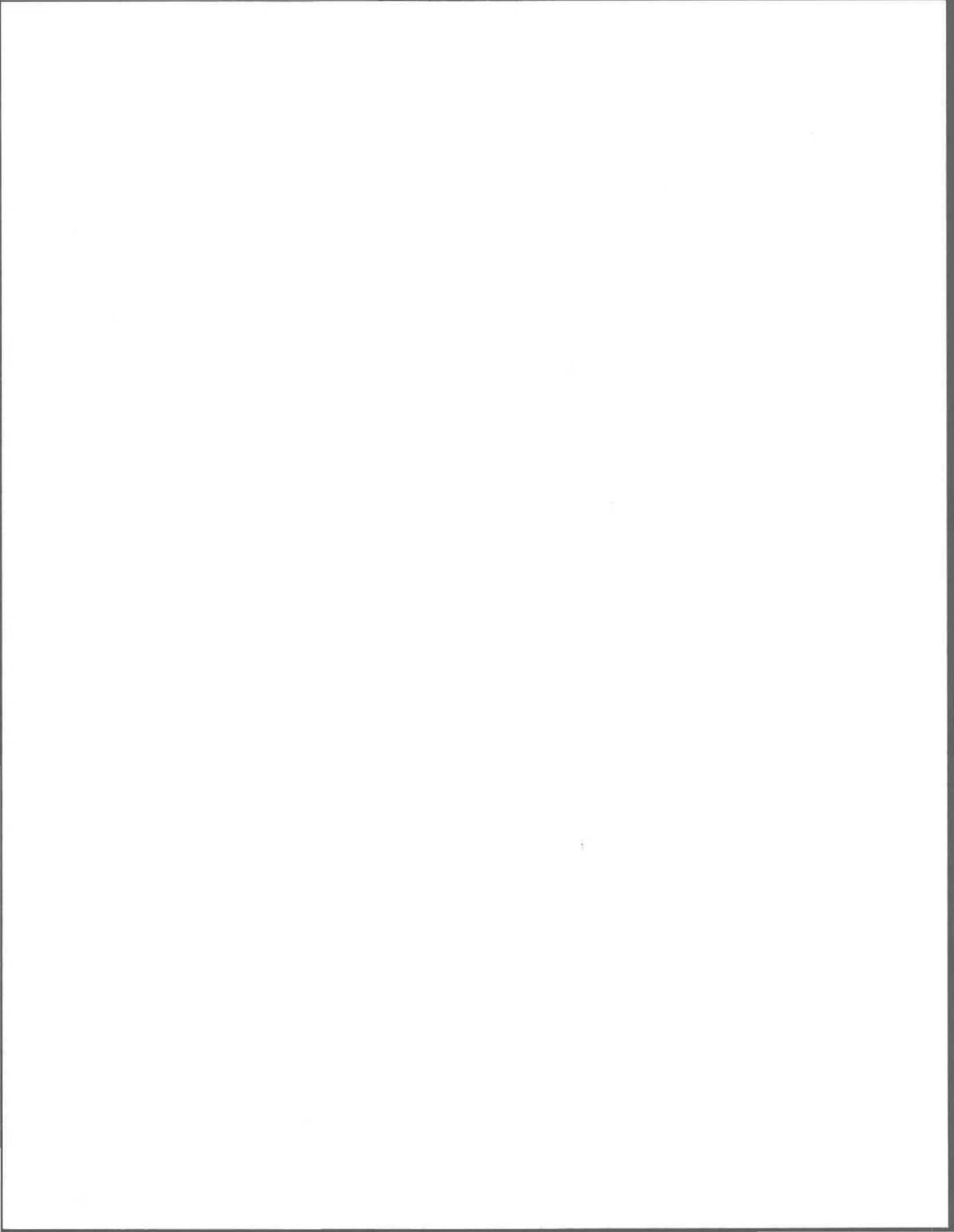


TABLEAU C.1 Valeurs des erreurs absolues résultant des ajustements des précipitations horaires par les lois statistiques dérivées de la loi gamma à la station Montréal-International-A (1960-1980).  
A: mai et B: juillet.

	Classe (mm de pluie)	Exponentielle	Gamma à deux paramètres	Gamma généralisée	Pearson type III
(A)	0,0 - 1,2	22,44	15,46	6,78	40,01
	1,2 - 2,2	10,98	3,61	6,39	40,20
	2,2 - 3,2	20,96	20,09	7,47	2,49
	3,2 - 4,2	4,03	1,44	8,04	6,65
	4,2 - 5,2	1,77	0,68	1,64	0,21
	5,2 et plus	3,69	0,26	1,82	4,14
	Total:	63,87	41,54	32,14	93,70
(B)	0,0 - 1,2	117,69	5,16	8,88	33,93
	1,2 - 2,2	49,55	23,29	6,96	23,63
	2,2 - 3,2	44,94	0,09	5,25	7,53
	3,2 - 4,2	32,03	8,51	9,19	1,66
	4,2 - 5,2	3,64	6,77	7,78	12,01
	5,2 - 6,2	9,23	6,52	4,91	2,71
	6,2 - 7,2	4,24	5,51	3,82	2,72
	7,2 - 8,2	0,98	4,20	2,67	2,25
	8,2 et plus	26,92	0,06	2,21	0,11
Total:	289,22	60,11	51,67	86,55	

TABLEAU C.2 Valeurs des erreurs absolues résultant des ajustements des précipitations horaires par les lois statistiques dérivées de la loi gamma aux stations Lennoxville-CDA et Val-d'Or-A.  
A: mai et B: juillet.

	Classe (mm de pluie)	Exponentielle		Gamma à deux paramètres		Gamma généralisée	
		Lennoxville-CDA	Val-d'Or-A	Lennoxville-CDA	Val-d'Or-A	Lennoxville-CDA	Val-d'Or-A
(A)	0,0 - 1,2	58,83	44,36	28,02	23,67	2,77	1,86
	1,2 - 2,2	51,16	46,52	5,02	6,39	17,08	7,49
	2,2 - 3,2	22,73	4,63	13,55	1,24	2,05	10,49
	3,2 - 4,2	10,00	5,71	6,33	11,78	18,79	3,86
	4,2 - 5,2	5,16	0,20	11,19	6,29	4,24	2,27
	5,2 et plus	10,22	12,31	4,60	2,02	2,24	1,30
	Total:	158,10	113,73	68,71	51,39	47,17	27,27
(B)	0,0 - 1,2	117,03	112,47	0,53	8,74	4,10	12,85
	1,2 - 2,2	39,83	74,38	31,74	15,57	24,80	4,62
	2,2 - 3,2	42,57	42,45	1,99	1,71	0,26	2,80
	3,2 - 4,2	43,29	17,44	19,94	4,63	20,22	0,88
	4,2 - 5,2	18,93	7,26	8,99	7,62	8,43	3,27
	5,2 - 6,2	5,73	0,40	3,39	5,84	2,55	2,33
	6,2 - 7,2	5,52	8,51	3,93	1,87	4,68	4,53
	7,2 - 8,2	1,44	2,95	4,91	3,33	4,16	1,52
	8,2 et plus	29,44	17,99	0,96	3,05	2,04	1,96
Total:	303,78	283,85	76,38	52,36	71,24	34,76	

