

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC

Thèse de doctorat présentée à

L'INSTITUT NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

par

Marcel Pineau

MODÈLE MATHÉMATIQUE POUR OPTIMISER
LA CONSTRUCTION D'UN RÉSEAU D'USINES D'ÉPURATION
À L'ÉCHELLE DU BASSIN VERSANT
- DÉVELOPPEMENT ET APPLICATIONS -

14 février 1986

REMERCIEMENTS

Ces travaux de doctorat constituent l'une des plus belles aventures intellectuelles, et probablement la plus riche et la plus intense qu'il me sera jamais donnée de connaître. Elle m'aura conduit des remparts du Vieux-Québec aux palmiers de Palm Avenue, Palo Alto; elle m'aura fait découvrir l'immensité de la connaissance et regretter, en même temps, de ne pouvoir jamais toute la parcourir et la posséder. Mon directeur de thèse, le professeur Jean-Pierre Villeneuve, était de cette aventure. Je lui adresse mes remerciements les plus sincères pour m'y avoir dirigé, accompagné et encouragé; pour m'avoir montré les destinations à atteindre tout en me laissant inventer les itinéraires pour y arriver.

Je remercie également le professeur Pierre Campbell qui a joué un rôle très important dans mes travaux, qui m'a accordé une disponibilité privilégiée et avec lequel j'ai appris le souci de rigueur.

Je tiens à adresser mes remerciements à monsieur Sylvain Houle, avec lequel j'ai eu une fructueuse collaboration, et au professeur James O. Leckie, de l'Université de Stanford, pour l'enseignement précieux dont il m'a permis de bénéficier.

Mes remerciements vont enfin aux distingués membres de mon jury de thèse, soit les professeurs Nathan Buras, de l'Université d'Arizona, Pierre Hubert, de l'École des Mines de Paris, Gilles Patry, de l'Université de Hamilton, James O. Leckie, de l'Université de Stanford, Pierre Campbell et Jean-Pierre Villeneuve de l'INRS-Eau.

TABLE DES MATIÈRES

Remerciements	i
Table des matières	ii
Liste des tableaux	v
Liste des figures	vii
Introduction	1
Chapitre 1 - Sélection des technologies de traitement des eaux usées dans un système-rivière	5
1. Création d'un réseau d'ouvrages d'assainissement	6
2. Normes et cours d'eau récepteur	9
2.1 Cas du phosphore	11
2.2 Contrôle de la DBO et Oxygène Dissous	16
3. Le système rivière et les interactions entre les points de rejets	23
4. Traitement conjoint et séparé	25
5. Complexité et le besoin d'outils d'optimisation	31
Chapitre 2 - Les modèles d'optimisation dans la gestion des ressources en eau	33
1. Application des modèles d'optimisation - Revue de littérature	34
2. Critique des modèles	38
2.1 Types de polluants	41
2.2 Représentation de l'efficacité des usines de traitement dans les modèles d'optimisation	44
2.3 Fonctions-coûts des usines de traitement dans les modèles d'optimisation	51
2.4 Types d'usines, fonctions-coûts et configuration de la solution optimale	56
Chapitre 3 - Développement d'un modèle d'optimisation applicable à l'assainissement des eaux dans un bassin versant ..	61
3.1 Nature du problème / But et tâche du modèle	62
3.2 Système modélisé	65
3.3 Types de contraintes de qualité	67
3.4 Représentation du cours d'eau récepteur dans le modèle d'optimisation	68
3.5 Rôle des caractéristiques des eaux usées	70
3.6 Formulation générale du modèle d'optimisation	72
3.7 Structure du modèle	77

3.7.1	ENTRÉE	81
3.7.2	INIT	81
3.7.3	BILAN	81
3.7.4	MODÈLE	82
3.7.5	SORTIE	99
Chapitre 4 - Application, résultats et discussion		100
1.	Application du modèle	101
2.	Types de résultats	111
3.	Résultats et discussion	113
3.1	Le modèle, outil de planification	113
3.1.1	Solution d'assainissement de référence	114
3.1.2	Solution de traitement obtenue par optimisation ..	118
3.2	Interactions entre les points de rejet	120
3.2.1	Optimisation avec modification de la charge en N-NH ₃	124
3.2.2	Bases pour la planification des solutions d'assai- nissement	126
3.3	Sensibilité des solutions d'assainissement aux paramètres du cours d'eau récepteur	128
3.4	Effets des fonctions économiques sur la sélection des technologies de traitement	132
3.5	Rôle et importance des contraintes (normes) de qualité ..	134
3.6	Coûts d'exploitation (opération et entretien)	137
3.7	L'efficacité des systèmes de traitement dans les modèles d'optimisation: rôle et importance	138
3.8	Introduction du phosphore comme contrainte additionnelle d'optimisation	141
3.9	Solution à l'échelle du bassin versant	142
Conclusion		145
1.	Le modèle	146
2.	Les résultats	150
3.	Le développement	152
Bibliographie		154
Annexe I - Caractéristiques des modèles d'optimisation - Revue de littérature		I.1
I.1	Le modèle de Bishop et Narayanan (1977)	I.2
I.2	Le modèle de Pingry et Shaftel (1979)	I.6

I.3	Le modèle de Ocanas et Mays (1981a, 1981b)	I.10
I.4	Le modèle de Schwartz et Mays (1983)	I.15
I.5	Le modèle de Kansakar et Polprasert (1983)	I.22
I.6	Le modèle de Bill et Nakamura (1978); Nakamura <u>et al.</u> (1981).	I.26
Annexe II - Subroutines "OPTIONS"		II.1
II.1	Sélection des technologies de traitement	II.2
II.2	Schéma de sélection	II.4
II.3	La variable de décision x_j	II.9
Annexe III - Variables d'entrée		III.1
III.1	Bloc de données ESPACE	III.2
III.2	Bloc de données RIVER	III.3
III.3	Bloc de données DESIGN	III.9
III.4	Bloc de données POINTS DE REJET	III.10
Annexe IV - Programme informatique du modèle		IV.1

LISTE DES TABLEAUX

1.1	Charges en phosphore de sources urbaines et industrielles par municipalité du bassin de la rivière Yamaska	12
1.2	Estimation préliminaire des coûts de contrôle du phosphore dans le bassin de la rivière Yamaska	17
1.3	Caractéristiques des eaux usées - Municipalité de Farnham.	27
1.4	Solutions de traitement applicables pour la municipalité de Farnham	29
2.1	Caractéristiques des modèles d'optimisation	39
3.1	Fonctions économiques des systèmes de traitement - Coûts de construction	85
3.2	Fonctions économiques des systèmes de traitement - Coûts d'exploitation	90
4.0a	Solutions de traitement applicables pour la municipalité de Granby	103
4.0b	Solutions de traitement applicables pour la municipalité de Cowansville	104
4.0c	Solutions de traitement applicables pour la municipalité de Farnham	105
4.0d	Solutions de traitement applicables à Rougemont / St-Cézaire	106
4.0e	Solutions de traitement applicables pour la municipalité de St-Damase	107
4.0f	Solutions de traitement applicables pour la municipalité de St-Pie	108
4.0g	Solutions de traitement applicables pour la municipalité de St-Hyacinthe	109
4.1	Solution de traitement de référence	116
4.2	Solution de traitement obtenue par optimisation	117

4.3	Effet d'une augmentation de la charge municipale en azote ammoniacal à Cowansville	122
4.4	Effet d'une augmentation de charge en azote ammoniacal à Cowansville: municipal et industriel	125
4.5	Sensibilité des solutions d'assainissement au coefficient de réaération physique K_2	130
4.6	Sensibilité de la solution d'assainissement à la norme de qualité	136
4.7	Sensibilité de la solution d'assainissement à l'efficacité des systèmes de traitement	140
4.8	Solution d'assainissement à l'échelle du bassin	144
III.1	Variable LTRON	III.12
III.2	Variable TYPPOL	III.13
III.3	Variable DECAK	III.14
III.4	Conditions hydrologiques	III.15
III.5	Variable VELO	III.16
III.6	Apports des tributaires	III.17
III.7	Chaînes de traitement du modèle d'optimisation	III.18
III.8	Efficacités des chaînes de traitement	III.19
III.9	Caractéristiques des eaux usées urbaines et industrielles - Ville de Granby	III.20
III.10	Caractéristiques des eaux usées urbaines et industrielles - Ville de Cowansville	III.21
III.11	Caractéristiques des eaux usées urbaines et industrielles - Ville de Farnham	III.22
III.12	Caractéristiques des eaux usées urbaines et industrielles - Municipalités de Rougemont / St-Cézaire	III.23
III.13	Caractéristiques des eaux usées urbaines et industrielles - Municipalité de St-Damase	III.24
III.14	Caractéristiques des eaux usées urbaines et industrielles - Municipalité de St-Pie	III.25
III.15	Caractéristiques des eaux usées urbaines et industrielles - Ville de St-Hyacinthe	III.26

LISTE DES FIGURES

1.1	Municipalités du bassin de la rivière Yamaska	7
1.2	Simulations des conditions de qualité dans le tronçon récepteur en aval de Granby	21
2.1	Fonction empirique du coût total de construction d'une usine secondaire	53
3.1a	Schéma conceptuel du modèle d'optimisation	78
3.1b	Structure informatique	79
3.2	Variables de sortie de la subroutine OPTIONS	84
4.1	Bassin d'application	102
4.2	Sous-système à l'étude	115
II.1	Structure de sélection des technologies de traitement	II.6

INTRODUCTION

Depuis 1978, le gouvernement du Québec a entrepris la réalisation d'un vaste programme d'assainissement des eaux. D'ici 1990, près de 1000 usines d'épuration municipales et industrielles seront construites impliquant des investissements de plusieurs milliards de dollars (Ouellet, 1983).

En dépit de l'envergure de ce programme et des ressources qui y sont consacrées, on constate - et on pourrait démontrer - que les outils de modélisation mathématique du domaine du génie de l'environnement ont été sous-utilisés, sinon totalement ignorés, dans les différentes étapes de planification, de conception et de mise en oeuvre du programme d'assainissement des eaux. Cette situation, croyons-nous, doit être associée au fait que ces outils sont encore relativement récents et que leur transfert dans la pratique entraîne nécessairement une réorganisation trop substantielle des méthodes de travail et des approches classiques de planification et de conception. La démonstration n'est pourtant plus à faire. Les outils de modélisation mathématique sont indispensables à la compréhension et à la gestion des systèmes de ressources en eau.

Nos travaux de doctorat ont été consacrés à une catégorie particulière de ces outils, soit les modèles normatifs (aussi désignés dans la littérature sous les termes de "modèles d'optimisation"). Nous présentons ici le développement et l'application d'un modèle mathématique qui a été conçu pour optimiser l'implantation d'un réseau d'usines d'épuration à l'échelle d'un bassin versant. Une caractéristique fondamentale de ce modèle est qu'il permet d'effectuer une sélection optimale des technologies de traitement des

eaux usées en fonction de la dynamique du cours d'eau récepteur, des interactions entre les points de rejet du bassin et des normes de qualité fixées.

La présentation de ces travaux est organisée en quatre chapitres. En utilisant des cas d'étude tirés du bassin de la rivière Yamaska, le premier chapitre est d'abord consacré à poser le problème de la sélection des technologies de traitement dans un système - rivière. Il sera question, en particulier, des facteurs qui sont à la base de la sélection et de la conception des systèmes de traitement et des implications économiques qui peuvent en résulter. Ce premier chapitre pose l'extrême complexité de planifier et de concevoir un réseau d'usines d'épuration à l'échelle d'un bassin versant. Le deuxième chapitre constitue une revue critique des modèles d'optimisation existants et de leurs applications aux problèmes de gestion des ressources en eau. Ce chapitre résulte notamment dans l'énoncé des conditions qui sont nécessaires à la conception d'un modèle d'optimisation applicable à un problème d'assainissement des eaux. Les chapitres III et IV présentent ensuite le développement et les applications du modèle que nous proposons.

Il est également deux autres aspects de ces travaux qui, en raison de leur étendue, ont été traités à l'extérieur du présent document. Il s'agit d'une revue des technologies de traitement applicables au bassin de la rivière Yamaska (Pineau et Villeneuve, 1984a) et du développement des fonc-

tions économiques des systèmes de traitement (Pineau et Villeneuve, 1984b). Au besoin, nous référons donc le lecteur à ces deux publications.

De façon générale, la problématique du contrôle de la qualité de l'eau en rivière comporte deux volets principaux, soit, d'une part, la pollution d'origine agricole et, d'autre part, celle d'origine municipale et industrielle. Une analyse du volet agricole fut déjà présentée dans le cadre de travaux antérieurs (Pineau, 1982). Cette discussion ne sera donc pas reprise dans les pages qui suivent. Nous développons ici un outil mathématique de planification des ouvrages de traitement des effluents urbains et industriels à l'échelle d'un bassin versant. Cet outil tient compte des apports agricoles et à ce titre, il en fait donc un facteur (parmi d'autres) de la solution de traitement obtenue par optimisation. Ce n'était toutefois ni l'objet, ni le but des présents travaux de discuter des mesures reliées au contrôle de la pollution d'origine agricole.

CHAPITRE I

SÉLECTION DES TECHNOLOGIES
DE TRAITEMENT DES EAUX USÉES
DANS UN SYSTÈME-RIVIÈRE

1. CRÉATION D'UN RÉSEAU D'OUVRAGES D'ASSAINISSEMENT

En 1978, le gouvernement du Québec annonçait la mise en oeuvre d'un vaste programme d'assainissement des eaux. Aux termes de ce programme, près de 1000 usines de traitement des eaux usées doivent être construites au Québec d'ici 1990 (Ouellet, 1983).

Le bassin de la rivière Yamaska constitue un cas typique dans la réalisation de ce programme d'assainissement. Situé sur la rive sud du fleuve St-Laurent, à quelque 50 km de Montréal, ce bassin compte neuf agglomérations principales (figure 1.1). Dans chacune d'elles, on retrouve des industries des secteurs du textile et/ou de la transformation agro-alimentaire (laiteries, fromageries, abattoirs, conserveries). Actuellement, en 1984, toutes les eaux usées domestiques et industrielles de ces municipalités sont déversées directement à la rivière Yamaska sans aucun traitement préalable. Le programme d'assainissement des eaux du Québec prévoit, à brève échéance, la construction simultanée de plusieurs usines d'épuration dans chacune de ces municipalités. C'est donc un véritable réseau d'ouvrages d'assainissement qu'il faut créer de toute pièce et mettre en place dans ce bassin. Sous cet aspect - c'est-à-dire l'implantation, en bloc, d'un réseau de plusieurs usines d'épuration le long d'un cours d'eau - le problème de l'assainissement des eaux à l'échelle d'un bassin revêt un intérêt considérable.

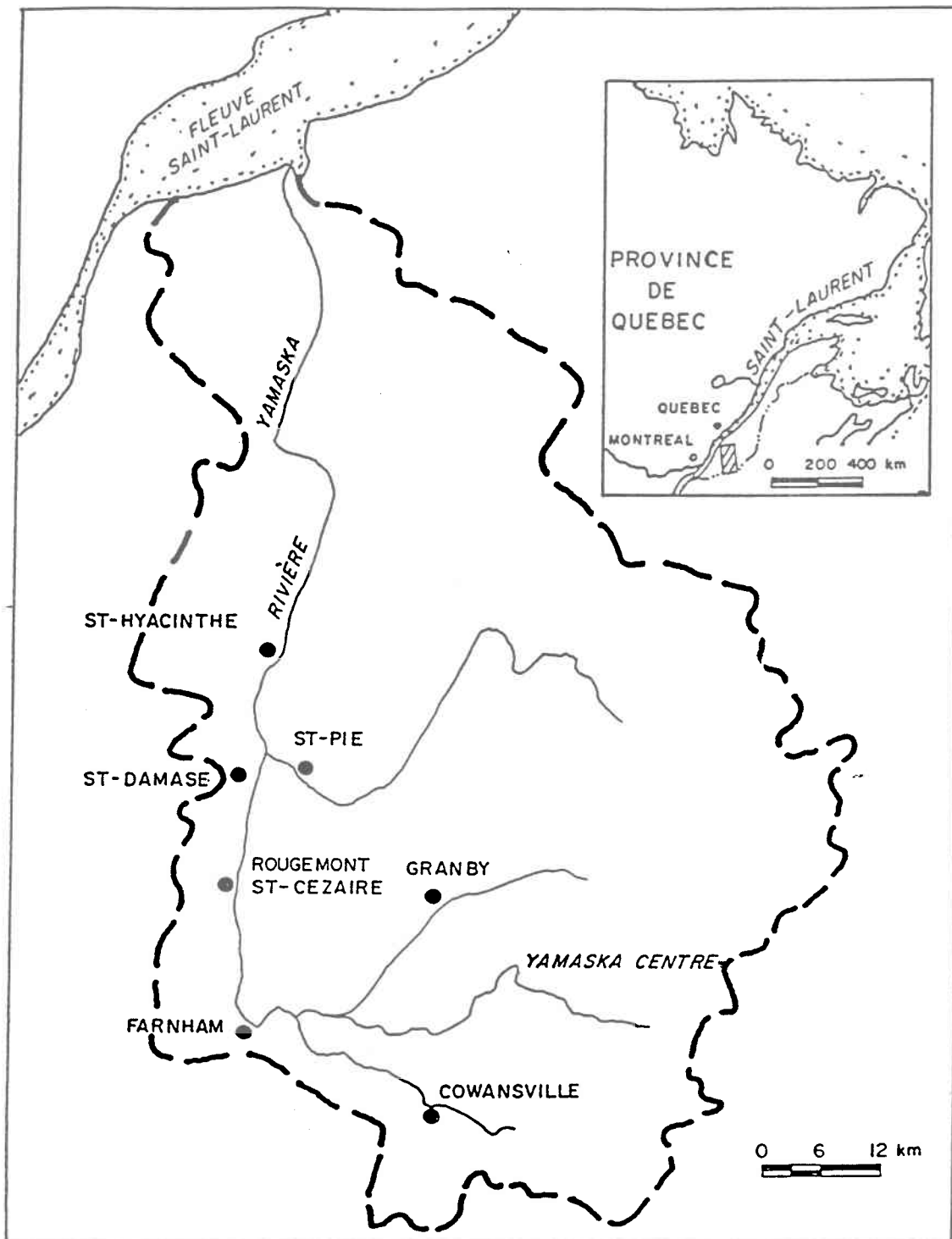


Figure 1.1: Municipalités du bassin de la rivière Yamaska

D'un point de vue d'ingénierie, l'un des aspects majeurs de la planification de ces ouvrages est la sélection des technologies de traitement des eaux usées qui peuvent être appliquées dans chaque municipalité. Dans la pratique courante du génie sanitaire, l'étude des solutions de traitement demeure principalement axée sur l'ingénierie de procédé. Dans une telle approche, les critères et les caractéristiques de conception des procédés, les caractéristiques des eaux usées, les coûts de construction et d'exploitation constituent les variables maîtresses qui gouvernent la sélection des technologies. Ceci est illustré de façon typique par ces quelques exemples tirés de la littérature: (1) sélection des différents procédés secondaires en croissance suspendue (boues activées) (ASCE, 1979, ASCE, 1980); (2) utilisation des systèmes secondaires en croissance attachée versus en croissance suspendue (Kincannon and Sheppard, 1973); (3) sélection des techniques de contrôle du phosphore (USEPA, 1976); sélection des systèmes de traitement en fonction des coûts en capital, des coûts d'exploitation, de l'économie d'énergie, de la complexité d'opération (McGhee et al. 1983; Rossman, 1980).

Cependant, afin de planifier l'implantation d'un réseau d'ouvrages d'épuration à l'échelle d'un bassin, l'étude et la sélection des technologies de traitement ne peuvent être limitées seulement à une analyse de procédé. En plus de cette analyse classique, qui reste indispensable, on propose ici une approche qui considère aussi 3 autres facteurs déterminants. Il s'agit (1) des normes en relation avec la dynamique et la sensibilité du cours d'eau récepteur, (2) des interactions entre les points de rejet dues

au système-rivière et (3) des différentes possibilités de traitement conjoint et séparé des effluents urbains et industriels.

En utilisant des cas d'étude tirés du bassin de la rivière Yamaska, le but de ce premier chapitre est de démontrer le rôle et l'importance de ces trois facteurs pour développer et sélectionner les solutions techniques applicables à une municipalité donnée. Également, l'accent sera mis sur les implications économiques qui résultent de ces facteurs.