ANNEXE D

POURCENTAGES MENSUELS DES DONNEES  
MANQUANTES AUX STATIONS SELECTIONNEES  
POUR L'ETUDE DES PRECIPITATIONS HORAIRES

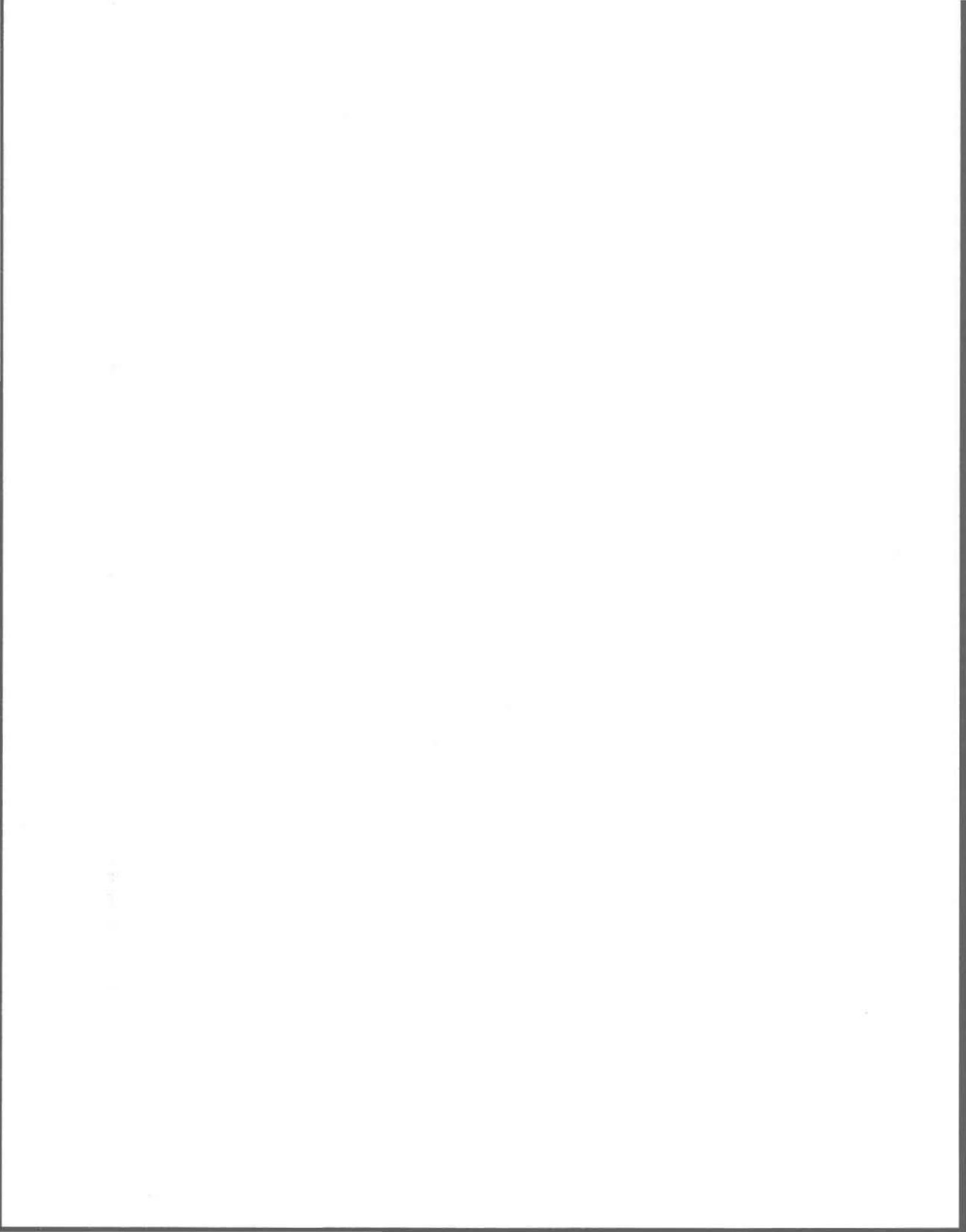


TABLEAU D.1 Pourcentages mensuels des données manquantes aux stations sélectionnées pour l'étude (1966-1980).