2. NORMES ET COURS D'EAU RÉCEPTEUR

Dans la pratique, les normes d'effluent servent de base principale à la sélection et à la conception des systèmes de traitement. Aux États-Unis, la réglementation relative au traitement secondaire des eaux usées requiert d'atteindre 85% d'abattement de la DBO* et des SS (respectivement, Demande Biochimique en Oxygène et Solides en Suspension) contenus dans l'affluent ou une concentration moyenne de ces constituants à l'effluent de 30 mg/l (Carter, 1984; ASCE, 1979). Notons à ce sujet qu'au début de l'année 1984, l'agence américaine de protection de l'environnement (USEPA) proposait de réviser la limite de 30 mg/l en DBO pour la remplacer par une norme de 25 mg/l en CBOD ("Carbonaceous Biological Oxygen Demand") (Carter, 1984). Dans le cas du contrôle du phosphore, des normes d'effluent de 1 mg P_t/l (phosphore total), ou même de 0,5 mg P_t/l, sont recommandées comme règles de pratique à observer (International Joint Commission, 1978; Environnement Canada, 1978).

* Sauf avis contraire, le terme standard DBO réfère dans le présent document à la notion plus précise de DBO₅ (totale).

Les normes d'effluent peuvent certes fournir une base utile pour la conception des systèmes de traitement. Cependant, elles n'ont qu'une faible signification en regard de la dynamique et de la sensibilité du milieu récepteur. Pour les fins de planifier la construction d'un réseau d'usines d'épuration le long d'un cours d'eau, l'utilisation de critères de milieu - c'est-à-dire de normes en rivière pour l'oxygène dissous et le phosphore, entre autres - a une signification environnementale plus élevée. Elle permet de relier l'étude des technologies de traitement à la dynamique et à la sensibilité du cours d'eau récepteur (débit, dilution, transport, transformations bio-chimiques, sources et pertes), ce qui n'est pas pris en compte par les normes d'effluent. En permettant de faire intervenir directement la réponse du milieu récepteur, les normes de milieu fournissent un niveau supplémentaire d'information d'une importance primordiale pour la sélection des technologies.

En utilisant des données réelles du bassin de la rivière Yamaska, nous avons développé deux exemples qui montrent, de façon pratique, les implications reliées aux normes (effluent vs milieu). Le premier cas considère le contrôle du phosphore; le second traite du contrôle de la DBO.

2.1 Le cas du Phosphore

La rivière Yamaska reçoit une charge moyenne en phosphore de près de 700 kg P_t /jour. Le tableau 1.1 indique la provenance de ces charges pour les principales municipalités du bassin. En été, lors des périodes d'étiage, ces apports donnent lieu à un surenrichissement nutritif du cours d'eau qui se traduit par une surproduction généralisée d'algues et de plantes aquatiques (Pineau et al., 1983).

Afin de limiter la production primaire dans la Yamaska, le ministère de l'Environnement du Québec requiert que les futures usines d'épuration effectuent un contrôle du phosphore. L'objectif de traitement visé est une concentration en phosphore de 1 mg P_t /l à l'effluent (Bodineau, 1984).

Plusieurs techniques sont disponibles pour effectuer l'enlèvement du phosphore dans les eaux usées. Switzenbaum et al. (1981), USEPA (1976) et Melkersson (1973) présentent et discutent les applications de ces diverses techniques. Dans le cas des municipalités du bassin de la rivière Yamaska, la méthode retenue par le ministère de l'Environnement consiste à effectuer une précipitation physico-chimique à la suite du traitement biologique (addition de coagulant au décanteur secondaire, dans le cas d'un procédé aux boues activées, ou à la dernière cellule d'aération dans le cas d'un système d'étangs aérés facultatifs). Il s'agit d'une technique répandue, qui offre l'avantage d'un faible investissement en capital et qui permet d'atteindre une efficacité de 1-2 mg P_t /l à l'effluent (Switzenbaum et al. 1981; Metcalf

TABLEAU 1.1
CHARGES EN PHOSPHORE DE SOURCES
URBAINES ET INDUSTRIELLES PAR MUNICIPALITÉ
DU BASSIN DE LA RIVIÈRE YAMASKA¹

MUNICIPALITÉ ²	DÉBIT D'EAUX USÉES (domestique et industriel) M ³ /J	CHARGES (kg P _t /j) ³
Granby	49 960	249.5
Cowansville	14 760	63
Farnham	10 750	51.8
Rougemont/St-Cézaire	5 110	37 ⁴
St-Damase	3 180	14 ⁴
St-Pie	1 211	6.7
St-Hyacinthe	41 635	230
Acton Vale	8 327	36

¹ Réf.: Ministère de l'Environnement du Québec, Assainissement urbain, Montréal (MEQ, 1984)

² Voir figure 1 pour la localisation des municipalités

³ Phosphore total

⁴ Réf.: Pineau et al. (1983)

& Eddy Inc., 1979; Environment Canada, 1978).

Sur cette base, nous avons produit une estimation préliminaire des coûts de différents scénarios de contrôle du phosphore dans le bassin de la rivière Yamaska.

Comme premier scénario, nous avons d'abord considéré la stratégie actuelle, qui consiste à réaliser un contrôle universel du phosphore dans toutes les municipalités du bassin (cf: tableau 1.1) dans l'objectif de limiter les rejets à une concentration normative de 1 mg P_t /l. Les coûts ont été estimés à l'aide du modèle CAPDET (USEPA, 1981). Ils comprennent l'achat des produits chimiques, la main-d'oeuvre et l'investissement en capital pour le système doseur et l'entreposage des coagulants. Les simulations de coûts ont été effectuées en retenant une précipitation physico-chimique à l'alun, conformément à la technique déjà mentionnée plus haut. Les doses d'alun ont été déterminées théoriquement pour chaque municipalité sur la base des données fournies au tableau 1.1 et en fonction d'une efficacité de traitement de 1 mg P_t /l à l'effluent. Pour l'alun, on a utilisé un coût unitaire de \$0.22/kg. Sur cette base, le coût du contrôle du phosphore pour l'ensemble des municipalités du bassin a été estimé à \$ 3,2 millions/an (Dollars Canadiens 1981, sous l'hypothèse d'un amortissement du capital sur 20 ans et à un taux d'escompte de 3% correspondant à l'écart entre l'inflation et les taux d'intérêt courants. Il s'agit évidemment des conditions d'application qu'il a été convenues de retenir. Toute autre

hypothèse relative aux taux d'intérêt applicables pourrait également être considérée).

On a ensuite étudié un deuxième scénario basé, cette fois, sur l'utilisation d'une norme de milieu. En analogie avec la gestion de la qualité de l'eau en milieu lacustre, des recherches ont été réalisées afin de déterminer des concentrations maximums admissibles de phosphore en rivière pour limiter la croissance excessive d'algues et de plantes aquatiques (Wong et al., 1979; Campbell et al., 1976). Différentes valeurs de concentrations seuils ont été proposées par ces auteurs en fonction de différentes espèces d'algues ou de macrophytes. Pour les fins de notre analyse, nous avons convenu de retenir un critère de 0,1 mg P_t/l (phosphore total: soluble plus particulaire) rapporté par Wong et al. (1979) pour des conditions générales de qualité de l'eau en rivière. Nous avons alors appliqué un modèle simple de transport du phosphore en rivière afin de déterminer le degré nécessaire d'abattement du phosphore dans le bassin de la rivière Yamaska pour satisfaire ce critère milieu. Le développement du modèle de transport et les données d'application sont présentés dans Pineau et al. (1982). Essentiellement, mentionnons que les simulations ont été effectuées pour des conditions d'étiage prolongé (récurrence 1 dans 20 ans) et en tenant compte des apports des principaux tributaires agricoles. Plusieurs simulations ont alors été effectuées jusqu'à ce qu'il soit possible d'identifier un schéma de contrôle du phosphore (c'est-à-dire en quels endroits du bassin et sur quels effluents) qui permette de satisfaire le critère de milieu choisi sous les conditions hydrologiques considérées. Les résultats obtenus ont permis

de montrer qu'une norme en rivière de $0.1 \text{ mg P}_t/\text{l}$ peut être respectée selon le programme de contrôle suivant: (1) précipitation physico-chimique à l'alun (sources industrielles et domestiques) pour les municipalités de Granby, Cowansville et St-Hyacinthe plus (2) précipitation physico-chimique à l'alun, uniquement sur les effluents industriels de Farnham. Dans une telle stratégie, le coût global du contrôle du phosphore à l'échelle du bassin se trouve réduit à \$2,3 millions/année. Les coûts ont été estimés à l'aide du modèle CAPDET selon une procédure similaire au premier cas.

Ces deux scénarios sont résumés au Tableau 1.2. En les comparant, on constate l'importance réelle des implications économiques qui sont associées aux normes: une différence de l'ordre de \$1 million/an sépare ces deux stratégies. De telles implications économiques mettent sérieusement en question les objectifs de traitement qui se trouvent à la base d'un programme de contrôle du phosphore. Ainsi, la validité et la justification d'une norme d'effluent de $1 \text{ mg P}_t/\text{l}$ sont encore loin d'avoir été démontrées pour les systèmes-rivières. À l'origine, de telles normes d'effluent furent proposées et établies comme objectif de traitement pour les lacs et leur transfert dans la pratique de l'assainissement des cours d'eau au Québec en constitue une application arbitraire. Il est clair que c'est avant tout aux conditions nutritives ambiantes ainsi qu'à la dynamique du cours d'eau que la production primaire en rivière nécessite d'être reliée. À cet égard, les critères de milieu ont une signification environnementale mieux appropriée à l'élaboration des stratégies de contrôle du phosphore. Toutefois, en dépit

d'un intérêt théorique certain, l'utilisation de critères de milieu pour le phosphore demeure, à l'heure actuelle, une approche encore imparfaite, assujettie à des incertitudes. Les relations entre la production primaire et les conditions nutritives dans les systèmes-rivières sont complexes. L'état des connaissances sur cette question est incomplet si bien que l'utilisation de critères de milieu peut également avoir une signification limitée.

Une variation importante des deux scénarios présentés au tableau 1.2 consiste à effectuer le contrôle du phosphore sur une base saisonnière. Sous les conditions climatiques du Québec, la production primaire des cours d'eaux s'effectue sur une période de cinq mois, comprise entre juin et octobre. En restreignant le contrôle du phosphore à cette période, des économies considérables pourraient être réalisées par une réduction des quantités de produits chimiques consommés. Cependant, une telle stratégie est fortement assujettie à plusieurs hypothèses concernant la dynamique du phosphore en rivière, notamment le transport, l'accumulation dans le lit du cours d'eau, le relâchement par les sédiments, l'exportation en périodes de crues et les relations spéciation-disponibilité. (Sebetich et al., 1984; Pineau et al., 1983; Rigler, 1979).

2.2 Contrôle de la DBO et Oxygène dissous

Dès le début de la section 2.0, nous avons introduit le fait que les systèmes de traitement sont généralement conçus en fonction de certaines normes d'effluent sur la DBO. Vis-à-vis du milieu récepteur, l'oxygène

TABLEAU 1.2
ESTIMATION PRÉLIMINAIRE DES COÛTS
DE CONTRÔLE DU PHOSPHORE DANS LE BASSIN DE LA RIVIÈRE YAMASKA

OBJECTIFS DE TRAITEMENT	STRATÉGIE	COÛTS ESTIMÉS ¹
Satisfaire un objectif de 1 mg P _t /l dans l'effluent traité - toutes les municipalités.	Précipitation physico-chimique à l'alun à la suite du traitement biologique; toutes les municipalités du bassin.	\$3,2 millions/an
Respecter un critère de milieu en rivière de 0.1 mg P _t /l en fonction des conditions hydrologiques critiques considérées, de la dynamique de transport de P et de l'allocation des charges le long du cours d'eau.	Précipitation physico-chimique à l'alun à la suite du traitement biologique; le critère peut être satisfait en limitant le contrôle du phosphore à certaines municipalités du bassin et selon le type de sources (industrielles ou domestiques).	\$2,3 millions/an
Mêmes que précédemment	Mêmes que précédemment, excepté que le contrôle de P est effectué sur une base saisonnière seulement.	Dans les deux cas, une réduction possible de 50% des coûts ci-haut.

(1) Coûts de capital, d'opération et d'entretien, dollars canadiens 1981.

dissous conserve toutefois une signification environnementale de loin supérieure à celle de la DBO. L'oxygène dissous constitue un paramètre intégrateur de l'ensemble des facteurs qui agissent sur la qualité de l'eau (température, biodégradation, nitrification, respiration, oxydation chimique). Non seulement intègre-t-il les effets de ces facteurs, mais encore permet-il aussi d'en traduire les interactions (le système d'équations [10] à [12] le montre de façon typique). À ce titre, l'oxygène dissous aura apporté à la gestion de la qualité de l'eau en rivière, l'une de ses bases les plus importantes. Une multitude de travaux en font état (tel que déjà rapporté dans Pineau, (1980)) et certains exemples typiques en sont notamment présentés dans Rickert (1984), Wright et McDonald (1979), Hunter (1977), Walski et Curran (1976), Dobbins (1964). En dépit d'une signification environnementale élevée pour le milieu aquatique, son rôle est souvent restreint à celui d'indicateur des conditions de qualité. Or, l'oxygène dissous peut également fournir un niveau d'information supplémentaire qui est de toute première importance pour la sélection des technologies à l'intérieur d'un schéma de traitement.

Nous proposons à cet effet d'examiner le cas d'étude de la ville de Granby (cf: figure 1.1) où la charge totale en DBO de sources municipales et industrielles a été estimée à 6,804 kg/d sous un débit de conception de 50,000 m³/d (MEQ, 1984). L'usine de traitement qui a été proposée pour cette municipalité consiste dans un système aux boues activées avec précipitation physico-chimique à l'alun (Vézina, Fortier & Ass., 1982). Le

schéma de traitement n'inclut pas la filtration de l'effluent secondaire. La conception du système de traitement a été effectuée en fonction d'une norme de rejet à l'effluent secondaire de 680 kg/j en DBO, établie par le Ministère de l'Environnement; ceci correspond à une concentration d'effluent de 14 mg/l (à titre indicatif, rappelons que la norme exigée par USEPA est de 30 mg/l DBO, laquelle est une concentration moyenne soumise à certaines fréquences de non dépassement en fonction de différentes périodes).

Sur la base de ces données, le modèle QUAL II (Roesner et al., 1977) a été appliqué afin d'évaluer les conditions de qualité résultantes dans le milieu récepteur. L'évolution des concentrations en DBO et en oxygène dissous a été simulée dans le cours d'eau récepteur sur un tronçon de 20 km, compris entre Granby, le point de déversement, et la confluence de ce tronçon avec la rivière Yamaska-Centre (cf: carte de la figure 1.1). Les simulations de qualité ont été effectuées en tenant compte de la réaération physique, de la biodégradation et de la nitrification. Notons par ailleurs que l'effet de la production primaire sur le bilan de l'oxygène dissous a été négligé dans ces simulations puisque durant la période considérée, la présence de populations massives d'algues et de plantes aquatiques n'a pas été observée sur ce tronçon particulier du cours d'eau. Pour cette application, le modèle a été calibré à partir de données recueillies sur ce tronçon au cours de l'été 1983. La calibration et la détermination des paramètres du modèle sont présentées par Boudreault (1985).

Les résultats des simulations sont présentés à la figure 1.2. Dans un premier cas, le profil des concentrations en oxygène dissous a été simulé dans l'hypothèse d'un effluent secondaire non nitrifié. Les concentrations d'azote ammoniacal ont été estimées par un échantillonnage in-situ des eaux usées qui sont actuellement déversées sans traitement par la ville de Granby (Boudreault, 1985). Sous ces conditions, on constate à la figure 1.2a que l'oxygène dissous subit un déficit marqué par rapport à un standard de référence de 4 mg/l, recommandé pour maintenir des conditions générales de qualité dans un cours d'eau (Beak Consultants Ltd, 1980). Bien que l'usine de traitement proposée permette de satisfaire une norme d'effluent en DBO, les résultats obtenus révèlent que cette solution technique demeure insuffisante en regard des objectifs de qualité souhaitable pour le tronçon récepteur.

Dans un deuxième cas, les profils d'oxygène dissous ont été simulés en assumant un effluent secondaire nitrifié. Les résultats obtenus peuvent être comparés aux précédents sur la figure 1.2a. De toute évidence, ces résultats démontrent l'importance des charges en azote ammoniacal et de la nitrification sur les conditions de qualité du tronçon récepteur. L'utilisation d'un critère de milieu en oxygène dissous permet donc d'introduire le contrôle de l'azote ammoniacal comme un facteur supplémentaire majeur de la sélection des technologies de traitement (i.e. composition de la chaîne de traitement, types de procédés et conception).

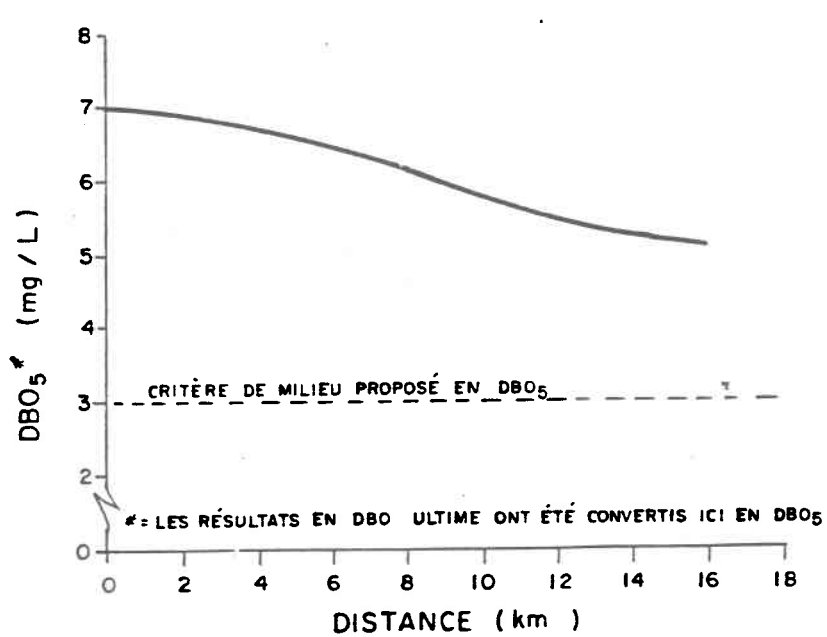
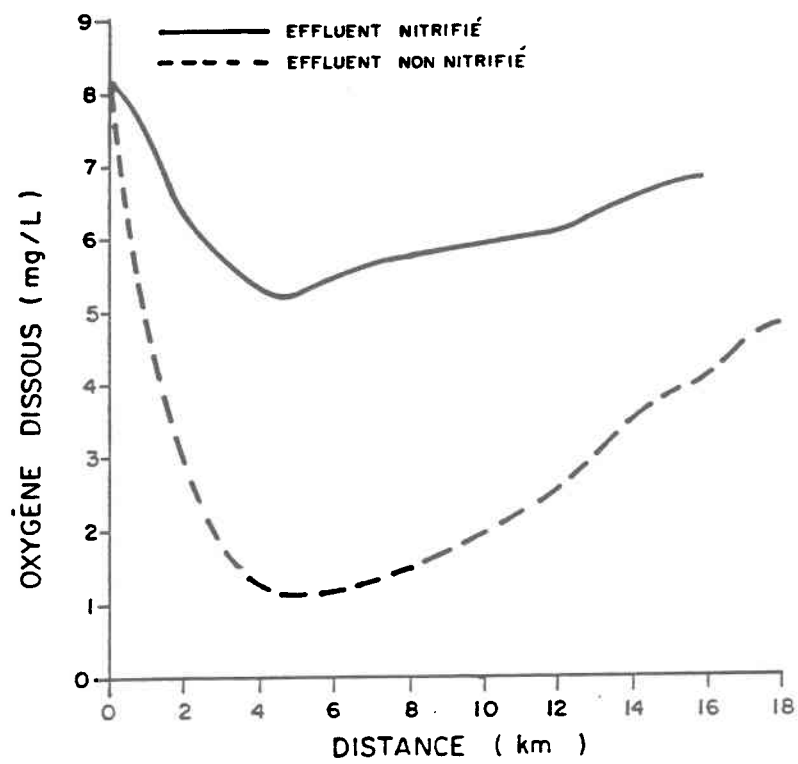


Figure 1.2: Simulations des conditions de qualité dans le tronçon récepteur en aval de Granby

Un autre point de discussion doit être soulevé à la suite de ces résultats. Pour le cas de Granby, le ministère de l'Environnement recommande aussi que le traitement secondaire permette de maintenir dans le milieu récepteur une concentration en DBO inférieure à 3 mg/l (MEQ, 1984). Notons dans un premier temps, que l'utilisation d'un critère de milieu en DBO est inusitée. Ensuite, il est clair d'après la figure 1.2b que, compte tenu de l'efficacité de conception du système secondaire (680 kg/j DBO), un tel critère ne peut être respecté. Ceci pose donc une question de fond. D'une part, une norme en oxygène dissous peut être respectée mais, d'autre part, le critère de milieu en DBO suggéré par le Ministère n'est pas satisfait. Si ce dernier devait prévaloir, il pourrait être satisfait par une filtration de l'effluent secondaire, d'où un choix technologique directement associé à la norme choisie. Cette solution représente par ailleurs un coût de traitement additionnel important, dû à l'investissement en capital et à l'exploitation du procédé de filtration.

Cette analyse conduit à dégager trois solutions d'assainissement possibles et applicables pour la ville de Granby: (1) traitement secondaire, (2) traitement secondaire avec nitrification et (3) traitement secondaire avec filtration. Tel que précédemment avec le cas du contrôle du phosphore, on constate que la sélection de l'une ou l'autre de ces solutions techniques est directement reliée aux objectifs de qualité, aux normes qui les traduisent et à la relation de ces normes avec la sensibilité et la dynamique du milieu récepteur.

3. LE SYSTÈME RIVIÈRE ET LES INTERACTIONS ENTRE LES POINTS DE REJET

Le fait que la rivière Yamaska relie entre eux tous les points de rejet du bassin constitue un deuxième facteur déterminant de la sélection des solutions d'assainissement.

Pour chaque point de rejet du bassin, le cours d'eau récepteur établit des conditions initiales qui résultent (1) des décisions de traitement appliquées en amont et (2) des apports par les tributaires qui confluent au cours d'eau principal en amont d'un point de rejet donné. Ces conditions initiales interviennent ensuite comme facteurs déterminants de la sélection et de conception.

À titre d'exemple, considérons la ville de Granby qui est située en tête de bassin (cf: Figure 1.1). La municipalité suivante est Farnham, localisée 30 km en aval de Granby. À Granby, l'usine d'épuration proposée rejettera une charge après traitement de 680 kg/j en DBO, qui sera en partie biodégradable et en partie transportée jusqu'à Farnham, le point de rejet suivant. À titre indicatif, une application simple du modèle QUAL-II pour simuler le transport et la biodégradation de la DBO sur ce tronçon permet d'estimer à 500 kg/j la charge en DBO qui sera transportée jusqu'à Farnham après auto-épuration par la rivière (les simulations ont été effectuées pour des conditions de température d'été).

Quant à la ville de Farnham, l'usine d'épuration proposée est similaire à celle de Granby et consiste en un système aux boues activées avec précipitation physico-chimique à l'alun (MEQ, 1984). L'efficacité de conception du système est de 90%, ce qui représente une charge après traitement de 150 kg/j en DBO déversée par l'effluent secondaire (MEQ, 1984). Compte tenu de cette charge, et compte tenu de celle en provenance de Granby, quelles seront, dès lors, les conditions de qualité résultantes en aval de ce deuxième point de rejet? Selon les conditions critiques considérées et selon les normes retenues, d'importantes implications peuvent résulter en termes de coût de traitement et de choix technologiques. Est-ce qu'un degré de traitement plus élevé doit être requis à Farnham? La nitrification et/ou la filtration doivent-elles être prévues dans la conception de la chaîne de traitement afin d'assurer, en aval, des conditions satisfaisantes en oxygène dissous? De façon similaire pour le contrôle du phosphore, quel est le degré d'abattement nécessaire à Farnham étant donné les conditions de traitement des villes en amont (ce qui fut précisément montré à la section précédente)?

De la même façon, les solutions de traitement appliquées à Granby et Farnham définiront des conditions initiales au troisième point de rejet, qui sont les municipalités jumelles de Rougemont et St-Cézaire, à quelque 20 km en aval de Farnham (cf: figure 1). Or, ces conditions initiales contribueront à spécifier les exigences de traitement en ce troisième point de rejet.

En raison de ces interactions, qui s'exercent à travers la dynamique de transport du cours d'eau, le développement technologique et la sélection des solutions d'assainissement constituent un problème d'ingénierie qui requiert d'être traité à l'échelle du bassin, selon une approche de système et non sur une base locale.

4. TRAITEMENT CONJOINT ET SÉPARÉ

Les différentes possibilités de traitement conjoint et séparé des effluents urbains et industriels constituent un troisième facteur-clé dans la sélection des technologies de traitement. S'il faut l'explicitier clairement, alors précisons qu'un traitement séparé est défini ici comme une solution d'assainissement dans laquelle les effluents industriels sont traités séparément des effluents domestiques et selon des technologies différentes. Dans un tel cas, une usine donnée disposera donc de son propre système de traitement alors que les eaux usées municipales seront épurées par un autre système.

Le choix d'un traitement conjoint des effluents représente l'approche la plus classique. Parmi les avantages, on retient principalement les économies d'échelle que permet de réaliser la construction d'une seule usine municipale. Toutefois, dans le cas des municipalités du bassin de la rivière Yamaska, la présence d'un débit d'infiltration important conduit, le plus souvent, à un surdimensionnement des usines plutôt qu'à une véritable économie d'échelle. Le choix d'un traitement séparé permet par ailleurs

d'exploiter différentes possibilités dont peuvent résulter des avantages économiques importants. Afin de l'illustrer, nous présentons ici le cas d'étude de la municipalité de Farnham.

Le tableau 1.3 présente les charges polluantes de la municipalité de Farnham selon leur provenance urbaine et industrielle. On observe, dans ce tableau, qu'une fraction élevée (80%) de la charge polluante en DBO, SS et phosphore est concentrée dans les effluents industriels. De plus, on constate également que la charge urbaine est fortement diluée en raison de l'infiltration dans le réseau sanitaire de la municipalité. Le débit d'infiltration moyen à Farnham a été estimé à près de 4 200 m³/jour (Bodineau, 1984), ce qui représente près de 40% du débit de conception de l'usine d'épuration. Sur la base de ces conditions, différentes solutions de traitement conjoint et séparé peuvent être développées. Pour les fins de la présente analyse, nous nous limiterons aux deux possibilités suivantes.

La première consiste dans un traitement conjoint des effluents urbains et industriels. Cette solution est celle qui a été retenue par le ministère de l'Environnement. Considérant ensuite la possibilité d'un traitement séparé, une deuxième solution techniquement réalisable a été établie comme suit: (1) traitement des effluents industriels par un système aux boues activées et (2) traitement des eaux usées municipales par un système d'é-tangs aérés facultatifs. Les coûts préliminaires des deux solutions de traitement ont ensuite été estimés et comparés à l'aide du modèle CAPDET (USEPA, 1981). Les éléments de coût compris dans ces estimations, les para-

TABLEAU 1.3
CARACTÉRISTIQUES DES EAUX USÉES¹
MUNICIPALITÉ DE FARNHAM

SOURCE	DÉBIT m ³ /j	DBO (kg/j)	PHOSPHORE (kg/j)
Municipal	6 400 (60%)	278 (18%)	20.5 (40%)
Industriel	4 350 (40%)	1 252 (82%)	31.5 (60%)
TOTAL	10 750 (100%)	1 530 (100%)	51.8 (100%)

¹ Réf.: Ministère de l'Environnement du Québec, Assainissement urbain, Montréal (MEQ, 1984).

mètres de design et les données de coûts unitaires utilisées dans CAPDET sont disponibles dans une autre publication (Pineau et Villeneuve, 1984b). La description des schémas de traitement et les résultats obtenus sont présentés au tableau 1.4. Pour la solution 1 (traitement conjoint), les résultats obtenus indiquent un coût total de construction de \$5,0 millions; pour la solution 2 (traitement séparé), le coût total de construction est estimé à \$3,7 millions (dollars canadiens 1981). (On admettra pour les fins de cette analyse que les différents aspects reliés à la collection des eaux usées, au pompage ou à la localisation des sites de traitement n'aient pas été considérés.)

L'écart de 1.3 million \$ entre les coûts en capital des deux solutions de traitement a des implications importantes en termes d'analyse décisionnelle. La solution 2 (traitement séparé) permet une réduction des coûts de traitement de Farnham en exploitant la possibilité de retirer le débit d'infiltration du dimensionnement de l'usine secondaire et d'affecter les eaux usées municipales diluées à un système de plus faible investissement en capital. Dans le cas de Farnham, le débit urbain à traiter représente un coût de dimensionnement très élevé (bien qu'il ne représente que pour 20% de la charge polluante), ce qui se répercute donc aussi sur les coûts d'opération et d'entretien. À partir des simulations effectuées, les coûts d'opération et d'entretien ont été estimés à 150,000 \$/an et à 120,000 \$/an pour les solutions de traitement 1 et 2 respectivement.

TABLEAU 1.4
SOLUTIONS DE TRAITEMENT
APPLICABLES POUR LA MUNICIPALITE DE FARNHAM

COÛTS PRÉLÉMINAIRES ESTIMÉS ²			
SOLUTION DE TRAITEMENT	DESCRIPTION DU SCHÉMA DE TRAITEMENT ¹	CAPITAL (\$ MILLIONS)	O & M (\$ MILLIONS/AN)
Conjoint (Municipal + Industriel)	PRELIM-EXTEND-ASECO-AEROBI	5.0	0.15
Séparé	Industriel - PRIMAR-EXTEND-ASECO-AEROBI	3.7	0.12
	Municipal - AERA		

- ¹ Abréviation des procédés
 PRELIM: Dégrillage - déssablage
 PRIMAR: Décantation primaire
 EXTEND: Boues activées aération prolongée
 ASECO : Décantation secondaire
 AERA : Étangs aérés facultatifs
 AEROBI: Digestion aérobie.

- ² Dollars canadiens 1981.

Au niveau du contrôle du phosphore, la solution 2 présente également la possibilité de limiter le dosage de coagulant. En effet, dans le cas d'un traitement conjoint des effluents à Farnham, le dosage de coagulant pour l'enlèvement du phosphore devra être appliqué au débit total de cette municipalité, soit 10 700 m³/jour. Or, on constate au tableau 1.3 que près de 60% de la charge en phosphore est concentrée dans un débit beaucoup plus faible de 4 400 m³/jour, soit le débit industriel. Par un traitement séparé, il devient possible d'effectuer le contrôle du phosphore uniquement sur les effluents industriels et de limiter ainsi le dosage de l'alun à seulement 40% du débit total. En termes de consommation de produits chimiques et de coûts d'opération et d'entretien, cette solution présente aussi un avantage économique (non évalué ici.)

Évidemment, plusieurs autres possibilités de traitement conjoint et séparé peuvent être développées pour la municipalité de Farnham et différents exemples en sont donnés dans Pineau et Villeneuve (1984a). Dans la planification d'un programme d'assainissement, ces possibilités de traitement conjoint et séparé requièrent d'être considérées parce qu'elles permettent d'adapter la conception et la sélection des technologies (1) aux caractéristiques de charge et de débits des eaux usées, (2) à la sensibilité et à la dynamique de milieu récepteur et (3) aux interactions entre les points de rejets.

5. COMPLEXITÉ DE LA SÉLECTION ET LE BESOIN D'OUTILS D'OPTIMISATION

En utilisant quelques cas d'études, nous avons développé le rôle et l'importance de trois facteurs dans la sélection des technologies de traitement des eaux usées. De plus, nous avons également fait ressortir les implications économiques qui leur sont associées. Ces facteurs étaient (1) les normes, en relation avec la sensibilité et la dynamique du milieu récepteur, (2) les interactions entre les points de rejets dues au système rivière et (3) les différentes possibilités de traitement conjoint et séparé des effluents urbains et industriels.

Pour les besoins de notre analyse, chacun de ces facteurs fut discuté isolément. Cependant, il est clair qu'ils sont étroitement reliés et qu'ils interagissent, de sorte que l'élaboration et la sélection des solutions d'assainissement relèvent fondamentalement d'une analyse de système à l'échelle du bassin, plutôt que d'une approche de cas par cas.

L'intégration de ces trois facteurs donne lieu à une analyse hautement complexe. Sur une base locale - c'est-à-dire pour une municipalité donnée du bassin - une telle analyse conduit déjà à développer un certain nombre de solutions de traitement techniquement réalisables. Mais lorsqu'elle se pose à l'échelle de tout le bassin, le domaine des solutions applicables comprend alors une multitude de scénarios d'assainissement. À titre d'exemple, on peut montrer qu'il existe au moins 4 solutions de traitement de base qui sont applicables à chacune des neuf municipalités principales du bassin de

la rivière Yamaska. Dès lors, il existe au moins 250 000 (4^9) scénarios d'assainissement réalisables à l'échelle du bassin. Devant le nombre et la complexité de ces possibilités, le développement d'un modèle d'optimisation (modèle de bassin couplé à un algorithme d'optimisation) devient un outil de planification indispensable à l'objectif de minimiser le coût global de l'assainissement des eaux.

CHAPITRE II

LES MODÈLES D'OPTIMISATION
DANS LA GESTION DES RESSOURCES EN EAU

1. APPLICATIONS DES MODÈLES D'OPTIMISATION - REVUE DE LITTÉRATURE

Les principes et les techniques mathématiques d'optimisation ont des applications importantes dans deux grandes catégories de problèmes de gestion des ressources en eau: l'approvisionnement en eau potable et le traitement des eaux usées.

L'approvisionnement et la distribution d'eau constituent un premier type de problème d'une importance capitale pour le développement de nombreuses cités. C'est le cas, notamment aux États-Unis, dans les états de Californie, de l'Utah, d'Arizona et du Texas. Pour répondre à l'intensification de l'urbanisation, de l'industrialisation et de l'agriculture (irrigation), ces cités doivent, dès aujourd'hui, augmenter leur capacité d'approvisionnement en eau. Plusieurs possibilités de solutions s'offrent à elles: construire de nouvelles usines de traitement d'eau potable, agrandir les usines existantes, construire de nouvelles usines d'épuration permettant le recyclage des eaux usées, optimiser la localisation des usines pour réduire les coûts d'adduction, accroître l'importation d'eau, etc. Utilisant le cas de Salt Lake City (Utah), Bishop et Narayanan (1977) présentent une description générale type de ce genre de problème:

1. Pour une période donnée, on connaît la demande en eau de différentes catégories d'utilisateurs (e.g. municipal, industriel et agricole (irrigation)).

2. Diverses sources d'approvisionnement sont envisageables, chacune ayant des limites de disponibilité: cours d'eau, eau importée et eau souterraine (laquelle peut être utilisée avec ou sans traitement, selon l'usage auquel elle est destinée).
3. De plus, on inclut comme autre source d'approvisionnement la possibilité de réutiliser (i.e. recycler) les effluents des usines d'épuration pour l'irrigation, l'industrie et même pour les besoins d'alimentation en eau potable des municipalités.
4. Le système existant comprend des usines de filtration (traitement d'eau potable) et une usine d'épuration des eaux usées.
5. Quatre nouvelles usines d'épuration peuvent être construites correspondant à quatre niveaux de traitement. Selon le niveau de traitement, différentes possibilités de recyclage peuvent alors être considérées afin de réduire la demande en eau brute et/ou de minimiser le traitement des eaux usées. Ainsi, l'usine de niveau 4 offre la possibilité de réutiliser directement les effluents pour un usage municipal; l'usine de niveau 3 permet de réutiliser les effluents pour usage industriel et comme source d'approvisionnement pour l'usine de filtration; l'usine de niveau 2 peut satisfaire la demande de l'irrigation et de l'industrie alors que l'usine de niveau 1 permet seulement de répondre aux besoins de l'irrigation.

6. Compte tenu (1) des disponibilités des sources d'eau brute, (2) des coûts pour obtenir cette eau, (3) de la demande et des exigences de qualité, (4) des coûts de filtration, (5) des coûts de traitement des eaux usées, (6) des coûts d'adduction et (7) des possibilités de recyclage à l'intérieur du sous-système des utilisateurs, il s'agit, dès lors, d'établir en fonction de ces variables un scénario d'approvisionnement qui minimise les coûts.

Des problèmes similaires (sources / utilisateurs / traitement / distribution / recyclage) ont été présentés par Pingry et Shaftel (1979), Ocanas et Mays (1981a, 1981b), Schwartz et Mays (1983) et Louie et al. (1984). Pour tous ces types de problèmes, l'objectif de l'optimisation est de rechercher une solution distribution-traitement-recyclage qui minimise le coût global de l'approvisionnement en eau.

Le traitement des eaux usées constitue un deuxième type de problème pour lequel des modèles d'optimisation ont été développés. Brill et Nakamura (1978) ont traité de cet aspect avec le cas d'un problème de localisation des usines d'épuration. Pour ce type de problème, la sélection du système de traitement est préétablie. Dès lors, compte tenu des coûts d'interception et de traitement des eaux usées de plusieurs municipalités d'une communauté urbaine, l'objectif est d'établir la localisation, soit d'une usine régionale, soit de plusieurs usines semi-régionales, d'une façon telle que le coût global de l'assainissement soit minimal. Mentionnons qu'il existe actuellement au Québec de nombreux exemples de problèmes en tous

points similaires à celui-ci et dont l'analyse par les firmes de consultants auraient dû nécessiter le développement et l'application de modèles d'optimisation. Le cas des 6 municipalités du Haut de la Chaudière (St-Nicolas, Bernières, Charny, St-Jean-Chrysostome, St-Romuald, St-Rédempteur) en est un exemple éloquent (BPR Consultants, 1984). Une autre application, dans le domaine des eaux usées, est présentée par Kansakar et Polprasert (1983). Ces auteurs se sont également intéressés au problème de la localisation des usines d'épuration, mais en tenant compte de trois autres facteurs additionnels. Outre les tracés d'interception des eaux usées, ils incluent aussi les sites d'enfouissement des boues, les sites d'épandages des boues et les tracés de transport des boues vers ces sites. L'utilisation d'une fonction multi-objectif constitue aussi une particularité importante dans le cas de ce modèle. Ici, l'optimisation vise à résoudre le problème de localisation en minimisant simultanément (1) les coûts, (2) l'impact sur la qualité de l'eau et (3) l'utilisation de l'espace pour l'élimination des boues.

La diversité de ces problèmes a donné lieu au développement de nombreux modèles d'optimisation, tous très différents soit par leur approche de modélisation, soit par leurs fonctions-objectif, soit par le type et la formulation mathématique de leurs contraintes, soit par les techniques de solution utilisées. Le but du présent chapitre est: (1) de présenter une revue et une discussion des caractéristiques principales de différents modèles d'optimisation et (2) d'utiliser cette analyse comme base pour introduire et

développer les éléments-clés d'un modèle d'optimisation applicable à l'assainissement des eaux dans le bassin de la rivière Yamaska.