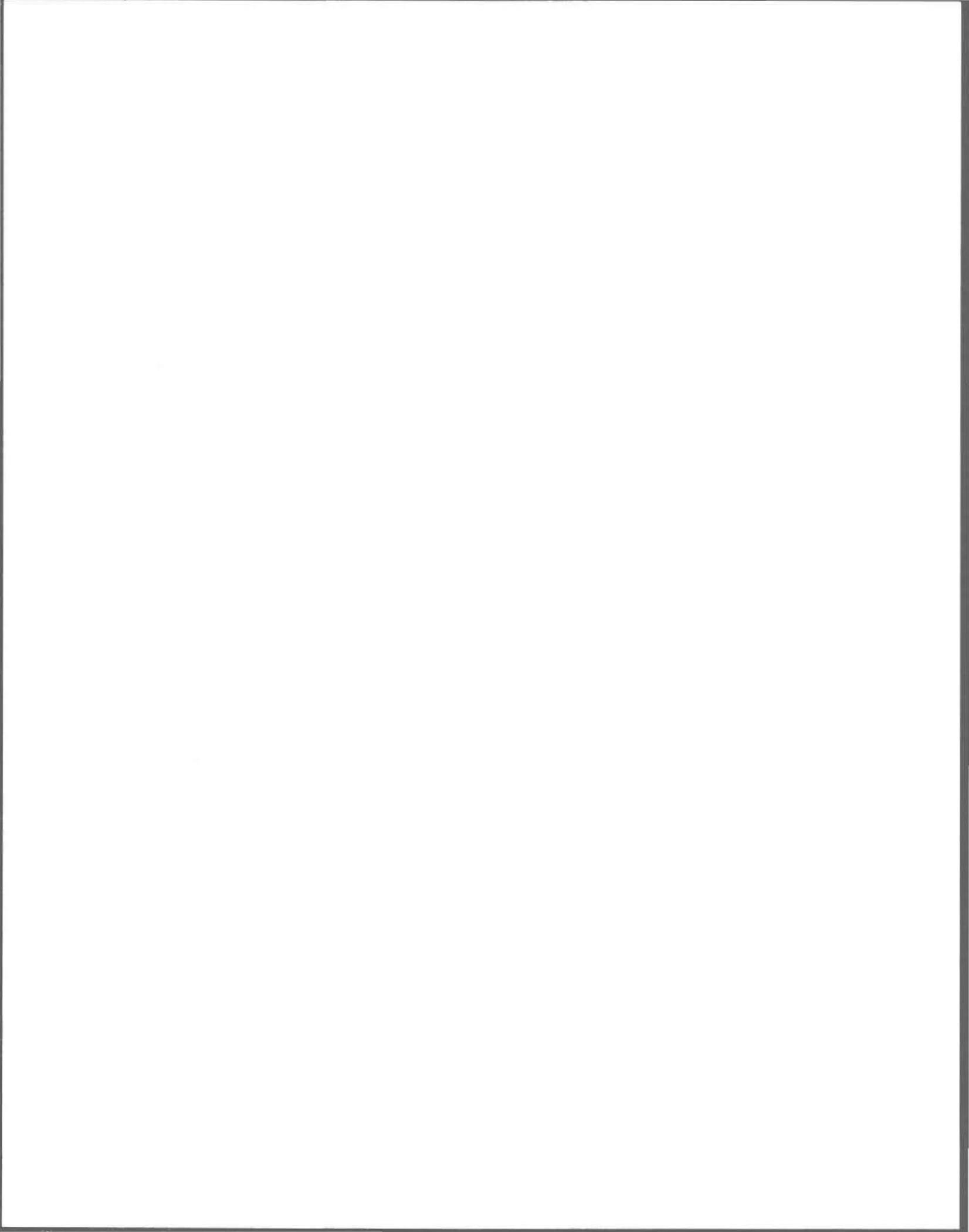
1. Stations avec 15 ans d'observations									
Région	No	Nom	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Moyenne
701	4160	L'Assomption	4,8	0,9	0,3	1,1	1,9	0,7	1,6
	6294	Québec-A	1,5	1,1	1,3	1,3	0,7	3,5	1,6
702	6900	Saint-Augustin	3,1	2,5	2,0	2,4	2,5	1,3	2,3
	3312	Island-Brook	2,9	4,5	5,9	10,6	5,3	4,7	5,7
	4280	Lennoxville-CDA	2,8	5,2	10,4	3,2	4,7	6,8	5,5
	4624	Maple-Leaf-East	3,8	1,5	3,0	1,5	2,8	9,4	3,7
	5250	Montréal-International-A	0,7	1,8	2,0	0,4	0,7	1,4	1,2
	5280	Montréal-McGill	1,0	1,4	7,1	1,8	0,5	0,5	2,1
	5745	Ormstown	16,1	8,1	1,1	7,3	8,5	8,2	8,2
	7120	Saint-Edwidge	16,6	14,9	25,5	10,7	15,3	14,4	16,3
	7200	Saint-Ephrem	23,2	18,7	8,1	6,5	5,4	3,4	10,9
	7283	Saint-Georges	15,8	16,3	10,5	2,1	2,1	18,9	11,0
	7320	Saint-Hubert-A	15,2	8,7	14,8	15,6	14,8	14,7	14,0
	7372	Saint-Isidore-D'Auckland	15,0	7,7	13,1	9,0	5,6	1,0	8,6
	7750	Saint-Théophile	10,7	8,8	15,3	16,1	1,9	9,0	10,4
	7802	Sawyerville-Nord	6,6	5,3	3,1	3,7	7,3	3,5	4,9
	8124	Sherbrooke-A	0,6	0,8	0,9	2,1	1,0	0,6	1,0
8676	Vallée-Jonction	20,5	13,7	11,3	14,3	13,6	8,9	13,7	
8906	West Ditton	8,9	12,3	11,9	6,6	9,9	14,0	10,6	
703	0457	Barrage Mercier	12,1	14,5	17,9	9,7	7,1	37,2	16,5
705	6762	Sainte-Agathe-des-Monts	8,5	2,7	0,2	0,7	3,3	1,6	2,8
	4095	La Pocatière-CDA	1,7	0,9	0,4	0,3	0,7	1,1	0,9
706	6480	Rimouski	16,1	12,4	4,6	1,3	3,7	21,8	9,9
	7287	Sainte-Germaine	12,4	9,9	9,1	4,1	8,1	9,5	8,9
	7518	Saint-Malachie	2,4	1,1	1,3	4,2	7,6	1,9	3,1
708	0400	Bagotville-A	7,7	2,3	2,9	1,7	4,2	6,2	4,2
	5640	Normandin-CDA	10,5	8,4	7,9	4,8	3,5	17,5	8,8
709	0452	Barrage des Quinze	33,9	16,3	13,5	4,8	1,4	5,5	12,6
	8600	Val-d'Or-A	7,2	1,1	1,2	1,1	2,4	0,7	2,3
2. Stations avec 14 ans d'observations									
701	5730	Oka	4,4	12,5	11,2	15,7	24,3	26,3	15,7
702	4320	Lingwick	11,4	15,5	16,4	25,5	15,5	18,0	17,1
	5260	Montréal Jean-Brébeuf	13,1	9,0	15,4	15,0	15,2	23,0	15,2
704	8441	Thetford Mines	9,0	9,5	4,3	4,1	2,0	6,6	5,9
	2388	Forêt Montmorency	8,6	7,4	0,2	0,1	0,3	0,9	2,9
705	1160	Cap-Madeleine	18,0	13,9	2,7	3,0	1,5	12,6	8,6
706	7060	Saint-Coeur-de-Marie	32,7	23,9	9,1	4,6	1,6	31,4	17,2

TABLEAU D.1 Pourcentages mensuels des données manquantes aux stations sélectionnées pour l'étude (1966-1980) (suite).

3. Stations avec 13 ans d'observations									
Région	No	Nom	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Moyenne
701	6932	Sainte-Catherine	8,4	0,8	2,2	2,3	1,5	13,1	4,7
	8000	Shawinigan	10,6	7,4	8,4	2,5	1,9	3,8	5,8
702	2800	Granby	11,9	17,2	16,7	8,4	2,3	8,1	10,8
	7040	Saint-Clothilde-CDA	26,6	21,4	9,5	10,0	10,9	29,0	17,9
703	4480	Maniwaki	10,7	2,6	4,8	2,7	0,8	10,0	5,3
704	0440	Baie Comeau-A	14,6	10,9	9,8	2,7	2,5	3,1	7,3
	2378	Forestville	16,4	8,5	2,9	3,1	6,8	11,7	8,2
705	5120	Mont-Joli-A	9,7	0,8	1,5	1,0	1,0	19,1	5,6
708	0468	Barrage Témiscamingue	20,3	11,1	17,4	11,2	4,7	6,5	11,9
709	0120	Amos	24,6	15,3	8,2	3,1	0,4	21,7	12,2
4. Stations avec 12 ans d'observations									
701	3362	Joliette-Ville	34,1	28,6	17,1	27,5	9,6	2,3	19,9
702	3677	Lac Mégantic-2	23,5	17,5	12,4	11,0	14,9	37,7	19,5
	6839	Sainte-Anne-de-Bellevue	13,4	10,0	11,7	9,9	2,3	18,9	11,1
704	8720	Victoriaville	27,3	23,2	18,5	10,5	11,5	16,9	18,0
	5400	Natashquan-A	10,1	10,2	0,6	2,7	2,0	8,9	5,7
705	1175	Cap Seize	21,1	2,8	2,6	6,1	21,4	29,3	13,9
	2820	Grande-Rivière	37,1	0,9	0,5	4,6	2,4	25,3	11,9
706	6970	Saint-Charles-Garnier	28,9	15,4	11,6	15,3	18,4	26,7	19,4
	5100	Mont Apica	20,6	13,2	20,8	12,7	12,2	33,5	18,8
707	6080	Portage des Roches	13,9	12,4	4,7	2,7	7,4	18,6	10,0
	7570	Saint-Michel-des-Saints	14,2	16,3	13,8	22,8	14,5	25,7	17,9
5. Stations avec 11 ans d'observations									
701	2240	Duchesnay	20,1	10,7	10,0	6,7	4,4	16,4	11,4
702	2720	Georgeville	12,4	20,4	23,2	24,1	17,6	15,8	18,9
703	8040	Shawville	16,9	12,7	3,0	3,6	5,9	15,5	9,6
705	1175	Cap Seize	21,1	2,8	2,6	6,1	21,4	29,3	13,9
	7395	Saint-Jean-de-Cherbourg	15,3	12,1	5,4	3,4	11,1	16,3	10,6
6. Stations avec 10 ans d'observations									
701	1309	Charlesbourg Parc Orléans	13,1	11,4	11,0	13,1	6,3	14,5	11,6
	2232	Duburger	18,1	10,6	24,5	17,5	2,6	14,7	14,7
702	0840	Brome	2,6	2,9	5,8	13,1	16,9	12,0	8,9
703	7400	Saint-Jérôme	21,5	15,7	15,0	9,8	12,6	16,0	15,1
705	6615	Rivière-du-Loup	43,3	29,0	11,0	10,3	4,0	6,0	17,3
706	3690	Lac Sainte-Croix	11,6	12,3	11,0	11,4	4,6	8,7	9,9
709	1401	Chibougamau	25,2	15,0	11,6	10,6	7,0	3,3	12,1

ANNEXE E

ANALYSE DES MATRICES DE CORRELATION ENTRE  
LES VARIABLES EXPLICATIVES DU TAUX MOYEN  
ET DE LA FREQUENCE DES PRECIPITATIONS  
HORAIRES POUR LES MOIS DE MAI A OCTOBRE



ANALYSE DES MATRICES DE CORRELATION ENTRE  
LES VARIABLES EXPLICATIVES DU TAUX MOYEN  
ET DE LA FREQUENCE DES PRECIPITATIONS  
HORAIRES POUR LES MOIS DE MAI A OCTOBRE

Les matrices des coefficients de corrélation entre les variables explicatives du taux moyen et de la fréquence des précipitations horaires ont été déterminées. Le but de cet exercice est de savoir si les facteurs tels que la température maximale mensuelle, la latitude, la longitude et l'altitude sont fortement ou non corrélés entre eux.

Le tableau E.1 montre les différentes matrices de coefficients de corrélation entre les variables explicatives choisies pour les six mois étudiés. D'après ces résultats, on remarque que pour l'ensemble des mois, il existe de fortes corrélations entre:

- 1) la température maximale et la latitude;
- 2) la température maximale et la longitude.

Les coefficients de corrélation les plus élevés correspondent à la température maximale et la latitude. On sait que d'après la trajectoire du rayonnement solaire suivant les saisons sur la terre, il est évident de retrouver une bonne corrélation entre ces deux paramètres. On retrouve des coefficients de corrélation significativement différents de zéro pour un niveau de 5 pour cent entre la latitude et la longitude, cependant cette liaison entre ces deux variables a plus ou moins de sens physiquement. Cette corrélation est probablement due à la proximité des stations météorologiques dans le sud du Québec méridional.

Les coefficients de corrélation existants entre l'altitude et les trois variables suivantes: la température maximale, la latitude et la longitude sont dans l'ensemble pour les six mois non significativement différents de zéro.

Pour ce cas, il est important de souligner que si l'on veut appliquer un modèle de régression linéaire multiple pour expliquer le taux moyen horaire ou la fréquence à l'aide de ces variables, on se doit d'utiliser un modèle de Ridge-Regression. En effet, la non-orthogonalité des variables explicatives conduit en général à une forte instabilité des coefficients des modèles. Il est bon de noter que le principe de la Ridge-Regression a été instaurée par Hoerle et Kennard (1970) et qu'un logiciel utilisant cette régression a été conçue à l'INRS-Eau (Bobée et Robitaille, 1975).

TABLEAU E.1 Matrices des coefficients de corrélation entre les variables explicatives du taux moyen et de la fréquence des précipitations horaires pour le mois de mai à octobre.

Matrice des coefficients de corrélation (r)	Mai			Juin			Juillet		
	LAT	-0,823			-0,724			-0,751	
LONG	0,670	-0,427		0,633	-0,440		0,591	-0,435	
ALTI	-0,125*	-0,108*	0,144*	-0,251	-0,103*	0,145*	-0,339	-0,105*	0,137*
	TMAX	LAT	LONG	TMAX	LAT	LONG	TMAX	LAT	LONG
	Août			Septembre			Octobre		
	LAT	-0,767			0,864			-0,863	
LONG	0,582	-0,424		0,475	-0,444		0,335	-0,451	
ALTI	-0,311	-0,176*	0,183*	-0,349	-0,092*	0,148*	0,381	-0,084*	0,171*
	TMAX	LAT	LONG	TMAX	LAT	LONG	TMAX	LAT	LONG

ALTI: altitude (mètre)

LAT: latitude (degré)

LONG: longitude (degré)

TMAX: température mensuelle moyenne maximale (°C)

\* Non significatif à 5 pour cent.



ANNEXE F

DISTRIBUTION MENSUELLE DES FREQUENCES  
DES DUREES ET DES INTENSITES MOYENNES  
DES EPISODES PLUVIEUX AINSI QUE CELLE  
DE LA CONTRIBUTION A LA PLUIE TOTALE  
DES EPISODES PLUVIEUX EN FONCTION DE LEUR DUREE,  
A SEPT STATIONS PLUVIOGRAPHIQUES  
DU QUEBEC MERIDIONAL