2.0 CRITIQUE DES MODELES

Le tableau 2.1 résume les principales caractéristiques de différents modèles d'optimisation dont on présente une étude détaillée à l'annexe I. Les résultats de cette revue nous amènent, en premier lieu, à mettre en évidence que le principe d'économie d'échelle est fondamental dans l'optimisation des systèmes de ressources en eau. Pour plusieurs auteurs, la représentation adéquate de l'économie d'échelle constitue une préoccupation centrale dans l'élaboration d'un modèle d'optimisation. L'économie d'échelle se traduit par des fonctions-coûts non linéaires concaves. De ce fait, elle confère à tous les modèles d'optimisation une caractéristique intrinsèque de non-linéarité qui doit conduire, en conséquence, au choix d'une technique de programmation non linéaire. Pour contourner l'obligation d'utiliser la programmation non-linéaire, tout en respectant l'économie d'échelle qui agit sur les décisions dans le système, certains auteurs ont proposé d'approximer les fonctions-coûts concaves par sections linéaires ("piecewise linearization) (Brill et Nakamura, 1978; Nakamura et al. 1981; Bishop et Narayanan, 1977). Par ailleurs, pour les besoins de modèles multi-objectifs dont les techniques de solution sont développées en programmation linéaire (e.g. "goal programming method", "constraint linear programming method"), d'autres auteurs ont dû se rendre au compromis d'ac-

Tableau 2.1
Caractéristiques des modèles d'optimisation

	BISHOP et NARAYAMAN (1977)	PINGRY et SHAFTEL (1979)	OCANAS et MAYS (1981a, 1981b)	SCHWARTZ & MAYS (1983)	KANSAKAR et POLPRASERT(1983)	BRILL et NAKAMURA (1978) NAKAMURA et al. 1981
TYPE DE PROBLEME	· Approvisionnement en eau.	· Approvisionnement en eau	· Approvisionnement en eau	· Traitement des eaux usées	· Localisation des usines d'épuration	· Localisation des usines d'épuration
SYSTEME MODELISE	[sources-traitement-distribution-utilisateurs-épurateur-recyclage]	[sources-traitement-distribution-utilisateurs-épurateur-recyclage]	[sources-traitement-distribution-utilisateurs-épurateur-recyclage]	[épurateur-recyclage]	[épurateur- élimination des boues-milieu récepteur]	[interception- épurateur]
CONTRAINTES DE QUALITE	· Pas de contraintes de qualité · qualité est prise en compte de façon implicite par assignation d'usages	· Contraintes de qualité explicites · Type: normes d'effluent	· Contraintes de qualité explicites · Type: unités d'impact sur le milieu récepteur	· Contraintes de qualité explicites · Type: normes d'effluents	· Contraintes de qualité explicites · Type: normes d'effluent	· Pas de contraintes de qualité · On s'intéresse uniquement à la localisation des usines
USINES DE TRAITEMENT eaux d'alimentation / eaux usées	· procédés non spécifiés · 4 types d'usines d'épuration sont considérés et définis par niveaux de traitement: I, II, III et IV	· procédés non spécifiés · 2 type d'usines d'épuration sont considérés pour fins d'application	· procédés non spécifiés · 2 types d'usine d'épuration et 1 type d'usine de filtration sont considérés	· types de chaînes de traitement sont définies · niveau de définition: traitement secondaire et traitement tertiaire.	· procédés non spécifiés · pour l'application, on considère 1 seul type d'usine.	· procédés non spécifiés · le modèle considère un seul type d'usine.
EFFICACITE DES USINES DE TRAITEMENT	· n'est pas une variable explicite du modèle. · l'efficacité d'une usine est prise en compte de façon implicite par assignation d'usages.	· efficacité exprimée par une contrainte d'inégalité (<). en mg/l.	· est une donnée d'entrée du modèle en % de réduction de la concentration initiale.	· est une donnée d'entrée du modèle en % de réduction de la concentration initiale.	· est une donnée d'entrée du modèle en % de conversion des polluants en boues.	· Ne s'applique pas
TYPES DE POLLUANTS	· Aucun	· Modèle développé pour n polluants · Aucun polluant n'est précisé · Dans l'application, 1 seul polluant est considéré et il n'est pas identifié	· Modèle développé pour n polluants · Aucun polluant n'est toutefois précisé · Dans l'application, 1 seul polluant est considéré: DBO	· Modèle développé pour n polluants · Aucun polluant n'est toutefois précisé · Dans l'application, 1 seul polluant est considéré: DBO	· Modèle développé pour n polluants · Aucun polluant n'est identifié	· Ne s'applique pas
ECHELLE DE TEMPS	· période de planification unique (e.g. 20 ans, 25 ans).	· période de planification unique (e.g. 20 ans, 25 ans).	· modèle multipériode	· année, soit les 1 années d'une période de planification p	· période de planification unique (e.g. 20 ans, 25 ans).	· période de planification unique (e.g. 20 ans, 25 ans).
TACHE DU MODELE	· déterminer un schéma de distribution. · déterminer le dimensionnement des usines de traitement à construire. · pas de sélection des procédés.	· déterminer un schéma de distribution. · déterminer le dimensionnement des usines de traitement à construire. · pas de sélection de procédés	· déterminer un schéma de distribution. · déterminer l'expansion des usines de traitement existantes · déterminer le dimensionnement des usines à construire. · pas de sélection de sélection de traitement	· sélectionner des scénarios de traitement pré-établis à l'intérieur d'un scénario, déterminer quand construire une usine, déterminer le dimensionnement ou l'expansion, déterminer l'addition ou non d'un traitement tertiaire.	· déterminer un schéma de collection des eaux usées et de transport des boues. · localiser les usines d'épuration et les sites d'élimination des boues.	· déterminer s'il faut 1 usine régionale ou plusieurs usines semi-régionales. · déterminer la localisation, le dimensionnement et le schéma d'interception.
FUNCTION OBJECTIVE	· Minimise Coût · Approximation linéaire par sections des fonctions-coût non linéaires	· Minimise Coût · Fonctions hypothétiques	· Minimise Coût · Fonctions-coûts non linéaires	· Minimise Coût · Fonctions-coûts non linéaires	· Fonction multi-objective · Min coût (capital) · Min impacts qualité. · Min utilisation Espace · Fonctions-coûts linéaires	· Minimise coût · Approximation linéaire par sections des fonctions-coûts
VARIABLES DE DECISION	· débit	· débit et qualité	· débit, qualité et capacité	· débit et une variable Dr qui représente choix d'un scénario.	· di, déviation sur l'objectif i	· débit et capacité
TECHNIQUE DE SOLUTION	· Programmation linéaire · Méthode du simplex	· Méthode du simplex convexe	· Programmation non linéaire · Gradient réduit généralisé	· Programmation dynamique	· Programmation linéaire. · "goal programming"	· Programmation linéaire · Out-of-kilter algorithme
APPLICATION	· Problème réel; Salt Lake County, Utah.	· Application théorique	· Problème réel; San Antonio, Texas	· Problème réel; San Antonio, Texas	· Application théorique	· Application théorique

cepter des structures de coûts linéaires (Kansakar et Polprasert, 1983; Louie et al., 1984).

Deuxièmement, cette revue a permis de constater que le développement d'un modèle d'optimisation est intimement lié à la façon dont le problème est posé, c'est-à-dire aux éléments du système que l'on juge importants de considérer (e.g. les boues, les sources, le milieu récepteur, le recyclage, etc.), les objectifs que l'on fixe (e.g. objectif simple vs objectif multiple), les types de coûts que l'on choisit d'inclure, l'échelle de temps que l'on retient (e.g. modèle de Schwartz), etc. Dès lors, ce qui peut paraître une faiblesse dans un modèle donné ne l'est pas nécessairement pour un autre, compte tenu précisément du système qu'il représente, des objectifs, du niveau de résolution désiré, etc. Partant, on peut évoquer que l'évaluation des approches de modélisation qui sont proposées ne peut se faire indépendamment du type de problème considéré.

Nonobstant ces réserves, nous devons reconnaître ici qu'il existe deux points majeurs de discussion, valables pour l'ensemble de ces modèles. Il s'agit (1) des types de polluants et (2) des usines de traitement. Au coeur de tous les modèles d'optimisation développés pour la gestion des ressources en eau se trouvent ces deux éléments qui sont, de fait, les pièces maîtresses de la conception des modèles. Les types de polluants sont l'objet premier des contraintes de qualité. Celles-ci délimitent le domaine des solutions possibles, précisément parce qu'elles expriment les conditions qu'il faut satisfaire (exigences de qualité des utilisateurs, normes d'effluent)

pour qu'une solution soit d'abord possible. Quant aux usines de traitement (usines de filtration et d'épuration), c'est l'existence même des solutions possibles qui est déterminée par elles. C'est de l'efficacité des usines de traitement que dépend le respect des contraintes, et c'est à la composition de leur chaîne de procédés qu'est reliée cette efficacité; c'est aussi de la composition des chaînes de traitement que proviennent les coûts, lesquels sont à la base des décisions qui mènent à une solution optimale.

En dépit du caractère fondamental de ces deux éléments, leur représentation dans les modèles d'optimisation demeure faible à différents égards, tel que nous le montrerons dans les sections qui suivent.

2.1 TYPE DE POLLUANTS

Dans la plupart des modèles d'optimisation, on prétend que plusieurs polluants peuvent, en théorie, être considérés. En pratique, toutefois, on observe que le rôle et l'importance des polluants sont plutôt négligés. Dans plusieurs modèles, les polluants ne sont identifiés d'aucune façon, ni dans leur développement théorique, ni dans leur application; en d'autres cas, l'application du modèle est limitée à un seul polluant.

Ainsi, Bishop et Narayanan (1977) ne considèrent aucun polluant; Pingry et Shaftel (1979), Schwartz et Mays (1983), Kansakar et Polprasert (1983) ont développé des modèles à n polluants mais n'en considèrent qu'un seul dans leur application et encore est-il non identifié; Ocanas et Mays (1981a, 1981b) proposent aussi un modèle à n polluants et n'en considèrent

qu'un seul dans leur application, soit la DBO; de la même façon, Louie et al. (1984) considèrent un seul polluant, cette fois les solides dissous.

De façon générale, pour la modélisation d'un système [sources-filtration-distribution-utilisateurs-épuration-recyclage-milieu récepteur], il est fondamentalement inadéquat d'établir une solution optimale sur la base de polluants non identifiés, pas plus qu'il ne l'est de ramener l'optimisation à un seul polluant spécifié. Prenons le cas de la DBO. Ce polluant est une contrainte pertinente en regard du traitement des eaux usées et de leur déversement en milieu aquatique, mais sa valeur de contrainte est faible, ou sans signification, pour les autres éléments du système. Par exemple, la DBO n'est pas une contrainte significative pour une eau destinée à être réutilisée comme eau de refroidissement d'une usine thermique. Les exigences de qualité pour cet usage concernent d'abord et avant tout des paramètres tels la dureté, les solides dissous, le pH. Inversement, dans le cas des effluents d'une usine thermique, ce sera davantage la température de l'eau que la DBO qui deviendra une contrainte importante pour le rejet en milieu récepteur (Edinger et al., 1974). Pour les usages municipaux, les contraintes critiques mettent en cause les paramètres dureté, coliformes, solides en suspension, fer; pour l'irrigation, les métaux traces sont une contrainte importante en raison de leur potentiel de toxicité pour les sols.

En somme, on constate que les contraintes de qualité n'impliquent pas les mêmes polluants d'un élément à l'autre du système. Pour un même élément du système, on constate que les contraintes de qualité peuvent aussi ne pas

impliquer les mêmes polluants selon qu'on se place à l'entrée ou à la sortie de cet élément. Exemple, une usine thermique: à l'entrée, la contrainte porte sur les solides dissous et à la sortie, la contrainte portera sur la température, s'il y a déversement en rivière.

Les implications du type de polluant se posent de façon plus critique encore au niveau des usines de traitement (filtration/épuration). Toutes les usines de traitement ne permettent pas d'agir sur les mêmes polluants et toutes n'ont pas les mêmes efficacités sur un polluant donné. Ainsi, un système d'épuration secondaire conventionnel permet de réduire la DBO, mais n'a qu'une faible efficacité sur le phosphore; un système secondaire avec addition d'alun au décanteur permet de réduire efficacement la DBO et le phosphore, mais n'a qu'une faible efficacité sur l'azote ammoniacal. Or, il est clair que, dans un modèle d'optimisation, c'est sur la base de l'efficacité du système de traitement que s'effectue le respect des contraintes sur un polluant donné. De là toute l'importance de définir le type de polluant, non seulement pour imposer une contrainte adéquate et compatible avec un usage donné, mais encore pour permettre au modèle de reconnaître le type de système et le degré de traitement nécessaire pour satisfaire cette contrainte.

En corollaire de ce qui précède, le type de polluant est en relation implicite avec les coûts des usines de traitement. Par exemple, la DBO est le facteur premier de la conception et de la composition des usines d'épuration, donc aussi de leurs coûts. Par contre, elle n'est pas un facteur

significatif dans le cas des usines de traitement d'eau potable pour lesquelles les facteurs de conception et de coûts qui interviennent sont davantage reliés à des paramètres tels que les coliformes, la couleur, la dureté, les solides en suspension, le fer ou le manganèse.

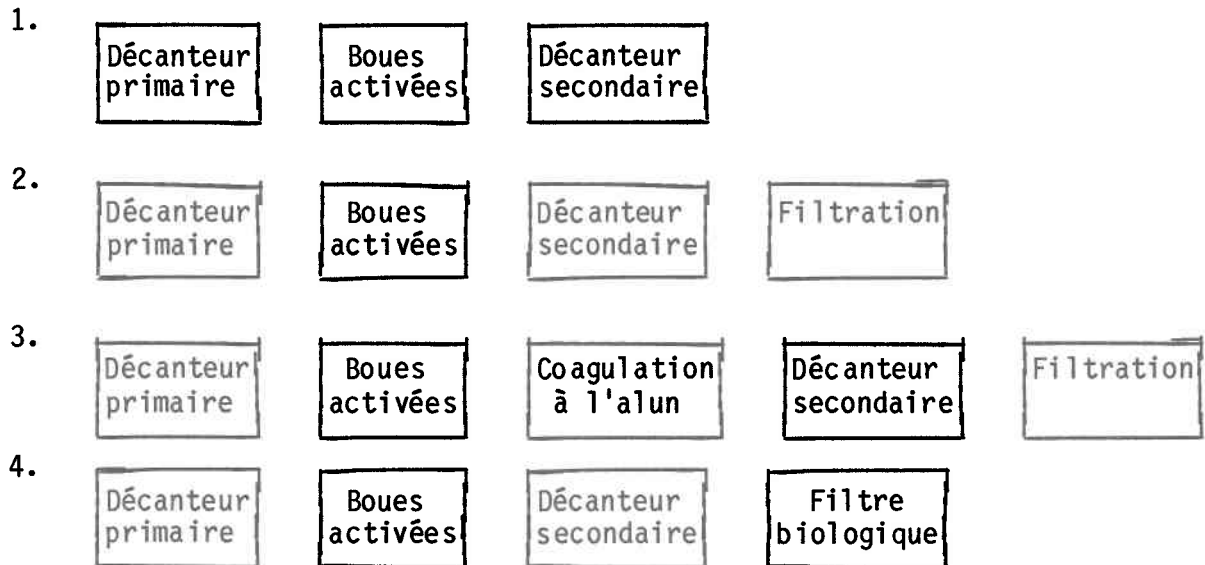
Le fait de réduire l'optimisation à un polluant unique constitue donc une simplification considérable du système modélisé. La solution obtenue sur la base d'une telle simplification comporte alors d'importantes limitations.

2.2 REPRÉSENTATION DE L'EFFICACITÉ DES USINES DE TRAITEMENT DANS LES MODÈLES D'OPTIMISATION

Efficacité / type de polluant

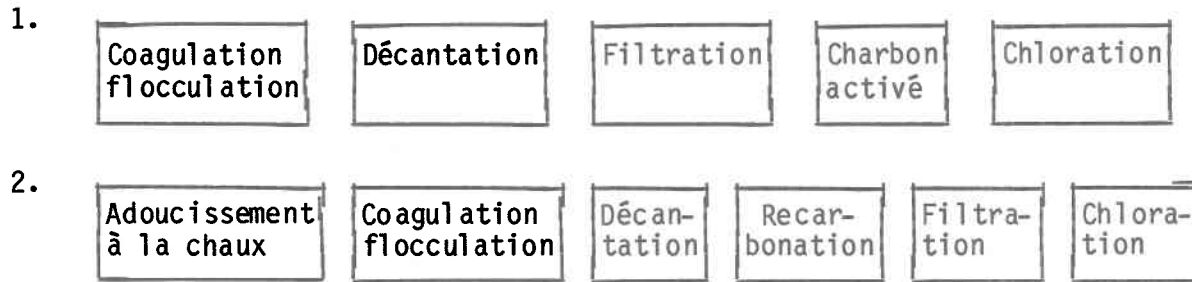
Une première condition nécessaire pour pouvoir considérer n polluants dans un modèle d'optimisation est de respecter un niveau de définition des usines de traitement qui doit être plus élevé que celui auquel s'en tiennent les modèles présentés au tableau 2.1. Comme nous l'avons déjà mentionné, toutes les usines de traitement ne permettent pas d'agir sur les mêmes polluants et toutes n'ont pas les mêmes efficacités sur un polluant donné. En conséquence, un modèle d'optimisation pourra considérer n polluants si et seulement si plusieurs types de chaînes de traitement sont définies quant à leur composition et leurs procédés.

À titre d'exemple, considérons les quatre chaînes de traitement d'eaux usées suivantes (nous admettons pour l'instant de négliger les lignes de traitement de boues):



Les systèmes [2] et [3] ont une efficacité supérieure au système [1] pour la réduction de la DBO; les systèmes [1], [2] et [4] n'ont, en pratique, qu'une efficacité négligeable pour la réduction du phosphore alors que c'est principalement le système [4] qui peut produire un effluent hautement nitrifié (réduction de l'azote ammoniacal).

La relation efficacité / type de polluant se posera en des termes tout autre si l'on considère cette fois des usines de traitement d'eau potable. À cet effet, considérons les deux chaînes suivantes (Roberts, 1983).



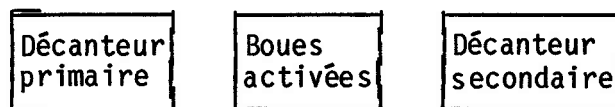
Les usines de traitement d'eau potable sont fondamentalement des systèmes différents de ceux destinés à l'épuration des eaux usées, notamment par leurs but et par la composition des chaînes de traitement. Nonobstant la complexité de l'analyse de procédé qui doit présider à la conception de ces systèmes, on retiendra que les chaînes [1] et [2] permettent également d'effectuer un contrôle efficace des solides en suspension, des bactéries et de la turbidité. Toutefois, la chaîne [2] permet de réduire la dureté alors que la chaîne [1] assure un plus grand contrôle sur la couleur et les composés toxiques organiques.

Donc, s'il doit exister une adéquation entre le type de polluant, les contraintes et les usages (incluant le rejet en milieu récepteur), la même adéquation doit également être maintenue au niveau des systèmes de traitement, qui eux ont précisément pour but de satisfaire ces contraintes. Au niveau de la conception d'un modèle, ceci requiert donc une définition technologique précise de plusieurs chaînes de traitement.

Représentation de l'efficacité par l'utilisation d'une contrainte

Pingry et Shaftel (1979) proposent de spécifier l'efficacité d'une usine de traitement j par la voie d'une contrainte d'inégalité (cf. équation I.9 et I.10, Annexe I). Ainsi, la concentration d'un polluant k à la sortie de l'usine de traitement doit être plus petite ou, au plus, égale à une concentration maximale correspondant à la limite d'efficacité de cette usine sur le polluant k considéré.

Dans l'application de ce modèle, aucun polluant n'est spécifié. Dès lors, considérons le cas de la DBO et examinons les implications qui résultent de cette approche. Ainsi, pour une usine d'épuration j , l'approche des auteurs permet que la concentration de l'effluent en DBO puisse être comprise, par exemple, entre 0 et 20 mg/l. Or, techniquement, ce registre d'efficacité ne peut être réalisé par un seul et même type de système de traitement. Une concentration d'effluent de 20 mg/l en DBO totale peut être établie par design pour un système secondaire conventionnel tel que ci-après:



Cependant, une efficacité de 10 mg/l et moins devra nécessiter une chaîne de traitement avec filtration:



Comme le respect des contraintes de qualité dépend du niveau d'efficacité d'une usine d'épuration, on constate qu'il devient nécessaire de spécifier cette efficacité par les valeurs réelles que permet sa conception technique et son schéma de procédés. Autrement, on autorise le modèle à satisfaire des contraintes avec des usines de traitement qui, dans les faits, ne correspondent pas au choix technologique qui permettrait de les satisfaire.

On constate, deuxièmement, que les auteurs utilisent ensuite cette efficacité variable comme une variable de la fonction-coût de l'usine j (réf.: équation [8]). De cette façon, ils suggèrent que le coût d'une même usine variera avec l'efficacité. Soit l'usine j , définie comme étant:



Le coût de cette chaîne de traitement, pour un débit donné, ne variera pas (ou de façon négligeable) en fonction du fait qu'elle soit conçue pour une efficacité de 12, 15, 18 ou 25 mg/l (DBO totale). En termes d'ingénierie de traitement, le coût d'un système est, pour certaines conditions, une fonction discontinue de l'efficacité. Différents niveaux d'efficacité imposent différentes chaînes de traitement auxquelles doivent correspondre des fonctions-coûts distinctes.

Cette approche (efficacité variable d'une même usine) apparaît être caractéristique des premiers modèles d'optimisation proposés dans la littérature et dans lesquels on permettait que l'efficacité d'une usine varie autant que nécessaire pour obtenir un coût minimum (Whitlatch and ReVelle, 1976). Ceci conduit en fait à minimiser le traitement pour satisfaire une contrainte. Cependant, une telle approche d'optimisation peut difficilement trouver de fondement technique valable. On peut aisément démontrer que différents niveaux d'efficacité sur différents polluants supposent différentes technologies ou chaînes de traitement, chacune d'une composition et d'une conception spécifiques. Il en résulte que la recherche d'une solution optimale réaliste doit passer par l'optimisation de la sélection des technologies de traitement. Empressons-nous cependant de rassurer le lecteur peu averti. Nous ne prétendons pas par cette affirmation que l'optimalité absolue puisse résider entièrement et uniquement dans l'optimisation de la sélection des technologies. Non, certes pas. Nous soutenons cependant qu'elle ouvre une voie d'accès majeure vers la recherche d'une solution optimale.