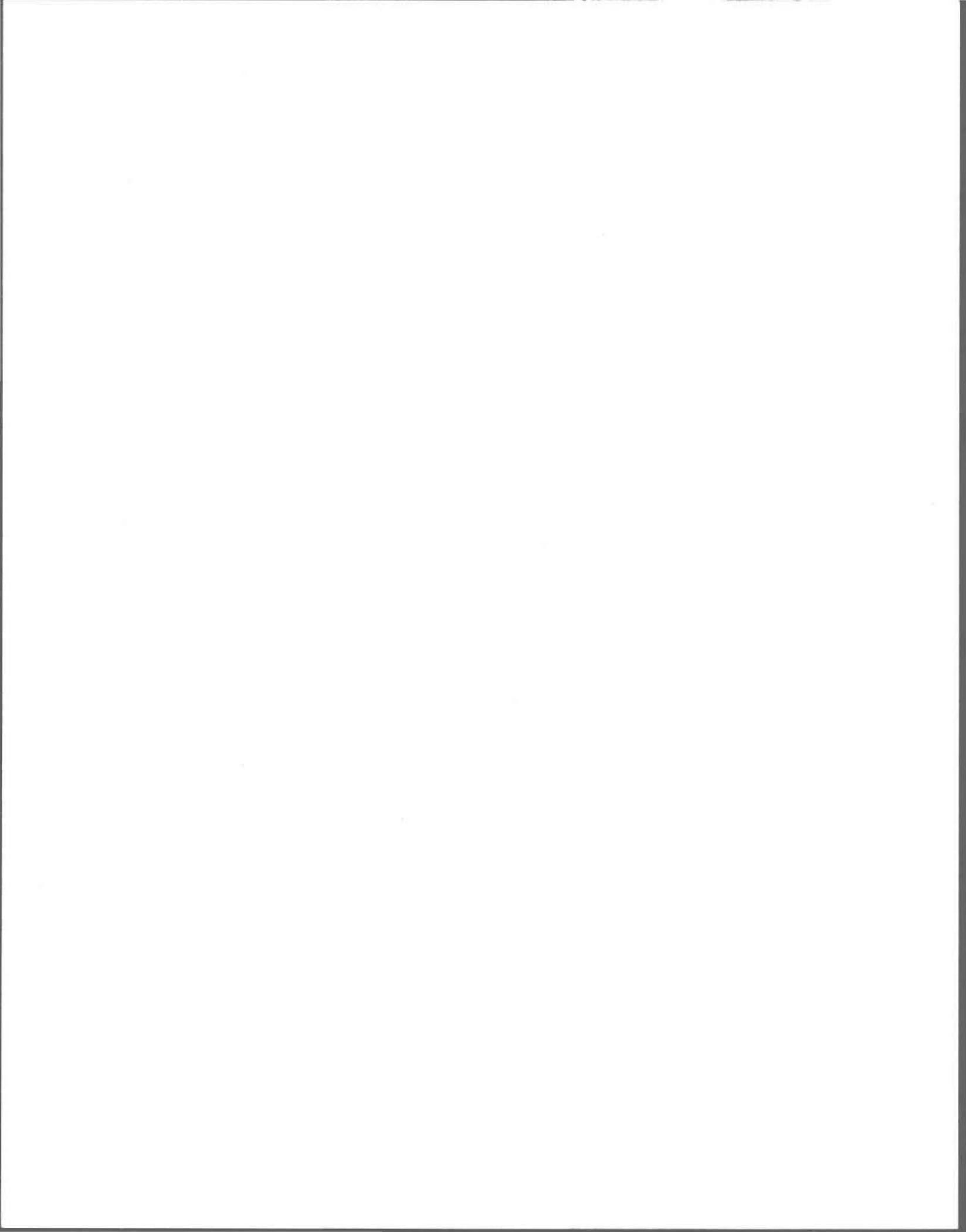




TABLEAU F.1 Distribution mensuelle des fréquences des durées d'épisodes pluvieux.

D: Cap-Madeleine (1967-1980).  
 E: La Pocatière-CDA (1966-1980).  
 F: Bagotville-A (1966-1980).

MOIS	DUREE (HEURES)										TOTAL									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		11	12	13	14	15	16	17	18	19
5	49.30	16.74	8.37	9.77	5.12	2.79	1.40	1.40	0.93	0.47	0.93	0.47	0.93	0.00	0.00	0.00	0.47	0.00	0.00	0.93
6	48.76	22.31	9.92	5.37	3.72	2.89	1.65	1.65	0.83	0.41	0.41	0.41	0.41	0.00	0.41	0.00	0.00	0.00	0.00	0.83
7	48.88	20.88	12.91	7.62	2.32	1.66	1.94	1.32	1.32	0.33	0.00	0.00	0.33	0.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.33
8	43.71	22.33	11.01	8.48	5.03	3.46	2.70	0.83	0.94	0.00	0.31	0.31	0.31	0.31	0.00	0.31	0.31	0.00	0.00	0.31
9	49.23	19.81	12.89	4.84	4.64	4.33	1.86	0.31	0.93	0.82	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.31	0.31	0.31	0.31
10	48.88	16.78	7.89	8.95	5.26	2.36	1.97	1.97	1.32	0.00	0.88	1.32	0.88	0.00	0.88	0.00	0.88	0.00	0.00	0.88
TOTAL 2	817	339	181	125	74	52	32	20	18	5	6	7	7	7	2	3	1	5	1	9

D

MOIS	DUREE (HEURES)										TOTAL									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		11	12	13	14	15	16	17	18	19
5	41.14	18.04	11.06	8.84	2.85	3.16	3.16	3.48	1.58	1.58	0.95	1.27	0.32	0.63	0.32	0.32	0.63	0.00	0.00	0.95
6	48.67	21.83	10.91	6.78	2.95	1.77	0.88	2.06	0.88	1.47	0.29	0.29	0.00	0.00	0.00	0.29	0.00	0.00	0.00	0.88
7	46.50	23.87	12.10	6.69	4.46	1.59	2.23	0.96	0.00	0.96	0.00	0.00	0.32	0.32	0.00	0.32	0.00	0.00	0.00	0.00
8	44.89	21.02	11.08	6.82	6.25	1.99	3.17	1.70	0.85	0.38	0.38	0.85	0.28	0.00	0.00	0.28	0.00	0.28	0.00	0.00
9	45.71	16.57	10.57	8.29	3.14	4.86	1.71	2.00	0.86	2.57	0.57	0.57	0.00	1.14	0.29	0.29	0.00	0.00	0.86	0.00
10	47.04	15.89	9.97	7.79	5.30	3.12	3.12	1.25	1.56	0.93	1.86	0.82	0.00	0.00	0.00	0.31	0.00	0.31	0.00	0.82
TOTAL 2	910	388	218	149	83	55	47	38	19	26	12	12	3	3	2	6	7	2	5	8

E

MOIS	DUREE (HEURES)										TOTAL									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		11	12	13	14	15	16	17	18	19
5	47.40	19.16	10.06	7.79	3.25	3.50	2.92	0.97	0.65	0.97	0.97	0.97	0.00	0.32	0.00	0.32	0.00	0.00	0.00	0.32
6	49.73	24.60	9.63	5.35	2.94	1.87	1.60	1.07	0.53	0.83	0.00	0.53	0.27	0.53	0.00	0.00	0.00	0.27	0.53	0.53
7	49.48	20.68	12.83	5.76	3.93	2.82	0.78	1.57	0.26	0.52	0.52	0.79	0.00	0.00	0.00	0.26	0.00	0.00	0.00	0.00
8	47.42	24.87	12.53	3.44	3.88	3.19	0.98	1.23	1.23	0.00	0.49	0.00	0.00	0.00	0.25	0.25	0.25	0.00	0.00	0.25
9	47.72	16.71	9.59	7.43	6.47	2.88	2.40	1.44	1.20	0.00	0.00	0.46	0.46	0.00	0.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.46
10	48.73	21.43	10.42	5.95	5.06	2.08	0.89	1.19	1.49	1.49	2.08	0.30	0.30	0.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.60
TOTAL 2	1070	481	242	131	95	61	35	28	20	12	14	13	4	4	2	3	1	1	1	6

F

- 1 En pourcentage du nombre total d'épisodes pluvieux pour le mois.
- 2 Nombre total d'épisodes pluvieux d'une durée donnée pour les mois de mai à octobre.

TABLEAU F.1 Distribution mensuelle des fréquences des durées d'épisodes pluvieux.  
G: Barrage des Quinze (1966-1980).

MOIS <sup>1</sup>	DUREE (HEURES)																				TOTAL
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20 ET PLUS	
5	46.38	23.83	11.06	3.40	1.53	2.55	2.55	1.28	1.28	0.00	0.43	0.85	0.43	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.43	0.00	2054
6	48.55	22.87	10.17	6.40	4.36	2.03	0.87	1.74	1.18	0.29	1.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.29	0.00	0.29	2054
7	48.85	22.13	12.64	5.75	3.45	2.54	1.72	0.57	0.86	0.57	0.57	0.00	0.00	0.29	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2054
8	51.57	21.37	12.54	4.27	3.13	1.42	2.28	0.57	0.28	1.42	0.57	0.28	0.00	0.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2054
9	49.51	18.05	10.98	6.83	2.88	2.88	3.41	0.49	1.46	1.46	0.49	0.73	0.00	0.00	0.49	0.00	0.24	0.00	0.00	0.49	2054
10	48.09	15.85	9.56	6.28	5.19	3.51	3.81	2.19	1.37	0.82	0.55	0.55	0.00	0.55	0.55	0.27	0.55	0.27	0.00	0.00	2054
TOTAL <sup>2</sup>	1008	418	229	116	81	51	51	23	22	17	13	8	1	4	4	1	1	2	1	3	2054

1 En pourcentage du nombre total d'épisodes pluvieux pour le mois.

2 Nombre total d'épisodes pluvieux d'une durée donnée pour les mois de mai à octobre.

TABLEAU F.2 Distribution mensuelle des fréquences des intensités moyennes d'épisodes pluvieux.  
 A: Québec-A (1966-1980).  
 B: Sherbrooke-A (1966-1980).  
 C: Sainte-Agathe-des-Monts (1966-1980).