Utilisation d'un % de réduction

L'approche la plus courante dans les modèles d'optimisation consiste à spécifier l'efficacité d'une usine j comme une variable d'entrée exprimée en % de réduction de la concentration initiale d'un polluant k . Ainsi, on définira que l'usine j a une efficacité de 85% pour la DBO, l'usine $j+1$ une efficacité de 90%, etc.

Cette approche soulève aussi d'importantes implications. Considérons, à l'instar des modèles présentés au tableau 1, qu'une usine d'épuration j a une efficacité de 85% sur la DBO. On définit l'usine j comme précédemment, soit [décantation primaire/boues activées/décantation secondaire]. Sur cette base, considérons que des eaux usées contenant 250 mg/l en DBO (totale) sont traitées par cette usine. Compte tenu d'une efficacité établie à 85%, la concentration de l'effluent traité sera donc de 37 mg/l en DBO totale.

Considérons maintenant qu'un effluent dilué est ajouté à la même usine de traitement j, abaissant la concentration des eaux brutes à 175 mg/l. Cette situation est typique dans tous les problèmes d'optimisation déjà présentés, où l'on a plusieurs possibilités d'acheminer les eaux usées de sources diverses vers une usine d'épuration donnée. Avec une efficacité préétablie de 85%, la concentration de l'effluent traitée est alors de 26 mg/l.

Avec l'utilisation d'un % fixe, la concentration de l'effluent traité devient donc dépendante de la concentration initiale. Si l'on considère, en regard de cet exemple, qu'une contrainte d'effluent 30 mg/l doit être respectée pour le déversement en rivière, on constate alors que l'utilisation d'un % fait en sorte que l'usine j peut satisfaire la contrainte dans un cas mais non dans l'autre. Or, en pratique, on peut montrer que cette même usine permet de satisfaire la norme dans les deux cas. Techniquement, l'utilisation d'un % de réduction constitue une représentation inadéquate de l'efficacité d'un système de traitement.

2.3 FONCTIONS-COÛTS DES USINES DE TRAITEMENT DANS LES MODÈLES D'OPTIMISATION

On a mis en évidence que la définition des chaînes de traitement devrait être considérée comme une condition technologique à respecter pour qu'il soit possible de développer un modèle d'optimisation à n polluants et pour établir les niveaux d'efficacité que le modèle utilise, notamment pour satisfaire les contraintes de qualité. La définition des usines d'épuration (types de procédé, composition des chaînes) mène ensuite directement aux fonctions économiques qui peuvent les représenter. Ceci introduit une autre condition nécessaire au développement d'un modèle d'optimisation, laquelle requiert qu'une adéquation existe entre les fonctions économiques et les technologies qu'elles représentent.

Hormis les modèles qui assument une approximation linéaire des coûts ou ceux qui utilisent des fonctions hypothétiques, tous les modèles d'optimisation utilisent, à l'heure actuelle, des fonctions-coûts empiriques qui ont été développées à partir des coûts observés d'usines d'épuration construites aux États-Unis. Ces fonctions sont non linéaires, généralement de la forme:

$$C = aQ^b \quad [1]$$

Un exemple typique de telles fonctions peut être tiré des modèles d'optimisation de Ocanas et Mays (1981a) et Schwartz et Mays (1983). Dans l'application de leurs modèles, ces auteurs considèrent la construction d'un

seul type d'usine d'épuration. Pour la représenter, tous deux ont utilisé une fonction-coût similaire à celle qui est illustrée par la figure 2.1 pour un système défini comme "Greater than secondary treatment" (USEPA, 1978). Un premier fait à noter est que les usines secondaires représentées par les points de cette figure ne sont pas précisées quant à la composition de leur chaîne de traitement, quant au type de procédé aux boues activées ni quant à leurs caractéristiques de conception. S'agit-il d'usines avec procédés conventionnels (écoulement en piston), aération étagée, mélange complet, etc. ? Quels sont les procédés unitaires de traitement des boues de ces usines ? Quels types de traitements préliminaires sont inclus ? Quels sont les procédés impliqués par les termes "greater than secondary" ? De plus, les caractéristiques de charge des eaux usées traitées et les variables d'opération affectent aussi la conception des systèmes secondaires et, par conséquent, leurs coûts (Pineau et Villeneuve, 1984b). Il en résulte qu'une usine de traitement aux boues activées peut coûter à peu près n'importe quoi et ceci est facilement illustré par la dispersion des points de la figure 2.1. On peut constater, à titre d'exemple, que le coût de construction observé d'une usine de 1 MGUSD peut varier entre 0.250 et 1.4 million \$ (américains).

La figure 2.1 présente aussi l'ajustement de courbe obtenue par USEPA à partir des données de coût observées. L'utilisation de cette fonction (ligne pleine) comporte de réelles limites puisqu'elle conduit à unifier les coûts de différentes catégories d'usines secondaires (type de procédé aux boues activées, type de traitement des boues, etc.). En fait, les points

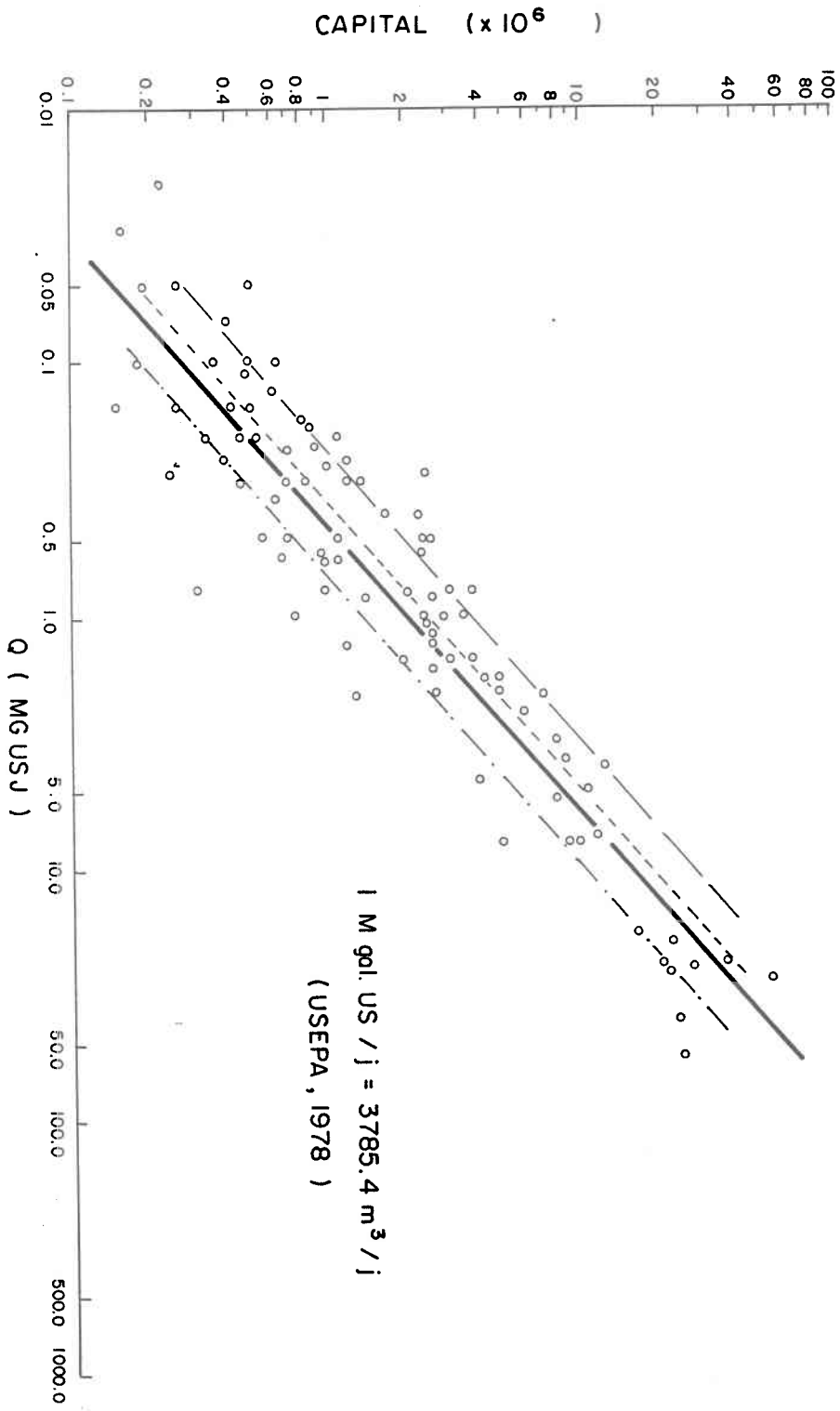


Figure 2.1 : Fonction empirique du coût total de construction d'une usine secondaire

présentés à la figure 2.1 suggèrent sans équivoque qu'il peut exister une famille de fonctions (lignes pointillées) correspondant chacune à des catégories distinctes d'usines aux boues activées. En pratique, toutefois, la définition des usines représentées par ces points est inconnue ou non disponible si bien que des fonctions plus précises ne peuvent être reconstituées à partir de ces données.

D'autres raisons doivent également être mentionnées pour expliquer les faiblesses des fonctions empiriques existantes.

- (1) Les données recueillies sur les usines échantillonnées proviennent de sources très diverses et les éléments de coût inclus dans les fonctions sont alors soit inconnus, soit différents, soit incompatibles. En conséquence, plusieurs fonctions économiques existantes produiront des estimations de coûts très variables pour une même chaîne de traitement ou un même procédé unitaire (Pineau et Villeneuve, 1984b).
- (2) Les données de coût recueillies pour établir les fonctions proviennent d'usines qui ont été construites à des époques différentes et dans des régions différentes. Il s'ensuit des variations nombreuses dans les pratiques de conception, de construction et dans la conception des systèmes (e.g. température, norme de traitement), ce qui introduit un bruit important dans les données de coût, en plus de limiter l'étendue d'application des fonctions proposées sur la base de ces données. C'est

notamment le cas lorsqu'on désire transférer l'application de telles fonctions sous des conditions canadiennes.

L'utilisation de fonctions économiques à faible résolution, c'est-à-dire qui ne peuvent exprimer de technologie précise, impose une limitation majeure au niveau de la capacité d'un modèle d'optimisation à effectuer la sélection de systèmes de traitement. Or, cette sélection est à la base de l'élaboration d'une solution optimale par le modèle (ce qui sera particulièrement montré à la section suivante). À l'heure actuelle, des fonctions empiriques du type de celles illustrées ici (figure 2.1) sont utilisées dans les modèles d'optimisation existants. Invariablement, on constate alors que ces modèles n'effectuent pas de sélection, que leur application est réduite à un seul type de système de traitement (ou au plus deux) et que la définition des systèmes, qui sont précisément au centre du processus d'optimisation, est faible quand elle n'est pas complètement ignorée, faute de pouvoir disposer des fonctions économiques adéquates pour les représenter.

Pour qu'il soit possible de réaliser l'adéquation nécessaire entre les fonctions économiques et la technologie qu'elles représentent, Pineau et Villeneuve (1984b) ont proposé des fonctions-coûts générées à l'aide d'un modèle de simulation des ouvrages de traitement. L'utilisation d'un tel outil permet en effet d'avoir suffisamment de contrôle sur le développement des fonctions (élément de coûts inclus, conception des systèmes, composition des chaînes) pour s'assurer de réaliser cette adéquation et de remplir les autres conditions précédemment discutées quant aux types de polluants et aux efficacités (ces fonctions sont proposées au chapitre III).

2.4 TYPES D'USINES / FONCTIONS-COÛTS / CONFIGURATION DE LA SOLUTION OPTIMALE

Avec le modèle de Schwartz et Mays (1983), on observe un premier effort de modélisation pour satisfaire cette condition de définition technologique des systèmes. Tenant compte de l'importance de la composition des chaînes de traitement pour la solution de leur système, ces auteurs ont distingué deux types d'usines d'épuration: (1) usine de traitement secondaire (boues activées) et (2) usine de traitement tertiaire. On doit montrer cependant que ce niveau de définition est encore insuffisant pour développer une solution de traitement optimale. Nous convenons de l'illustrer en reprenant ici l'exemple déjà utilisé au chapitre 1 (section 4), lequel est tiré du cas de la ville de Farnham dans le bassin de la rivière Yamaska.

Les caractéristiques des eaux usées de la ville de Farnham sont présentées au tableau 1.3 (chapitre 1) et on désire considérer deux solutions réalisables de traitement pour cette municipalité. La première consiste à traiter conjointement les eaux usées industrielles et municipales par une usine aux boues activées. La deuxième solution consiste dans un traitement séparé: les eaux usées industrielles seront traitées par une usine aux boues activées, du même type que celle proposée pour le traitement conjoint, et les eaux usées municipales seront traitées par un système d'étangs aérés facultatifs. Dans tous les cas, on pose que ces solutions peuvent satisfaire les contraintes de qualité désirées. Ainsi, on a:

Solution 1

Traitement conjoint → Système Secondaire aux Boues Activées

Solution 2

Traitement séparé

Industriel → Système Secondaire aux Boues Activées

Municipal → Étangs Aérés Facultatifs

Puisque l'on pose que ces deux solutions satisfont aux objectifs de traitement désirés, il s'agit donc de déterminer la solution qui minimise les coûts (capital) d'assainissement pour cette municipalité.

A ces fins, nous convenons de représenter le système aux boues activées de ces deux solutions en utilisant une fonction-coût empirique proposée pour ce type de système par USEPA (1978):

$$C = 2.12 * 10^6 Q^{.88} \quad [2]$$

où

C = Coût de construction exprimé en dollars US

Q = Débit de conception de l'usine exprimé en

MGUSD

Notons que cette fonction représente une usine secondaire aux boues activées, non définie quant au type de procédé (mélange complet, conventionnel,

etc.) ni, de façon générale, quant à la composition de la chaîne de traitement (ligne liquide, ligne des boues). Pour le système d'étangs aérés, nous utiliserons cette autre fonction également proposée par USEPA (1978):

$$C = 2.18 * 10^6 Q^{.99} \quad [3]$$

Utilisant les données de débit telles que rapportées au tableau 1.3 pour la municipalité de Farnham, on obtient sur la base de ces fonctions que la solution 1 (traitement conjoint) est de moindre coût (5.31 millions \$) que la solution 2 (traitement séparé) (6.8 millions \$).

Considérons maintenant que les systèmes aux boues activées sont définis comme étant des procédés en mélange complet. Sur cette base, les coûts en capital (construction) de ces deux solutions ont été évalués avec le modèle CAPDET pour le design et l'estimation des coûts préliminaires des ouvrages de traitement (USEPA, 1981). Les données de conception des systèmes et les coûts unitaires utilisés pour ce cas d'étude sont présentés dans Pineau et Villeneuve (1984b). Les résultats obtenus établissent que la solution 2 (traitement séparé) est de moindre coût que la solution 1. Le coût total de construction pour la solution 1 s'élève à 4,45 millions \$ alors qu'il est de 3,3 millions \$ pour la solution 2 (dollars canadiens, 1981).

Ce cas d'application met en évidence que l'adéquation entre le contenu technologique des systèmes de traitement et les fonctions économiques qui

les représentent joue un rôle-clé pour la configuration de la solution qui sera choisie par le modèle. Les deux solutions étudiées permettent également de respecter les exigences de qualité désirées et toutes deux sont basées sur un traitement secondaire aux boues activées. Le fait d'introduire un niveau de définition plus élevé des chaînes de traitement a toutefois un effet direct sur la configuration de la solution. Dans un cas, la recherche d'une solution de coût minimal conduit à proposer un traitement séparé (solution 2) alors que dans l'autre cas, elle conduit à opter pour un traitement conjoint (solution 1).

Ces résultats ont d'autres implications si l'on considère un deuxième polluant, en l'occurrence le phosphore. Le contrôle du phosphore peut être obtenu en incluant une précipitation physico-chimique aux chaînes de traitement des solutions 1 et 2 (e.g. addition d'alun au décanteur secondaire des systèmes aux boues activées; addition d'alun à la dernière cellule d'aération des systèmes d'étangs aérés facultatifs). Dès lors, la configuration de la solution de traitement choisie aura un autre impact économique important. En effet, la solution 1 (traitement conjoint) a comme implication d'effectuer le contrôle du phosphore en appliquant le dosage de coagulant au débit total. Au contraire, dans la solution 2, on conserve la possibilité de limiter le dosage à une partie du débit, soit industriel, soit municipal, d'où une réduction pouvant atteindre plus de 50 % de la consommation de coagulants et, conséquemment, des coûts d'opération et d'entretien. Pour qu'un modèle d'optimisation puisse exploiter la possibilité d'effectuer un contrôle limité du phosphore, la définition des chaînes de traitement, et

leur représentation par des fonctions économiques, doivent donc être telles que la solution 2 puisse exister.

Cet exemple illustre le rôle du contenu technologique des systèmes de traitement en relation avec la nécessité de définir des fonctions économiques d'un niveau de résolution suffisamment élevé pour les représenter.

CHAPITRE III

DÉVELOPPEMENT D'UN MODÈLE D'OPTIMISATION
APPLICABLE À L'ASSAINISSEMENT DES EAUX
DANS UN BASSIN VERSANT

3.1 NATURE DU PROBLÈME / BUT ET TÂCHE DU MODÈLE

Le développement d'un modèle d'optimisation est intimement lié au problème de gestion des ressources en eau auquel il s'applique. La revue présentée au chapitre précédent a permis de montrer que des modèles d'optimisation ont été développés pour des problèmes très variés. De plus, on a mis en évidence que la nature spécifique du problème, la façon dont il est posé, les éléments du système qui sont considérés et les objectifs qui sont retenus, donnent lieu à des approches de modélisation très différentes qui affectent les diverses caractéristiques des modèles jusqu'au choix de la technique de solution.

Le problème considéré dans le développement du présent modèle est un problème d'assainissement des eaux à l'échelle d'un bassin versant. Des usines d'épuration doivent être construites dans plusieurs municipalités d'un bassin versant. Toutes ces municipalités sont situées le long d'un cours d'eau et sont reliées entre elles par celui-ci. Cette situation est représentée par le cas type du bassin de la rivière Yamaska, tel que déjà montré au chapitre I (figure 1.1). Pour chaque municipalité du bassin, différents systèmes de traitement peuvent être appliqués selon le type de polluant qu'il est nécessaire de contrôler, selon le degré de traitement, selon les caractéristiques de charges et de débit des eaux usées et selon qu'on choisit d'effectuer un traitement conjoint ou séparé des effluents urbains et industriels. Il en résulte qu'il existe un grand nombre de solutions de traitement possibles pour l'ensemble des municipalités du bassin et

on peut montrer que chaque solution a des implications économiques considérables. Pineau et Villeneuve (1984a) ont présenté différentes solutions de traitement possibles et réalisables à chaque municipalité du bassin de la rivière Yamaska. Assumant, à titre d'exemple, que quatre solutions sont réalisables pour chaque municipalité, il existe, dès lors, plus de 250 000 scénarios d'assainissement pour ce bassin. Sur cette base, et compte tenu des objectifs de qualité à atteindre, la tâche du modèle d'optimisation est de sélectionner les systèmes de traitement afin de produire un scénario d'assainissement qui minimise les coûts de construction et d'opération des ouvrages d'épuration pour l'ensemble des municipalités du bassin tout en respectant des contraintes de qualité fixées.

La nature de ce problème détermine donc une première caractéristique fondamentale de la tâche du modèle, soit la sélection de systèmes de traitement. En effet, chaque solution d'assainissement applicable est basée sur la sélection d'une technologie donnée en fonction des 3 facteurs que nous avons déjà étudiés au Chapitre I: (1) normes, en relation avec la dynamique et la sensibilité du cours d'eau récepteur, (2) interactions entre les points de rejet et (3) traitement conjoint ou séparé des effluents. La capacité d'un modèle d'optimisation à élaborer un programme d'assainissement (scénario) qui minimise les coûts dépend donc de sa capacité à effectuer une sélection des technologies de traitement en fonction de ces trois facteurs, et aussi de leurs interactions.

Peu de modèles d'optimisation sont conçus dans le but explicite d'effectuer la sélection de systèmes de traitement. Cette observation fut également notée par Schwartz et Mays (1983) et il suffit, comme preuve, de relever l'absence généralisée de définition des usines de traitement dans les modèles déjà présentés au tableau 2.1. En pratique, la tâche de la plupart de ces modèles consiste essentiellement à déterminer le dimensionnement et/ou l'expansion d'usines de traitement données afin d'en arriver à un schéma optimal de distribution, d'interception et/ou de recyclage. Ici, par contre, le problème qui nous intéresse est essentiellement axé sur la sélection des systèmes. Si, pour une municipalité donnée, un traitement conjoint s'avère avantageux, le modèle doit donc pouvoir choisir le système de traitement qui convient à cette solution; inversement, si un traitement séparé est plus économique, d'autres systèmes devront alors pouvoir être évalués et choisis par le modèle. De même, si le contrôle de l'azote ammoniacal s'avère nécessaire pour une municipalité donnée et qu'il ne l'est pas pour une autre, deux systèmes de traitement différents devront alors être choisis.