MOIS<sup>1</sup>

INTENSITE MOYENNE (MM/H)

	> 0 A <= 1,0	> 1,0 A <= 2,0	> 2,0 A <= 3,0	> 3,0 A <= 4,0	> 4,0 A <= 5,0	> 5,0 A <= 6,0	> 6,0 A <= 7,0	> 7,0 A <= 8,0	> 8,0 A <= 9,0	> 9,0 A <= 10,0	10,0 ET PLUS	TOTAL
5	64.91	25.16	5.59	2.48	0.62	0.31	0.31	0.31	0.00	0.00	0.31	
6	54.89	23.10	8.97	5.71	2.45	2.17	1.09	0.27	0.00	0.54	0.82	
7	51.86	15.19	13.47	5.16	3.44	4.30	1.43	1.72	0.29	0.86	2.29	
8	54.21	17.98	10.96	5.62	4.21	1.12	2.25	0.84	0.84	0.28	1.69	
9	60.92	20.98	8.05	4.02	2.01	1.44	0.57	0.57	0.00	0.29	1.15	
10	68.47	22.93	6.05	0.96	0.96	0.64	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
TOTAL <sup>2</sup>	1212	428	184	84	48	35	20	13	4	7	22	2057

A

MOIS<sup>1</sup>

INTENSITE MOYENNE (MM/H)

	> 0 A <= 1,0	> 1,0 A <= 2,0	> 2,0 A <= 3,0	> 3,0 A <= 4,0	> 4,0 A <= 5,0	> 5,0 A <= 6,0	> 6,0 A <= 7,0	> 7,0 A <= 8,0	> 8,0 A <= 9,0	> 9,0 A <= 10,0	10,0 ET PLUS	TOTAL
5	72.48	18.43	4.42	1.97	1.23	0.98	0.25	0.25	0.00	0.00	0.00	
6	58.40	21.71	9.82	4.91	1.29	1.03	0.52	0.26	0.00	0.26	1.81	
7	53.49	19.89	8.06	4.84	4.84	3.76	1.61	1.34	0.27	0.00	1.88	
8	55.74	16.39	11.20	5.74	2.46	1.64	1.64	2.46	1.64	0.00	1.09	
9	64.71	18.38	6.86	4.41	1.47	1.23	1.23	0.74	0.25	0.25	0.49	
10	75.94	17.65	3.74	2.14	0.00	0.00	0.27	0.00	0.27	0.00	0.00	
TOTAL <sup>2</sup>	1472	434	169	92	43	33	21	19	9	2	20	2314

B

MOIS<sup>1</sup>

INTENSITE MOYENNE (MM/H)

	> 0 A <= 1,0	> 1,0 A <= 2,0	> 2,0 A <= 3,0	> 3,0 A <= 4,0	> 4,0 A <= 5,0	> 5,0 A <= 6,0	> 6,0 A <= 7,0	> 7,0 A <= 8,0	> 8,0 A <= 9,0	> 9,0 A <= 10,0	10,0 ET PLUS	TOTAL
5	73.05	17.86	6.59	1.20	0.30	0.90	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	
6	60.55	19.18	9.04	4.93	2.74	1.92	0.55	0.00	0.82	0.00	0.27	
7	54.16	18.77	8.58	7.24	2.95	1.61	2.41	0.80	1.07	0.80	1.61	
8	60.05	14.21	10.99	5.83	2.14	2.14	1.07	0.80	1.61	0.27	1.07	
9	67.91	17.91	6.95	3.74	1.87	0.00	0.53	0.53	0.27	0.00	0.27	
10	74.18	18.13	6.59	0.82	0.27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
TOTAL <sup>2</sup>	1415	385	178	87	38	24	18	8	14	4	12	2183

C

<sup>1</sup> En pourcentage du nombre total d'épisodes pluvieux pour le mois.  
<sup>2</sup> Nombre total d'épisodes pluvieux d'une classe d'intensités moyennes donnée pour les mois de mai à octobre.

TABLEAU F.2 Distribution mensuelle des fréquences des intensités moyennes d'épisodes pluvieux.

D: Cap-Madeleine (1967-1980).  
 E: La Pocatière-CDA (1966-1980).  
 F: Bagotville-A (1966-1980).

MOIS<sup>1</sup>

INTENSITE MOYENNE (MM/H)

	> 0 A <= 1,0	> 1,0 A <= 2,0	> 2,0 A <= 3,0	> 3,0 A <= 4,0	> 4,0 A <= 5,0	> 5,0 A <= 6,0	> 6,0 A <= 7,0	> 7,0 A <= 8,0	> 8,0 A <= 9,0	10,0 ET PLUS	TOTAL
5	86.05	11.63	1.40	0.47	0.00	0.00	0.47	0.00	0.00	0.00	
6	76.03	13.22	7.44	1.24	0.83	0.00	1.24	0.00	0.00	0.00	
7	70.86	18.54	3.31	2.32	1.32	2.32	0.00	0.66	0.00	0.66	
8	71.70	14.47	6.60	3.46	1.57	0.31	0.63	0.63	0.63	0.00	
9	84.52	10.22	2.79	1.86	0.31	0.00	0.31	0.00	0.00	0.00	
10	85.53	11.51	2.30	0.66	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
TOTAL <sup>2</sup>	1344	227	66	30	12	8	7	4	2	2	1704

D

MOIS<sup>1</sup>

INTENSITE MOYENNE (MM/H)

	> 0 A <= 1,0	> 1,0 A <= 2,0	> 2,0 A <= 3,0	> 3,0 A <= 4,0	> 4,0 A <= 5,0	> 5,0 A <= 6,0	> 6,0 A <= 7,0	> 7,0 A <= 8,0	> 8,0 A <= 9,0	> 9,0 A <= 10,0	10,0 ET PLUS	TOTAL
5	75.00	17.72	4.75	1.27	0.95	0.00	0.32	0.00	0.00	0.00	0.00	
6	68.14	17.11	5.90	3.24	2.36	0.88	0.59	0.29	0.88	0.29	0.29	
7	57.01	20.06	12.10	5.10	1.91	0.64	0.32	1.59	0.64	0.32	0.32	
8	61.65	19.32	7.10	4.55	2.84	0.57	1.70	0.57	0.57	0.28	0.85	
9	71.14	16.00	8.29	2.57	0.86	0.86	0.00	0.00	0.29	0.00	0.00	
10	79.44	14.64	4.05	1.56	0.31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
TOTAL <sup>2</sup>	1368	348	140	61	31	10	10	8	8	3	5	1992