Cette première caractéristique fondamentale de la tâche du présent modèle (sélectionner les systèmes de traitement) renvoie directement aux deux conditions déjà établies dans les sections précédentes pour la conception d'un modèle d'optimisation:

1. La définition technologique des usines d'épuration en relation avec l'efficacité et les types de polluants.

2. L'adéquation entre les fonctions économiques et le contenu technologique des usines qu'elles représentent.

Satisfaire ces deux conditions a été le principe directeur de toute la conception du présent modèle d'optimisation. Dans un premier temps, on a donc développé différentes chaînes de traitement qui sont applicables aux municipalités du bassin (Pineau et Villeneuve, 1984a). Celles-ci ont été définies en fonction des conditions de traitement qui se posent à chaque municipalité et dans le but d'effectuer un contrôle des trois polluants critiques pour l'assainissement des eaux dans ce bassin versant: la demande biochimique en oxygène (DBO), l'azote ammoniacal ($N-NH_3$) et le phosphore (P). Dans un deuxième temps, on a ensuite développé des fonctions économiques capables de représenter, avec un haut degré de résolution, le contenu technologique de ces chaînes de traitement. Ces fonctions ont été générées par l'application du modèle CAPDET (Pineau et Villeneuve, 1984b). Plus loin, dans notre exposé sur le développement du modèle, nous aurons l'occasion de revenir sur ces deux aspects.

3.2 SYSTÈME MODÉLISÉ

La nature du problème délimite aussi le système modélisé et sur cette base, on peut mettre en évidence une deuxième caractéristique fondamentale de la conception du modèle.

Dans les modèles de Bishop et Narayanan (1977), Pingry et Shaftel (1979), Ocanas et Mays (1981a), Louie et al. (1984), on considérait le sys-

tème [sources-filtration-distribution-utilisateurs-épuration-recyclage]. D'autres auteurs se sont intéressés de façon plus spécifique à des sous-systèmes de ce système: Schwartz et Mays (1983) ont développé un modèle pour le sous-système [épuration-recyclage] et Kankasar et Prolpasert (1983) se sont intéressés au sous-système [interception-épuration-élimination des boues-milieu récepteur]. On constate que le sous-système [épuration] est présent dans tous ces modèles. Dans tous les cas, cependant, celui-ci est considéré de façon ponctuelle, c'est-à-dire pour une seule cité ou ville. En fait, tous ces modèles ont été développés pour des systèmes de ressources en eau qui sont limités à une ville unique et aucun ne considère le problème d'un réseau de municipalités reliées à un système - rivière en vue d'une planification à l'échelle d'un bassin.

Pour les besoins de la mise en oeuvre d'un programme d'assainissement des eaux dans un bassin versant, le sous-système [épuration-milieu récepteur] ne peut être modélisé en fonction d'un point de rejet unique. Plusieurs municipalités étant reliées par un cours d'eau récepteur, le système modélisé ici se présente donc comme un continuum dynamique (le cours d'eau) auquel se rattachent plusieurs sous-systèmes [épuration-milieu récepteur]. Chacun de ces sous-systèmes comprend des sources d'eaux usées (municipale / industrielle), des chaînes de traitement applicables, et tous sont en interactions via le cours d'eau auquel ils sont rattachés. Ainsi, au lieu d'un modèle d'optimisation qui représente un point de rejet, on passe ici à un modèle qui représente un cours d'eau soumis à plusieurs points de rejet.

3.3 TYPES DE CONTRAINTES DE QUALITÉ

La modélisation de ce système conduit directement à la question du type de contraintes de qualité à utiliser. Cet aspect a été introduit au Chapitre I alors qu'on a discuté du rôle des normes dans la sélection des technologies de traitement. Une revue de littérature des modèles existants révèle que des normes d'effluents sont généralement utilisées comme contraintes de qualité, plutôt que des normes de milieu. L'utilisation de normes d'effluents a une implication fondamentale pour la conception d'un modèle d'optimisation: elle fait en sorte que la solution optimale recherchée sera indépendante du cours d'eau récepteur. Il est clair, en effet, que pour satisfaire des contraintes d'effluents, il n'est pas nécessaire de tenir compte du milieu récepteur. De fait, on constate (cf. tableau 2.1) qu'aucun des modèles d'optimisation qui considèrent le sous-système [épuration - milieu récepteur] sur la base de normes d'effluents ne contiennent de représentation du milieu récepteur (c'est-à-dire un système d'équations décrivant le transport et la dynamique des polluants en rivière).

Or, on a montré au Chapitre I que le cours d'eau récepteur joue un rôle direct dans la détermination des solutions de traitement applicables aux municipalités d'un bassin. D'autres auteurs en ont également apporté des démonstrations typiques (Gowda, 1983; Rickert, 1984). Ce rôle, le cours d'eau l'exerce de deux façons:

1. Par le fait qu'il transporte, dilue, transforme et élimine les polluants (e.g. DBO, N-NH₃, phosphore).
2. Par le fait qu'il établit, pour chaque point de rejet, des conditions initiales qui résultent des apports des tributaires et des décisions de traitement appliquées en amont d'un point de rejet donné. Ces conditions initiales qui fournissent des critères déterminants pour l'évaluation et la sélection des solutions de traitement applicables au point de rejet considéré.

Ainsi, à partir du moment où la solution de traitement d'une municipalité est basée sur des normes d'effluent, celle-ci devient indépendante du cours d'eau récepteur et, du fait même, elle devient aussi indépendante des autres points de rejet du bassin. L'optimisation en est réduite à un niveau local où il s'agit simplement de minimiser les coûts en satisfaisant des normes d'effluent, indépendamment du milieu récepteur et des autres points de rejets en amont et en aval. En fait, l'utilisation de normes d'effluents conduit à découpler le système [sources d'eau usées - technologies de traitement] du système-rivière. Dans cette approche, il n'y a donc plus aucune relation à la ressource-eau elle-même.

3.4 REPRÉSENTATION DU COURS D'EAU RÉCEPTEUR DANS LE MODÈLE D'OPTIMISATION

Dans le modèle d'optimisation, la représentation du cours d'eau récepteur est assurée par un modèle de transport qui permet:

1. De représenter et de faire intervenir les processus de transport, de dilution et de transformation biochimique auxquels participent les polluants dans le cours d'eau récepteur.
2. De transférer les informations de charges polluantes, de qualité et de débit, nécessaires pour établir les conditions initiales à chaque point de rejet.
3. De simuler sur cette base l'état de la contrainte sur les différents polluants considérés en tout point x du cours d'eau.

Street (1983) présente une revue des différents modèles mathématiques qui ont été formulés pour décrire le transport des polluants en rivière. Sur la base de cette revue, on a pu établir qu'un modèle unidimensionnel, non dispersif et en régime permanent ("steady-state") constituait une représentation mathématique appropriée, compte tenu des besoins du modèle d'optimisation et compte tenu aussi des implications sur sa solution. Rappelons en effet que la solution du modèle de transport est requise pour chaque itération de la solution du modèle d'optimisation.

Le modèle de transport prend la forme générale d'un système d'équations différentielles ordinaires du 1er ordre, unidimensionnelles, non dispersives et en régime permanent. Ces équations sont présentées à la section consacrée à la description de la structure du modèle d'optimisation (section 3.7).

3.5 RÔLE DES CARACTÉRISTIQUES DES EAUX USÉES

Nous avons déjà posé que différents systèmes d'épuration sont définis dans le modèle, selon les types de polluants, les efficacités et les contraintes à satisfaire. Pour qu'une sélection soit possible par le modèle, on a vu que des fonctions économiques à grande résolution étaient nécessaires pour représenter ces différents systèmes. Les caractéristiques des eaux usées à traiter constituent donc un facteur à considérer en raison de ses effets sur la sélection des systèmes.

Dans tous les modèles d'optimisation existants, on considère que les eaux usées de différentes sources peuvent être acheminées vers une usine d'épuration j . Ceci correspond aux différentes situations de traitement conjoint ou séparé des effluents industriels et urbains d'une municipalité donnée. Selon les combinaisons d'effluents qui sont effectuées, il en résulte d'importantes variations dans les caractéristiques de l'affluent qui parvient à l'usine j . Dès lors, il est nécessaire que cette usine j soit techniquement appropriée au registre des variations qui peuvent résulter des différentes combinaisons possibles d'effluents industriels et municipaux. Si une combinaison donnée de rejets entraîne des caractéristiques d'eaux usées hors de ce registre, alors la solution basée sur cette combinaison n'est pas réalisable et un autre système doit donc être considéré par le modèle.

Pour l'illustrer de façon pratique, utilisons l'exemple de la municipalité de St-Damase dans le bassin de la rivière Yamaska, et considérons les deux solutions de traitement applicables suivantes:

Solution 1

Traitement conjoint (municipal + industriel) par un système secondaire aux boues activées (ou en croissance attachée de type filtre biologique).

Solution 2

Traitement séparé

Industriel par un système secondaire aux boues activées
(ou filtre biologique)

Municipal par un système d'étangs aérés facultatifs.

Dans la solution 2, l'application d'un système d'étangs aérés aux eaux municipales est un choix technique approprié puisqu'il s'agit d'un effluent faiblement chargé (100 mg/l DBO_5). Par contre, dans le cas d'un traitement conjoint (municipal + industriel), la concentration de l'effluent passe de 100 mg/l à 855 mg/l en DBO (cf. Pineau et Villeneuve, 1984a). En raison de ses limites d'efficacité, de l'importance des charges à traiter et des superficies de conception qui deviendraient alors requises, l'application d'un système d'étangs aérés ne peut techniquement être envisagée pour un traitement conjoint dans la solution 1.

Ainsi, pour que la sélection des systèmes puisse conduire à des solutions d'assainissement réalistes, les caractéristiques des eaux usées constituent un autre élément qui doit être respecté et être présent dans la conception du modèle. La sous-routine du modèle où s'effectue la sélection des technologies de traitement a été conçue de manière à respecter cet autre facteur (annexe I).

3.6 FORMULATION GÉNÉRALE DU MODÈLE D'OPTIMISATION

Ayant posé les caractéristiques de conception du modèle, sa formulation générale est donnée comme suit:

Fonction objectif

$$\min \sum_i \sum_j (CC_{ij} + COM_{ij}) \quad [4]$$

où:

CC_{ij} : est le coût de capital pour effectuer un traitement des eaux usées avec le système d'épuration j au point de rejet i;

COM_{ij} : est le coût d'opération et d'entretien pour un traitement avec le système d'épuration j au point de rejet i.

Les systèmes j correspondent aux différentes technologies de traitement qui sont applicables et qui peuvent être sélectionnées à une municipalité donnée.

Variable de décision

La variable de décision du modèle est X_j , le débit d'eaux usées (en m^3/j), soit municipal, soit industriel ou combiné, qui est traité par le système d'épuration j . C'est par cette variable de décision que s'effectue la sélection des systèmes j .

Contraintes de qualité

Les contraintes de qualité, θ , sont définies sur l'oxygène dissous (θ_{OD}), le phosphore (θ_p) et la DBO (θ_{DBO}) et sont évaluées par le modèle de transport en tous points x du cours d'eau. De façon générale, on a :

$$\theta(x) = F (\text{INIT}, \text{DECIS}, \text{RIV}) \quad [5]$$

où :

$\theta(x)$: concentration simulée au point x en rivière (OD, P_t , DBO);

INIT : conditions initiales en rivières au point de rejet i ;

DECIS: décision de traitement j (type de système) au point de rejet i ;

RIV : transport, dilution, processus en rivière et apports des tributaires;

et

$$\theta(x)_{OD} > \text{norme de milieu en oxygène dissous} \quad [6]$$

$$\theta(x)_{P-DBO} < \text{normes de milieu sur DBO et } P_t \quad [7]$$

Ces contraintes sont hautement non linéaires. Elles ont une dimension spatiale et sont soumises à la dynamique du cours d'eau.

Contraintes de conservation de masse

En chaque point de rejet i du bassin, la conservation des volumes d'eaux usées est assurée par les contraintes d'égalité suivantes:

$$\sum_j \sum_k Q_{kj} = QT_i \quad [8]$$

où:

Q_{kj} : débit d'eaux usées de sources k (industrielle, municipale, combinée) traité par l'usine j ;

QT_i : débit total d'eaux usées au point de rejet i .

Échelle de temps du modèle

Le modèle fait intervenir deux échelles de temps. La première concerne la période de planification, déterminée en fonction des projections sur les utilisations de l'eau, de la durée de vie des ouvrages de traitement, et sur laquelle sont amortis les coûts (de façon typique, on considère un horizon de 20 ans).

Par le fait qu'il intègre le cours d'eau récepteur à sa structure et qu'il l'utilise comme base pour le développement d'une solution optimale, une autre échelle de temps intervient dans le modèle d'optimisation. Celle-ci est de l'ordre des processus en rivière que l'on choisit de prendre en compte dans le sous-modèle de transport. Par exemple, la production primaire est un processus nécessitant d'être simulé, sinon sur une base horaire, tout au moins sur une base diurne. Dès lors, si l'on avait choisi de déterminer le degré de contrôle des apports nutritifs en fonction de la biomasse produite dans le milieu récepteur, l'optimisation des solutions de traitement aurait alors été effectuée en fonction d'une échelle de temps de l'ordre de la journée (notons en passant l'extrême complexité d'une telle approche). La simulation de la production primaire ayant été exclue, le présent modèle d'optimisation (plus précisément son sous-modèle de transport) considère des conditions de régime permanent ("steady-state"). Les conditions en régime permanent constituent une hypothèse classique dont la validité a largement été établie pour simuler l'évolution de la température,

de la DBO, de l'oxygène dissous et des éléments nutritifs en rivière. Sous cette hypothèse, la variable temps disparaît des équations de transport.

La durée des conditions de régime permanent devient alors la seule échelle de temps significative en regard de la solution d'optimisation. Pour le présent modèle, cette durée est définie par la période critique correspondant à un étiage donné.

Technique de solution

Le modèle est hautement non linéaire par sa fonction objectif et par ses contraintes de qualité, ce qui requiert l'application d'une technique de solution par programmation non-linéaire. Dans le cadre des présents travaux, la technique non-linéaire utilisée est celle du Gradient Réduit Généralisé et son application fut effectuée avec le programme informatique GRG développé par Lasdon et al., (1976) (Voir aussi Lasdon et al., 1978; Waren et Lasdon, 1979).

On pourrait par ailleurs considéré qu'un problème d'optimisation de cette nature - soit la sélection des technologies de traitement à l'échelle d'un bassin - puisse se prêter à une technique de programmation en nombres entiers ou à une méthode apparentée, du type "mixed-integer programming" (Burras, 1986). Nous n'avons pas tenté, dans le cadre de ces travaux, de démontrer la supériorité ou les avantages comparatifs d'une méthode par rapport à l'autre. Fait certain toutefois, l'application comparative de

différentes techniques de solution à partir d'un même problème d'optimisation conduit à exiger un effort considérable d'ajustement de la structure conceptuelle et informatique du modèle selon la technique d'optimisation utilisée.

Bruil et Nakamura (1978) ont noté que l'application d'une technique de solution de type "mixed-integer programming" tend à devenir inappropriée pour des problèmes comportant plusieurs fonctions économiques concaves. Or, c'est précisément un aspect fondamental du problème que nous considérons, puisque la sélection des technologies de traitement exige plusieurs fonctions économiques dont on a montré qu'elles étaient concaves (Pineau et Villeneuve, 1984 b). Par ailleurs, l'application d'une technique de programmation non-linéaire par gradient réduit généralisé a été démontrée comme des plus appropriées à des systèmes de ressources en eau de grandes dimensions, non-linéaires et comportant un nombre élevé de variables de décisions (tel celui qui fait l'objet du présent modèle) (Ocanas et Mays, 1981 a et 1981 b).

3.7 STRUCTURE DU MODÈLE

La figure 3.1a présente un schéma conceptuel du modèle d'optimisation et la figure 3.1b illustre sa structure informatique. Retenons que cette structure ouvre la possibilité de rendre le modèle transférable à n'importe quel système-rivière. Elle est basée sur un découpage du système-rivière en différents tronçons. Un tronçon débute par un point de rejet ou un point de confluence (selon le cas) alors qu'il se termine nécessairement par un point