E

MOIS<sup>1</sup>

INTENSITE MOYENNE (MM/H)

	> 0 A <= 1,0	> 1,0 A <= 2,0	> 2,0 A <= 3,0	> 3,0 A <= 4,0	> 4,0 A <= 5,0	> 5,0 A <= 6,0	> 6,0 A <= 7,0	> 7,0 A <= 8,0	> 8,0 A <= 9,0	> 9,0 A <= 10,0	10,0 ET PLUS	TOTAL
5	75.32	18.83	5.19	0.65	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
6	67.38	19.52	7.49	1.60	1.60	0.80	0.53	0.00	0.27	0.00	0.80	
7	55.76	24.08	8.12	4.71	2.09	1.05	1.05	0.79	0.26	1.31	0.79	
8	58.48	21.13	10.07	4.42	2.95	0.49	0.74	0.00	0.25	0.49	0.88	
9	71.94	18.71	6.00	2.16	0.96	0.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
10	74.70	19.64	5.06	0.30	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
TOTAL <sup>2</sup>	1486	453	158	54	31	10	9	3	3	7	10	2224

F

<sup>1</sup> En pourcentage du nombre total d'épisodes pluvieux pour le mois.  
<sup>2</sup> Nombre total d'épisodes pluvieux d'une classe d'intensités moyennes donnée pour les mois de mai à octobre.

TABLEAU F.2 Distribution mensuelle des fréquences des intensités moyennes d'épisodes pluvieux.  
G: Barrage des Quinze (1966-1980).

MOIS <sup>1</sup>	INTENSITE MOYENNE (MM/H)											TOTAL
	> 0 A <= 1,0	> 1,0 A <= 2,0	> 2,0 A <= 3,0	> 3,0 A <= 4,0	> 4,0 A <= 5,0	> 5,0 A <= 6,0	> 6,0 A <= 7,0	> 7,0 A <= 8,0	> 8,0 A <= 9,0	> 9,0 A <= 10,0	10,0 ET PLUS	
5	76.60	14.47	3.40	2.55	1.28	0.85	0.00	0.00	0.00	0.85	0.00	2054
6	66.57	16.57	7.27	4.07	2.91	0.29	0.87	0.58	0.29	0.00	0.58	
7	59.77	18.10	8.33	4.89	3.16	1.72	0.86	1.44	0.57	0.29	0.86	
8	62.39	17.09	8.55	5.41	2.28	2.28	0.57	0.85	0.00	0.28	0.28	
9	70.73	16.83	6.10	3.17	1.46	0.49	0.24	0.49	0.00	0.00	0.49	
10	78.14	16.39	3.83	1.09	0.27	0.27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
TOTAL <sup>2</sup>	1412	343	131	73	39	20	9	12	3	4	8	

- <sup>1</sup> En pourcentage du nombre total d'épisodes pluvieux pour le mois.  
<sup>2</sup> Nombre total d'épisodes pluvieux d'une classe d'intensités moyennes donnée pour les mois de mai à octobre.

TABLEAU F.3 Distribution mensuelle de la contribution à la pluie totale des épisodes pluvieux en fonction de leur durée.

A: Québec-A (1966-1980).

B: Sherbrooke-A (1966-1980).

A	Durée (heure)																							
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18+					
Mois <sup>1</sup>																								
Mai		7,48	8,71	9,50	4,62	3,99	6,76	7,80	8,86	1,88	5,7,09	0,85	3,20	10,10,31	5	3,02	1,65	0,00	2,74	11,53				
Juin		8,44	20,51	20,65	13,71	6,82	5	3,72	8,35	4,24	3,71	0,00	0,89	0,00	1,74	0,00	0,00	2,07	2,30	2,85				
Juillet		16,73	13,98	17,18	11,88	4,74	8,70	12,51	4,61	0,00	0,00	0,00	3,69	0,00	1,87	4,11	0,00	0,00	0,00	0,00				
Août		9,81	22,55	14,07	11,76	11,39	5,09	8,82	2,19	4,99	3,23	1,68	0,00	0,00	0,00	1,63	0,00	0,00	0,00	2,79				
Septembre		8,75	9,26	10	6,80	10,93	6,93	6,89	5,96	1,95	2,48	2,36	17,97	15	1,70	1,59	1,53	0,00	2,33	2,80	9,78			
Octobre		4,28	8,70	8,00	10,75	5,86	5,54	5,17	5,37	5	7,02	7,29	10	6,51	5	1,76	5	8,89	1,06	7,88	5	0,00	0,00	5,93
Période <sup>2</sup> complète		9,52	14,27	12,85	10,77	6,77	6,15	8,22	4,34	3,23	3,07	5,19	1,34	3,31	1,21	2,34	0,78	1,31	5,33					

B	Durée (heure)																							
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18+					
Mois <sup>1</sup>																								
Mai		8,42	8,31	10	9,68	10,08	10,27	9,45	3,72	5	6,69	3,27	4,80	6,65	2,64	4,75	1,97	0,00	5,58	2,86	0,86			
Juin		13,22	15	20,33	13,56	7,94	9,61	9,26	6,69	2,56	6,58	5	7,38	0,81	2,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Juillet		15,55	19,43	20	22,66	20,36	9,02	5,28	1,27	1,69	0,73	0,66	0,00	3,35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Août		11,96	16,95	15	9,59	16,99	5,59	7,21	6,47	7,44	9,48	1,66	2,08	1,59	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,99	
Septembre		9,72	10	12,08	17,54	15	12,05	5,41	5,64	4,54	2,77	5	4,79	5	7,53	1,85	4,22	5,5,02	1,44	0,00	2,51	1,83	1,06	
Octobre		7,07	9,97	8,53	10	8,45	8,28	9,17	3,75	5,17	10	11,33	0,82	5	7,68	2,66	3,54	4,36	1,88	4,76	0,00	2,58		
Période <sup>2</sup> complète		11,28	14,91	13,93	13,13	7,89	7,50	4,46	4,36	5,86	3,83	2,84	2,75	2,05	1,10	0,24	1,81	0,76	1,23					

<sup>1</sup> En pourcentage de la pluie totale mensuelle.

<sup>2</sup> En pourcentage de la pluie saisonnière.

TABLEAU F.3 Distribution mensuelle de la contribution à la pluie totale des épisodes pluvieux en fonction de leur durée (suite).  
 C: Sainte-Agathe-des-Monts (1966-1980).  
 D: Cap-Madeleine (1967-1980).

C	Durée (heure)																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18+
Mois <sup>1</sup>																		
Mai	7,97	7,48	13,75	11,58	6,52	6,75	6,36	11,64	1,90	3,62	0,00	1,72	1,90	3,27	1,64	4,68	3,35	5,86
Juin	10,27	17,18	12,71	6,12	11,50	12,51	0,00	4,51	0,69	4,63	1,89	1,07	3,99	0,36	2,15	0,00	0,00	10,42
Juillet	17,66	21,53	19,65	10,11	9,41	4,31	4,78	5,91	0,88	0,00	0,00	0,64	2,76	0,00	2,36	0,00	0,00	0,00
Août	14,53	19,00	17,26	9,22	7,28	10,06	4,18	3,64	0,00	3,79	2,29	3,34	1,72	0,76	0,00	0,00	0,00	2,93
Septembre	7,54	10,53	11,53	9,08	11,29	8,44	4,35	11,18	3,96	2,08	5,13	0,00	5,39	0,00	0,00	1,26	1,95	6,30
Octobre	5,57	6,58	8,35	10,30	6,02	9,33	11,96	9,06	6,03	5,94	3,93	1,21	3,81	4,45	1,77	4,34	0,00	1,35
Période <sup>2</sup> complète	10,99	14,40	14,15	9,26	8,86	8,62	4,96	7,35	2,08	3,22	2,22	1,32	3,28	1,27	1,30	1,45	0,78	4,48

D	Durée (heure)																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18+
Mois <sup>1</sup>																		
Mai	8,97	8,91	9,05	13,98	10,51	5,61	3,81	3,69	3,95	4,13	3,85	1,78	6,18	0,00	0,00	0,00	4,05	11,53
Juin	10,40	17,24	12,96	5,65	9,77	7,19	6,61	4,47	2,53	1,29	3,85	1,68	2,94	0,00	1,38	0,00	0,00	12,04
Juillet	12,23	17,49	15,02	12,96	4,99	4,69	5,38	3,86	3,25	4,85	0,00	0,00	2,47	1,51	0,00	0,00	0,00	11,30
Août	9,52	12,31	11,82	16,12	8,88	6,93	6,88	3,61	3,73	0,00	0,73	0,90	1,44	4,36	0,00	2,44	6,85	3,48
Septembre	10,84	12,85	16,74	10,63	9,61	11,89	4,57	1,66	6,31	2,86	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,27	9,77
Octobre	7,49	6,53	5,49	9,49	7,76	6,74	4,29	6,43	5,99	0,00	2,46	9,86	3,76	3,52	0,00	0,00	8,60	11,59
Période <sup>2</sup> complète	9,96	12,78	11,94	11,85	8,30	7,05	5,44	4,01	4,25	1,99	1,54	2,35	2,54	1,34	0,81	0,58	3,86	9,41

<sup>1</sup> En pourcentage de la pluie totale mensuelle.  
<sup>2</sup> En pourcentage de la pluie saisonnière.

TABLEAU F.3 Distribution mensuelle de la contribution à la pluie totale des épisodes pluvieux en fonction de leur durée (suite).  
 E: La Pocatière-CDA (1966-1980).  
 F: Bagotville-A (1966-1980).

E	Durée (heure)	Mois <sup>1</sup>																	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18+
Maï		6,43	7,40	9,48	12,05	5,57	5,56	9,19	9,16	3,32	5,01	2,35	5,56	1,04	3,01	0,94	1,50	2,39	10,04
Juin		13,88	17,10	15,11	16,08	5,42	3,50	1,84	6,59	2,98	7,15	0,89	1,80	0,00	0,00	0,00	1,99	0,00	5,67
Juillet		13,30	25,00	16,55	12,68	10,48	2,89	4,57	3,29	0,00	4,54	0,00	0,00	1,18	1,87	3,65	0,00	0,00	0,00
Août		9,36	15,35	13,43	8,68	11,94	8,74	7,10	4,53	6,29	0,43	1,09	3,60	1,28	0,00	0,00	4,70	3,48	0,00
Septembre		5,13	7,47	10,64	9,35	6,05	9,67	3,63	5,81	1,56	13,33	5,66	4,64	0,00	7,16	0,88	1,65	0,00	7,37
Octobre		6,49	6,26	5,92	10,31	10,47	7,70	7,72	4,53	4,08	6,02	8,93	4,21	0,00	0,00	0,00	2,80	0,00	14,56
Période <sup>2</sup> complète		8,95	13,06	11,98	11,25	8,40	6,64	5,61	5,60	3,14	6,12	3,08	3,37	0,6	2,19	0,32	2,78	0,36	6,55

F	Durée (heure)	Mois <sup>1</sup>																	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18+
Maï		8,23	11,69	9,74	12,66	5,47	11,83	10,92	2,57	3,43	3,28	6,15	4,66	0,00	2,17	0,00	4,05	0,00	3,15
Juin		13,94	21,65	9,01	8,70	7,32	7,27	5,15	3,86	2,33	2,43	0,00	5,02	1,25	2,94	0,00	0,00	0,00	9,13
Juillet		11,95	14,03	19,98	13,38	10,40	8,43	3,13	4,33	0,89	2,64	2,46	5,66	0,00	0,00	0,00	2,72	0,00	0,00
Août		13,02	22,19	14,61	7,65	11,05	7,97	2,40	5,72	5,48	0,00	2,27	0,00	0,00	1,92	0,00	1,43	0,00	4,29
Septembre		8,13	10,19	10,44	10,76	13,83	6,79	8,94	5,51	5,37	0,00	0,00	6,17	3,33	0,00	1,36	0,00	0,00	9,18
Octobre		9,67	10,08	10,13	9,99	13,60	4,57	4,08	3,13	6,25	6,92	11,90	2,80	1,83	5,05	0,00	0,00	0,00	0,00
Période <sup>2</sup> complète		11,08	15,44	13,05	10,51	10,49	7,78	5,39	4,41	3,80	2,16	3,11	4,06	1,03	1,31	0,64	1,36	0,00	4,38

<sup>1</sup> En pourcentage de la pluie totale mensuelle.  
<sup>2</sup> En pourcentage de la pluie saisonnière.

TABLEAU F.3 Distribution mensuelle de la contribution à la pluie totale des épisodes pluvieux en fonction de leur durée (suite).  
G: Barrage des Quinze (1966-1980).

G	Durée (heure)																		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18+
Mois <sup>1</sup>																			
Mai		7,96 <sub>10</sub>	19,54	15,14	5,90	11,91 <sub>10</sub>	7,58	6,52	6,64	3,49	0,00	3,88	5,12 <sub>5</sub>	1,94	0,00	0,00	0,00	0,00	4,38
Juin		10,58	21,52	12,75	12,01 <sub>10</sub>	7,22	6,64	4,85	6,63	3,50	3,56	5,56 <sub>5</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,18 <sub>5</sub>
Juillet		12,82	20,72 <sub>20</sub>	21,20	9,84	8,31	7,30	6,47	1,89	4,22	3,68	1,99	0,00	0,00	1,56	0,00	0,00	0,00	0,00
Août		11,44	15,13 <sub>15</sub>	21,03	10,04	10,89	3,01 <sub>5</sub>	9,15 <sub>5</sub>	1,34	0,38	6,24 <sub>5</sub>	7,27 <sub>5</sub>	1,04	0,00	3,04	0,00	0,00	0,00	0,00
Septembre		9,82 <sub>10</sub>	9,69	9,82	13,67	5,15	7,80	10,10 <sub>10</sub>	2,19	4,69	8,37	2,27	4,29	0,00	0,00	2,42	0,00	4,15	5,57 <sub>5</sub>
Octobre		8,74	8,06	7,92	10,33 <sub>10</sub>	10,53	9,51	9,40	6,53	6,49	3,20	3,47	3,93	0,00	1,88	2,52	1,12	3,43	2,94
Période <sup>2</sup> complète		10,49	15,55	14,84	10,74	8,62	6,83	7,88	3,79	3,74	4,70	4,06	2,15	0,19	1,14	0,87	0,16	1,36	2,89

<sup>1</sup> En pourcentage de la pluie totale mensuelle.

<sup>2</sup> En pourcentage de la pluie saisonnière.