SCHEMA CONCEPTUEL DU MODÈLE D'OPTIMISATION

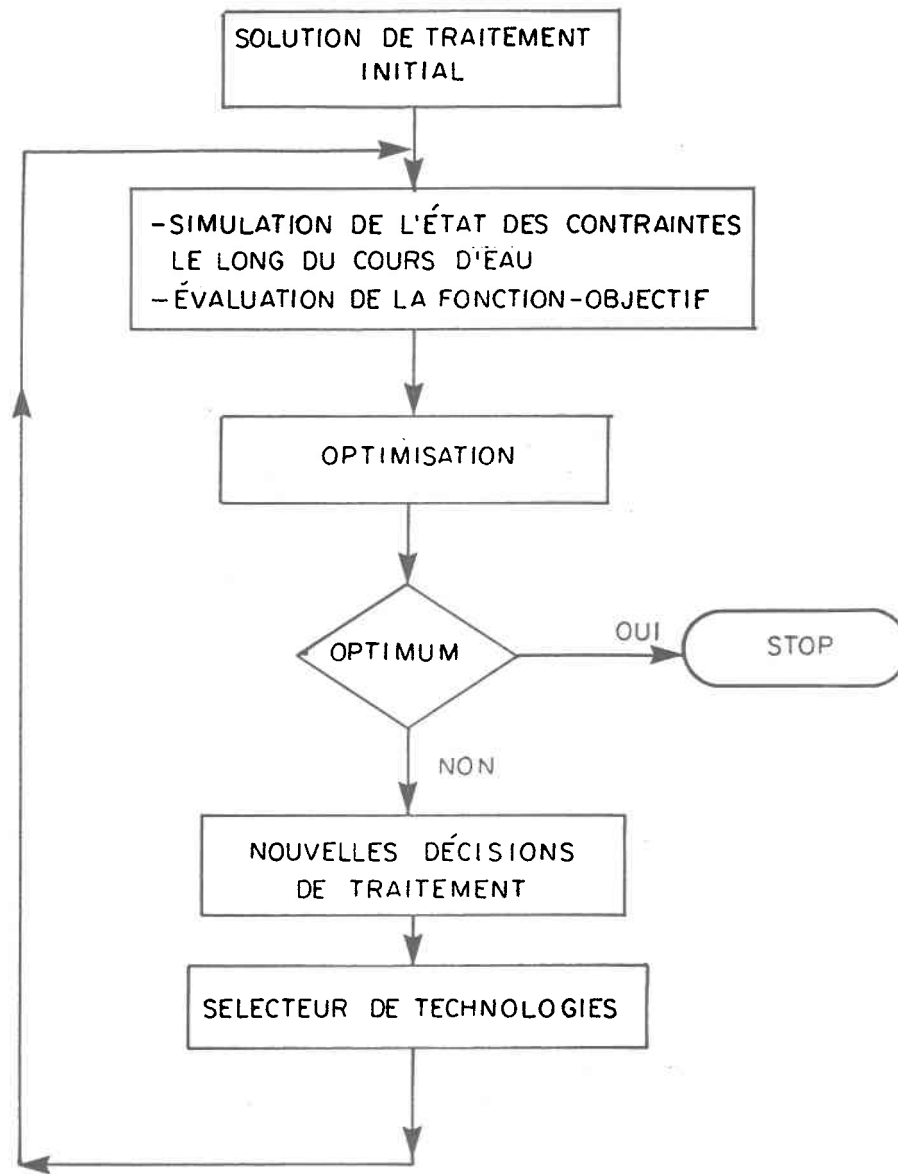


Figure 3.1a: Schéma conceptuel du modèle d'optimisation

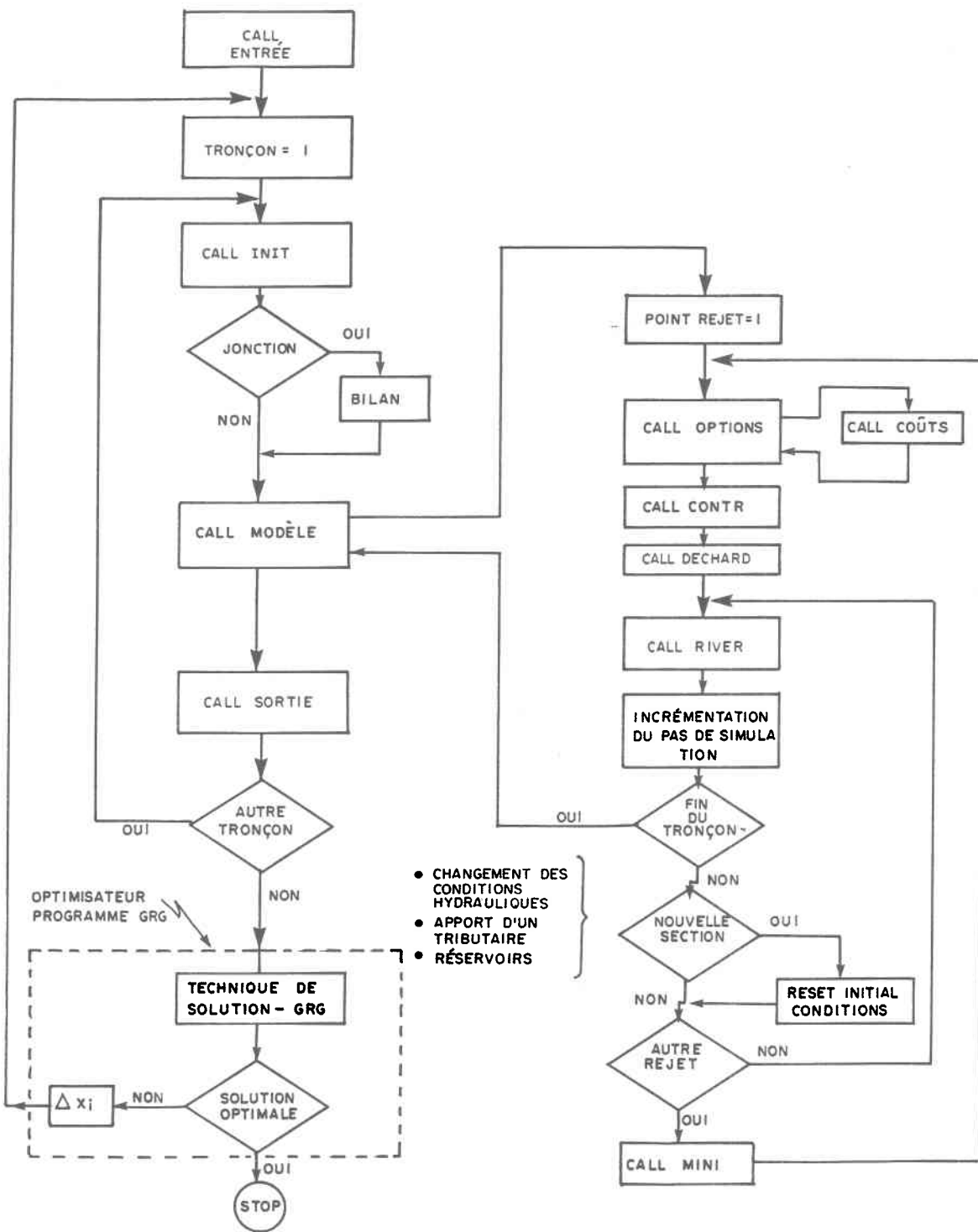


Figure 3.1b: Structure informatique du modèle d'optimisation

de confluence de deux ou plusieurs tronçons. Les figures 4.1 et 4.2 du chapitre suivant en fournissent un exemple pour le bassin de la Yamaska.

Chaque tronçon peut lui-même être divisé en autant de sections qu'il est nécessaire pour prendre en compte les différents éléments de modélisation qui interviennent le long du tronçon: apports d'un tributaire (débit, charges en DBO, charges en éléments nutritifs, oxygène dissous), changement des conditions hydrauliques et/ou des paramètres des processus en rivière (biodégradation, réaération, nitrification), réservoirs, prises d'eau, points de rejet, etc. En fait, la section constitue la plus petite unité de base du modèle. Un fait majeur à souligner ici, est que l'application du modèle d'optimisation contribue elle-même à indiquer le nombre de sections qu'il est nécessaire d'établir. Par exemple, sur la base des changements dans les conditions hydrauliques, un très grand nombre de sections peut être requis, ce qui entraîne un effort de modélisation considérable, notamment quant aux données d'entrées, à la détermination des paramètres, à la redéfinition des conditions initiales, etc. Or, l'application du modèle d'optimisation permet précisément de procéder à une étude de la sensibilité des solutions d'assainissement aux différents paramètres du cours d'eau et des processus simulés, de sorte qu'il devient possible d'ajuster sur cette base l'effort de modélisation nécessaire. Ceci constitue un premier exemple des différents types de résultats que permet un tel modèle d'optimisation et qui seront exposés au chapitre suivant.

Nous référant à la figure 3.1, nous présentons ci-après une description brève des différents éléments de la structure du modèle.

3.7.1 ENTRÉE

Sous-programme qui traite l'ensemble des données d'entrées: lecture, format, définition des blocs de variables (common). Les différentes données d'entrée utilisées par le modèle sont présentées à l'annexe II.

3.7.2 INIT

Sous-programme qui initialise les variables au début du tronçon i à partir des données de départ lues par ENTRÉE.

3.7.3 BILAN

Lorsque le tronçon considéré commence par un point de confluence, un bilan de matière doit être effectué pour assurer la continuité avec les tronçons amont. Outre le débit, ce bilan est effectué sur les charges en DBO, en phosphore et sur l'oxygène dissous. Ce bilan sert ensuite à définir les conditions initiales au début de la première section du nouveau tronçon. Lorsque le tronçon ne débute pas par un point de confluence avec des tronçons amont, les conditions initiales sont alors établies à partir des données d'entrée.

3.7.4 MODÈLE

MODÈLE est l'élément corps du modèle d'optimisation. Appelé par le programme principal, il contient l'ensemble des sous-routines qui permettent de simuler et d'évaluer les solutions d'assainissement à l'échelle du bassin, telles qu'établies par l'optimisateur. Ces différents sous-programmes sont revus ci-après.

OPTIONS

C'est dans la sous-programme OPTIONS que différentes technologies peuvent être sélectionnées pour composer les solutions de traitement applicables à une municipalité donnée. Pour chaque municipalité du bassin, la sous-routine OPTIONS contient un bloc de différentes technologies (systèmes d'épuration) qui ont été pré-sélectionnées en fonction du type de problème de traitement qui se pose dans la municipalité considérée (types d'eaux usées - industrielles, municipales - charges polluantes, débits) et en fonction aussi des possibilités de traitement conjoint ou séparé (cf. chapitre 4, section 1). Ces "blocs technologiques" ont été conçus de manière à permettre à l'optimisateur d'élaborer une solution de traitement optimale à partir des technologies qu'il lui est possible de choisir. Chaque technologie incluse dans un bloc donné est affectée d'une variable de décision, X_i , qui est sous le contrôle de l'optimisateur et qui lui permet de développer une solution optimale en fonction, rappelons-le, des normes à respecter, de la dynamique du cours d'eau récepteur et des interactions

entre les points de rejets.

La figure 3.2 indique les trois principales variables de sortie du sous-programme OPTIONS en relation avec les sous-programmes COUTS, CONTR et DECHARG qui sont décrites ci-après. La conception et le fonctionnement du sous-programme OPTIONS sont davantage détaillés à l'annexe I.

COÛTS

Ce sous-programme sert à déterminer le coût des solutions de traitement qui sont développées dans OPTIONS. Le coût d'une solution de traitement correspond évidemment aux coûts (capital et exploitation) des technologies sélectionnées. Rappelons ici la fonction objectif du modèle d'optimisation:

$$\text{Min } \sum_k \sum_j (CC_{kj} + COM_{kj}) \quad [4]$$

où CC_{kj} et COM_{kj} sont respectivement les coûts de capital et d'exploitation pour effectuer un traitement des eaux usées avec le système d'épuration j au point de rejet k . Le sous-programme COUTS contient donc les fonctions économiques des différents systèmes j qui peuvent être sélectionnées dans OPTIONS. Ces fonctions sont présentées aux tableaux 3.1 et 3.2. Elles

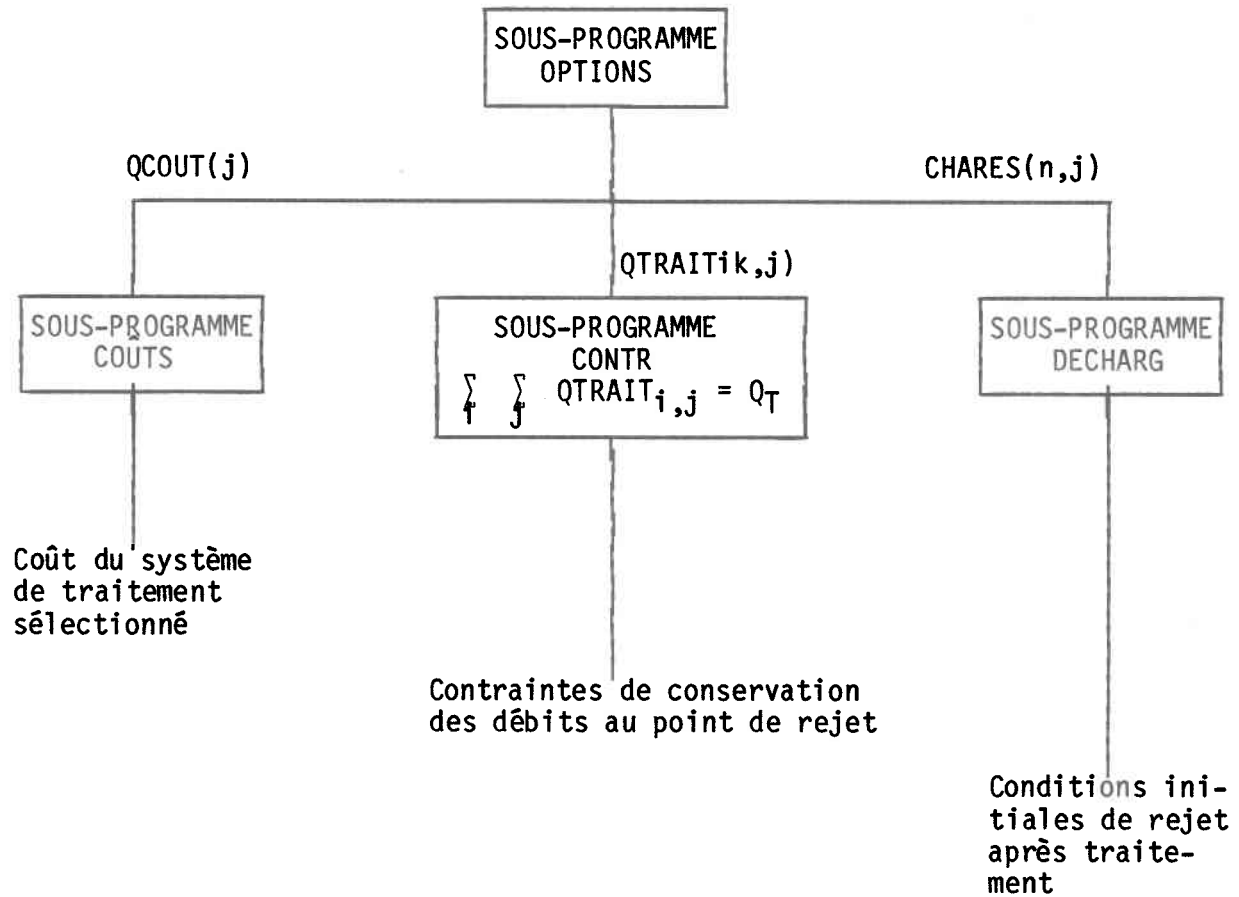


Figure 3.2: Variables de sortie du sous-programme OPTIONS

Tableau 3.1: Fonction économiques des systèmes de traitement. Coûts de construction.

TYPE D'USINE	CHAÎNE DE TRAITEMENT	COÛT TOTAL DE CONSTRUCTION (x 10 ⁶ \$/an)
Boues activées (mélange complet)	PRIMAR-COMPLE-SECO-GRAVIT-AEROBI	$C = (1,49 Q^{1,617} + 1,007 Q)p$
Boues activées (mélange complet) / filtration	PRIMAR-COMPLE-SECO-FILTRA-GRAVIT AEROBI	$C = (1,49 Q^{1,617} + 1,199 Q - 0,0084 Q^2 + 0,00023 Q^3)p$
Boues activées (mélange complet) / contrôle du phosphore	PRIMAR-COMPLE-COAGUL-SECO-GRAVIT AEROBI	$C = (1,49 Q^{1,617} + 1,007 Q)p + 0,0001 Q^3 - 0,0033 Q^2 + 0,128 Q$
Boues activées (mélange complet) / contrôle du phosphore / filtration	PRIMAR-COMPLE-COAGUL-SECO-FILTRA GRAVIT-AEROBI	$C = 1,49 Q^{1,617} + 1,119 Q - 0,0084 Q^2 + 0,00023 Q^3)p + 0,0001 Q^3 - 0,0033 Q^2 + 0,128 Q$
Boues activées (mélange complet) / nitrification	PRIMAR-COMPLE-SECO-NITRI-GRAVIT AEROBI	$C = 1,49 Q^{1,617} + 1,1468 Q + 0,2043 Q^{2,2858})p$
Boues activées (aération prolongée)	PRELIM-EXTEND-SECO-AEROBI	$C = (1,41 Q^{0,547} + 0,4024 Q)p$
Boues activées (aération prolongée) / Filtration	PRELIM-EXTEND-SECO-FILTRA-AEROBI	$C = (1,41 Q^{0,547} + 0,594 Q - 0,0084 Q^2 + 0,00023 Q^3)p$
Boues activées (aération prolongée) / contrôle du phosphore	PRELIM-EXTEND-COAGUL-SECO-AEROBI	$C = (1,41 Q^{0,547} + 0,4024 Q)p + 0,0001 Q^3 - 0,0033 Q^2 + 0,128 Q$
Boues activées (aération prolongée) / contrôle du phosphore / filtration	PRELIM-EXTEND-COAGUL-SECO-FILTRA AEROBI	$C = (1,41 Q^{0,547} + 0,594 Q - 0,0084 Q^2 + 0,00023 Q^3)p + 0,0001 Q^3 + 0,0033 Q^2$ $+ 0,0033 Q^2 + 0,128 Q$
Filtre biologique	PRELIM-EXTEND-COAGUL-SECO-FILTRA AEROBI	$C = (0,121 Q^3 - 0,215 Q^2 + 1,98 Q)p$
Filtre biologique / contrôle du phosphore	PRELIM-PRIMAR-TRICKL-COAGUL-SECO AEROBI	$C = (0,0121 Q^3 - 0,215 Q^2 + 1,98 Q)p + 0,0001 Q^3 - 0,0033 Q^2 + 1,28 Q$
Étangs aérés facultatifs	AERA	$C = (0,5946 Q^{3,3783} + 0,4717 Q)p$
Étangs aérés facultatifs / contrôle du phosphore	AERA-COAGUL	$C = (0,5946 Q^{3,3783} + 0,4717 Q)p + 0,0001 Q^3 - 0,0033 Q^2 + 0,128 Q$
Usine primaire	PRELIM-PRIMAR-AEROBI	$C = (0,6346 Q^{2,952} + 0,2024 Q)p$

REMARQUES

1. Le développement des fonctions économiques est exposé dans Pineau et Villeneuve (1984b).
2. Le coût total de construction exclut les coûts indirects (profits, contingences, surveillance de chantier, etc.). Tous les autres éléments de coût couverts par ces fonctions sont décrits dans Pineau et Villeneuve (1984b).
3. Les coûts sont en dollars canadiens 1981.
4. "p" est un facteur d'amortissement;

On a considéré un taux d'escompte de 3% pour une période de planification correspondant à une durée de vie des ouvrages de 20 ans.

5. Voir liste des abréviations des procédés unitaires qui composent les chaînes de traitement.
6. Q est le début de conception du système exprimé en MGVSD.
7. Liste des abréviations

Liste des abréviations

PRELIM : traitements préliminaires - dégrillage, dessablage

ACTIV : boues activées [ième variante]

SECO : décantation secondaire

COAGUL : précipitation du phosphore par addition d'alun à l'entrée du
décanteur secondaire (ou à la dernière cellule d'aération dans le
cas des étangs aérés facultatifs)

FILTRA : filtration

NITRIF : nitrification

FLOTAT : air flotation

FILT BIO: filtres biologiques

AERA : étangs aérés

COMPLE : boues activées procédé mélange complet

EXTEND : boues activées procédé aération prolongée

AEROBI : digestion aérobie

GRAVIT : épaissement gravitaire

tiennent compte de la composition des chaînes de traitement, des caractéristiques de conception des procédés, des principaux équipements et des conditions canadiennes de conception et de construction. Une étude complète, disponible dans une autre publication, est consacrée au développement de ces fonctions (Pineau et Villeneuve, 1984b). Le sous-programme OPTIONS appelle la sous-routine COUTS chaque fois qu'un système de traitement est sélectionné. Cette dernière retourne le coût à OPTIONS. Le processus se répète ainsi pour tous les points de rejet, afin d'établir le coût global d'assainissement à l'échelle du bassin. Ce coût global d'assainissement est la fonction objective qui doit être minimisée.

Précisons que les fonctions présentées au tableau 3.1 (coûts de construction), expriment des coûts en dollars canadiens 1981, amortis sur 20 ans avec un taux d'escompte de 3%, lequel correspond à l'écart entre l'inflation et les taux d'intérêt courants. Il s'agit de conditions d'application qu'il a été convenu de retenir et toute autre hypothèse relative à la période d'amortissement ou au taux d'escompte pourrait également être considérée.

CONTR

En tout temps durant l'optimisation, le bilan des débits d'eaux usées doit être conservé au point de rejet:

$$\sum_i \sum_j Q_{ij} = QT_i \quad [8]$$

Tableau 3.2

Fonctions économiques - Principaux systèmes de traitement
Coûts d'exploitation

TYPE D'USINE	CHAÎNE DE TRAITEMENT	COÛT D'EXPLOITATION (\$ / AN)
Système secondaire aux boues activées	PRELIM-EXTEND-SECO-AEROBI	$C = 49,68 Q^3 - 1,879 Q^2 + 51,032 Q$
Système secondaire / boues activées avec filtration	PRELIM-EXTEND-SECO-FILTRA-AEROBI	$C = 57,5 Q^3 - 2204,6 Q^2 + 57,032 Q$
Boues activées / nitrification	PRIMAR-COMPLE-SECO-NITRI-GRAVIT-AEROBI	$C = 63,5 Q^3 - 2356 Q^2 + 57036 Q$
Étangs aérés facultatifs	AERA	$C = 126,9 Q^3 - 2318,8 Q^2 + 15,984 Q$
Usine primaire	PRELIM-PRIMAR-AEROBI	$C = 59,7 Q^3 - 1627,5 Q^2 + 18808 Q$

où Q_{ij} est le débit d'eaux usées de source i (industriel, municipal, combiné) traité par un système d'épuration j , et QT_j , le débit total d'eaux usées au point de rejet considéré.

L'équation [8] est une contrainte d'égalité qui assure que le ou les systèmes d'épuration sélectionnés au point de rejet i traiteront la totalité du débit d'eaux usées en ce point (ni plus, ni moins qu'une quantité égale à Q_T ne peut être traitée). La tâche du sous-programme CONTR est d'évaluer le terme $\sum_i \sum_j Q_{ij}$ suite à la solution de traitement développée dans OPTIONS. Ce terme étant soumis à Q_T , la solution de traitement développée par l'optimisation à l'aide de OPTIONS devra être telle qu'elle satisfait cette contrainte.

DECHARG

Le sous-programme DECHARG a pour tâche de déterminer la charge totale de chaque polluant (DBO, N-NH₃, P) qui est rejetée au cours d'eau récepteur après traitement, c'est-à-dire suite à la solution de traitement développée par l'optimisateur au point de rejet. Pour un polluant n , la charge déversée en rivière au point de rejet k est telle que:

$$\left[\begin{array}{l} \text{CHARGE DU POLLUANT N} \\ \text{DÉVERSÉE EN RIVIÈRE} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{l} \text{CHARGE INITIALE DE} \\ \text{SOURCES INDUSTRIELLES} \\ \text{ET URBAINES} \end{array} \right] - \left[\begin{array}{l} \text{QUANTITÉ ENLEVÉE PAR} \\ \text{TRAITEMENT DANS LA} \\ \text{SUBROUTINE OPTIONS} \\ \text{SELON LES TECHNOLOGIES} \\ \text{SÉLECTIONNÉES} \end{array} \right]$$

[9]

Par exemple, pour une municipalité donnée, le sous-programme OPTIONS peut permettre à l'optimisateur de développer une solution de traitement

séparé en sélectionnant deux systèmes d'épuration différents pour les effluents urbains et industriels. Le sous-programme DECHARG détermine alors les charges totales déversées en rivière, compte tenu (1) de l'efficacité des chaînes de traitement sur les polluants (DBO, $N-NH_3$, P) et (2) des caractéristiques respectives des eaux usées de chaque source.

La charge déversée après traitement (polluant n) est additionnée à celle déjà présente dans le cours d'eau récepteur; sur cette base, de nouvelles conditions initiales sont définies pour la solution des équations de transport et le sous-programme RIVER est alors appelée pour simuler les conditions de qualité en rivière. Notons qu'au point de déversement, on admet que les conditions de mélange complet sont réalisées. Il s'agit là d'une hypothèse inhérente à l'utilisation d'un modèle de transport unidimensionnel et non dispersif (Street, 1983).

Notons aussi que l'équation [9] a la forme d'un bilan de masse sur les polluants au point de rejet k. La conservation de ce bilan de matière est implicitement assurée par la contrainte d'égalité imposée sur les débits d'eaux usées (équation [8]). Les débits étant affectés des concentrations de polluants (et compte tenu que l'efficacité d'enlèvement des polluants n'est pas sous le contrôle de l'optimisateur comme dans certains autres modèles; section 2.2, chap II), le respect des contraintes de débits assure implicitement la conservation du bilan de matière exprimé par l'équation [9].

RIVER

Le sous-programme RIVER est le modèle de transport qui simule les profils de concentrations en DBO, en oxygène dissous et en phosphore dans le cours d'eau récepteur. Il consiste dans un système d'équations différentielles ordinaires du 1^{er} ordre. Celles-ci sont unidimensionnelles, non dispersives et représentent des conditions de régime permanent. Les équations sont les suivantes:

$$\text{DBO:} \quad \frac{d\theta_1}{dx} = - \frac{K_1\theta_1}{\mu} \quad [10]$$

$$\text{NOD:} \quad \frac{d\theta_2}{dx} = - \frac{K_N\theta_2}{\mu} \quad [11]$$

$$\text{OD:} \quad \frac{d\theta_3}{dx} = \frac{1}{\mu} [K_2 (C_s - \theta_3) - K_1\theta_1 - K_n\theta_2] \quad [12]$$

$$\text{P:} \quad \frac{d\theta_4}{dx} = - \frac{K_p\theta_4}{\mu} \quad [13]$$

θ_1 : concentration en DBO (ultime) à une distance x dans le cours d'eau récepteur; mg/l;

- μ : vitesse moyenne d'écoulement dans une section uniforme; m/sec;
- K_1 : constante de réaction du processus de biodégradation; j^{-1} (base e);
- θ_2 : demande azotée en oxygène (NOD) dans le cours d'eau récepteur; mg/l;
- K_N : constante de réaction du processus d'oxydation de l'azote ammoniacal, assumant une cinétique du 1^{er} ordre; j^{-1} (base e);
- θ_3 : concentration en oxygène dissous à une distance x dans le cours d'eau récepteur; mg/l;
- K_2 : constante de réaération physique; j^{-1} (base e);
- C_s : concentration à saturation en oxygène dissous à la température considérée; mg/l;
- θ_4 : concentration en phosphore total (en termes de phosphore élémentaire, P) à une distance x dans le cours d'eau récepteur; mg P_t /l;
- K_p : coefficient de transport net du phosphore total; j^{-1} (base e);
- x : distance en km.

Les trois premières équations ([10], [11] et [12]) forment un système couplé, l'équation d'oxygène dissous [12] requérant la solution des deux premières [10] et [11]. Notons aussi que les principaux paramètres de ces équations (K_1 , K_2 , K_N et C_s) sont fonction de la température, ce qui peut devoir nécessiter d'introduire une quatrième équation destinée à solutionner le transport de chaleur dans le cours d'eau (Street, 1983). Dans le cas du présent modèle d'optimisation, cette dernière n'est toutefois pas utile pour les deux raisons suivantes: (1) le cours d'eau récepteur ne reçoit pas de rejet thermique et (2) sous les conditions de régime permanent considérées (étiage d'été), les conditions de température en rivière demeurent relative-

ment constantes. Par ailleurs, on aura noté que ces équations sont non dispersives. Dans ce modèle d'optimisation, le choix d'un modèle de transport non dispersif s'appuie sur le fait qu'on peut montrer que le terme de dispersion longitudinale n'est pas significatif dans le cas d'un modèle unidimensionnel (Street, 1983).

Quant au transport du phosphore, nous avons convenu de proposer un modèle simple du 1^{er} ordre (équation [13]) pour décrire globalement l'évolution de cet élément nutritif en rivière. Si l'on désire élaborer un programme de contrôle du phosphore en fonction des critères de milieu (par opposition à des critères d'effluent), dès lors il devient nécessaire de disposer d'un outil mathématique permettant de simuler l'évolution des concentrations de cet élément nutritif dans le milieu récepteur. Or, à l'heure actuelle, on peut montrer que peu d'efforts ont été consacrés à la modélisation de la dynamique du phosphore dans les systèmes rivières (contrairement aux lacs). Ceci a été mis en évidence par les travaux de Rigler (1979), de Pineau et al. (1983) et plus récemment de Sebetich et al. (1984). Quelques modèles ont été néanmoins proposés (Qual II, etc.), mais on constate à l'examen que leur application est assujettie à la détermination d'un grand nombre de paramètres, difficiles à mesurer pour la plupart. Dans le cadre du développement du présent modèle d'optimisation, nos travaux ont notamment permis d'apporter sur ce point une autre contribution. En effet, des données que nous avons recueillies sur la rivière Yamaska montrent que, sous des conditions de régime permanent (étiage d'été), l'évolution des

concentrations en phosphore total le long du cours d'eau tend à obéir à un processus de 1^{er} ordre (Pineau, 1985).

Ces résultats viennent corroborer ceux déjà présentés par Kawecka (1977) et indiquent que la dynamique complexe du phosphore total en rivière peut être globalement décrite selon un processus simple du 1^{er} ordre. Ces résultats nous ont donc conduit à proposer un modèle de transport simple, tel que donné par l'équation [31], et qui exprime le transport net du phosphore sous des conditions données de débits d'étiage.

Les valeurs d'application des paramètres des équations [28] à [31] sont données et commentées à l'annexe II. La subroutine RIVER utilise les solutions analytiques des équations [28] à [31], telles que développées par Street (1983). Ces équations sont solutionnées selon un pas de calcul correspondant à un incrément de distance, Δx , le long du cours d'eau (e.g. $\Delta x = 1$ km). Après chaque pas, le modèle vérifie (1) si le tronçon est terminé, (2) si une nouvelle section de tronçon débute, correspondant à un changement des conditions hydrauliques, à la confluence d'un tributaire, à la présence d'un réservoir ou de tout autre changement de conditions que l'utilisateur désire considérer et (3), si un nouveau point de rejet (municipalité) est présent.

MINI

La subroutine RIVER évalue les conditions de qualité tout au long du cours d'eau récepteur. À chaque kilomètre, si tel est le pas de simulation,

RIVER fournit les valeurs de concentration en DBO, en oxygène dissous et en phosphore. Chacune de ces valeurs est soumise à une contrainte de qualité qui permet de faire en sorte que les solutions de traitement développées dans OPTIONS satisfassent aux objectifs de qualité exprimés par ces contraintes. Celles-ci doivent être respectées en tous points le long du cours d'eau. Le modèle d'optimisation peut donc avoir trois contraintes de qualité (DBO, oxygène dissous, phosphore) par pas de simulation, ce qui, selon le pas choisi et selon la longueur totale du cours d'eau récepteur, entraîne un grand nombre de contraintes à manipuler pour l'optimisateur avec en plus une augmentation considérable de l'espace-mémoire requis. Toutefois, ce nombre peut facilement être réduit sachant qu'entre deux points de rejet, ce sont uniquement le minimum en oxygène dissous et les maximums en DBO et en phosphore qui sont déterminants des solutions de traitement. Tel que déjà exprimé par les contraintes d'inégalité [24] et [25], on a donc:

$$\theta_{OD} (\text{MIN}) > \text{Norme de milieu en OD} \quad [32]$$

$$O_{DBO} (\text{MAX}) \text{ et } \theta_P (\text{MAX}) < \text{Normes de milieu sur DBO et P} \quad [33]$$

Le sous-programme MINI est donc un algorithme de tri qui permet d'extraire les minimums et maximums des profils de concentrations simulés entre deux points de rejet. Seules ces valeurs sont alors soumises aux contraintes de qualité.

3.7.5. SORTIE

Il s'agit d'un sous-programme qui imprime les données d'entrée. Celle-ci n'est appelée qu'une seule fois par le programme, pour permettre d'imprimer et de vérifier les données d'entrée qui ont été utilisées.

CHAPITRE IV

APPLICATION, RÉSULTATS ET DISCUSSION

1. APPLICATION DU MODÈLE

Le modèle d'optimisation a été appliqué au bassin de la rivière Yamaska (figure 4.1). Nous résumons ici les conditions générales de cette application et nous convenons de reporter à l'annexe II la présentation complète des données utilisées.

- Le réseau d'ouvrages de traitement est constitué de huit municipalités: Granby, Cowansville, Farnham, Rougemont, St-Cézaire, St-Damase, St-Pie et St-Hyacinthe.
- Les caractéristiques des eaux usées urbaines et industrielles des huit municipalités sont présentées à l'annexe II (tableaux II.2 à II.16). Il s'agit de données réelles, établies par le ministère de l'Environnement du Québec pour la conception des ouvrages d'assainissement dans le bassin de la rivière Yamaska.
- Pour chacune des municipalités, la plupart des solutions de traitement qui peuvent être développées par le modèle d'optimisation sont décrites aux tableaux 4.0a à 4.0g. Sur la base de ces solutions applicables, près de 800 000 scénarios d'assainissement sont techniquement réalisables à l'échelle du bassin versant. Tel que discuté par Pineau et Villeneuve (1984a), rappelons que d'autres solutions de traitement pourraient aussi être considérées aux différentes municipalités selon l'expérience et le point de vue technique d'un utilisateur donné. Le cas échéant, la struc-

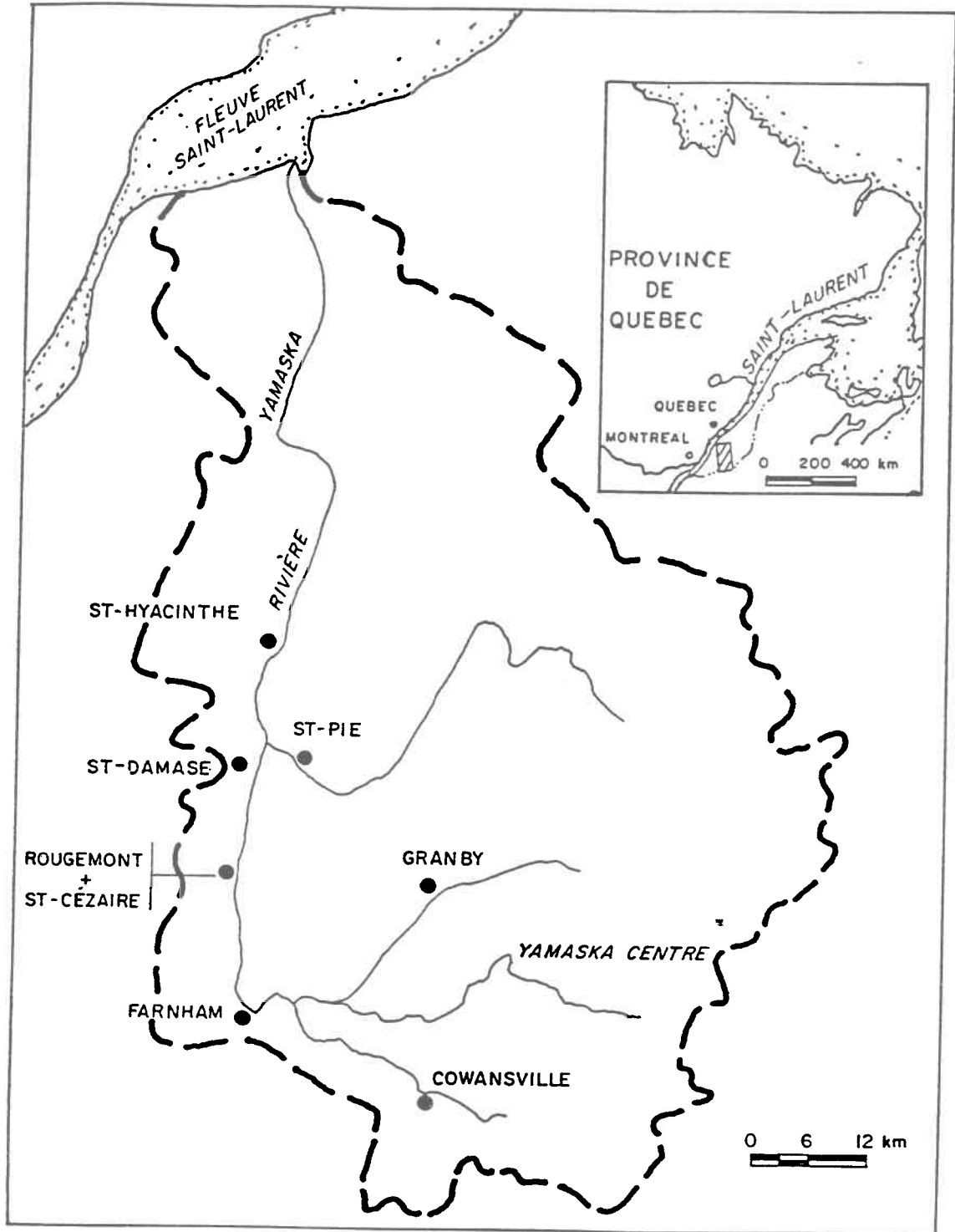


Figure 4.1: Bassin d'application

Tableau 4.0a

Solutions de traitement applicables
pour la municipalité de Granby

NO. SOLUTION		TYPE TRAITEMENT CONJOINT/SÉPARÉ	DESCRIPTION DU SYSTÈME DE TRAITEMENT*
1	Conjoint	Urbain + industriel	PRELIM-ACTIV-SECO-COAGUL Ligne de traitement des boues
2	Conjoint	Urbain + industriel	PRELIM-ACTIV-SECO-NITRIF Ligne de traitement des boues
3	Conjoint	Urbain + industriel	PRELIM-ACTIV-SECO-NITRIF-COAGUL Ligne de traitement des boues
4	Conjoint	Urbain + industriel	PRELIM-ACTIV-SECO-FILTRA Ligne de traitement des boues
5	Conjoint	Urbain + industriel	PRELIM-ACTIV-SECO-COAGUL-FILTRA Ligne de traitement des boues
6	Séparé	Laiterie + textile	PRIMAR/FLOTAT-ACTIV-SECO-COAGUL Ligne de traitement des boues
		Urbain + autres sources	PRELIM-PRIMAR-COAGUL Ligne de traitement des boues
7	Séparé	Laiterie + textile	PRIMAR/FLOTAT-ACTIV-SECO-COAGUL-FILTRA Ligne de traitement des boues
		Urbain + autres sources	PRELIM-PRIMAR Ligne de traitement des boues
8	Séparé	Laiterie + textile	PRIMAR/FLOTAT-ACTIV-SECO-NITRIF-COAGUL Ligne de traitement des boues
		Urbain + autres sources	PRELIM-PRIMAR-COAGUL Ligne de traitement des boues
9	Séparé	Laiterie	PRIMAR/FLOTAT-ACTIV-SECO-COAGUL Ligne de traitement des boues
		Urbain + textile + autres sources	AERA-COAGUL
10	Prétraitement	Laiterie	AERA
	Conjoint	Urbain + textile + prétraité	PRELIM-FILT BIO-SECO-COAGUL Ligne de traitement des boues

* Voir liste des abréviations

Source: Pineau et Villeneuve, 1984a.

Tableau 4.0b

Solutions de traitement applicables
pour la municipalité de Cowansville

NO. SOLUTION	TYPE TRAITEMENT CONJOINT/SÉPARÉ		DESCRIPTION DU SYSTÈME DE TRAITEMENT*
1	Conjoint	Urbain + industriel	PRELIM-ACTIV-SECO Ligne de traitement des boues
2	Conjoint	Urbain + industriel	PRELIM-ACTIV-SECO-COAGUL Ligne de traitement des boues
3	Conjoint	Urbain + industriel	PRELIM-ACTIV-SECO-NITRIF-COAGUL Ligne de traitement des boues
4	Conjoint	Urbain + industriel	PRELIM-ACTIV-SECO-COAGUL-FILTRA Ligne de traitement des boues
5	Conjoint	Urbain + industriel	AERA-COAGUL
		Industriel	PRIMAR-ACTIV-SECO-COAGUL Ligne de traitement des boues
6	Séparé	Urbain	AERA
		Industrie	PRIMAR-ACTIV-SECO-NITRIF-COAGUL Ligne de traitement des boues
7	Séparé	Urbain	AERA-COAGUL
		Industriel	PRIMAR-COAGUL Ligne de traitement des boues
8	Séparé	Urbain	AERA

* Voir liste des abréviations

Source: Pineau et Villeneuve, 1984a

Tableau 4.0c

Solutions de traitement applicables
pour la municipalité de Farnham

NO. SOLUTION	TYPE TRAITEMENT CONJOINT/SEPARÉ	DESCRIPTION DU SYSTÈME DE TRAITEMENT*
1	Conjoint Urbain + industriel	PRELIM-ACTIV-SECO Ligne de traitement des boues
2	Conjoint Urbain + industriel	PRELIM-ACTIV-SECO-COAGUL Ligne de traitement des boues
3	Conjoint Urbain + industriel	PRELIM-ACTIV-SECO-NITRIF-COAGUL Ligne de traitement des boues
4	Conjoint Urbain + industriel	AERA-COAGUL
5	Séparé Industriel Urbain	PRIMAR-ACTIV-SECO-FILTRA Ligne de traitement des boues AERA-COAGUL
6	Séparé Industriel Urbain	PRIMAR-ACTIV-SECO-NITRIF-COAGUL Ligne de traitement des boues AERA
7	Séparé Industriel Urbain	PRIMAR-ACTIV-SECO Ligne de traitement des boues AERA-COAGUL

* Voir liste des abréviations

Source: Pineau et Villeneuve, 1984a.

Tableau 4.0d

Solutions de traitement applicables
à Rougemont/St-Cézaire

NO. SOLUTION	TYPE TRAITEMENT (CONJOINT/SEPARÉ/PRE-TRAITEMENT)	DESCRIPTION DU SYSTÈME DE TRAITEMENT*
1	Prétraitement (industriel)	PRIMAR-FILTBIOLOG-SECO Ligne de traitement des boues
	Conjoint (industriel prétraité + urbain)	AERA-COAGUL
2	Prétraitement/Industriel	AERA
	Conjoint (industriel prétraité + urbain)	PRELIM-PRIMAR-FILTBIOLOG-SECO Ligne de traitement des boues
3	Pré-traitement/Industriel	AERA
	Conjoint (Industriel prétraité + municipal)	PRELIM-PRIMAR-FILTBIOLOG-SECO-COAGUL Ligne de traitement des boues
4	Conjoint (Industriel/municipal)	AERA-COAGUL

* Voir liste des abréviations

Source: Pineau et Villeneuve, 1984a

Tableau 4.0e

Solutions de traitement applicables
pour la municipalité de St-Damase

NO. SOLUTION	TYPE TRAITEMENT (CONJOINT/SÉPARÉ/PRE-TRAITEMENT)	DESCRIPTION DU SYSTÈME DE TRAITEMENT*
1	Prétraitement (industriel) Conjoint (industriel prétraité + municipal)	AERA PRIMAR-FILTBIOI-SECO Ligne de traitement des boues
2	Prétraitement (industriel) Conjoint (industriel prétraité + municipal)	AERA PRIMAR-FILTBIOI-SECO-COAGUL Ligne de traitement des boues
3	Conjoint (Municipal + Industriel)	AERA-COAGUL

* Voir liste des abréviations

Source: Pineau et Villeneuve, 1984a.

Tableau 4.0f

Solutions de traitement applicables
pour la municipalité de St-Pie¹

NO. SOLUTION	DESCRIPTION DU SYSTÈME DE TRAITEMENT ²
1	AERA
2	AERA-COAGUL

¹ La municipalité de St-Pie ne compte aucune industrie. Les solutions de traitement s'appliquent donc uniquement au débit domestique.

² Voir la liste des abréviations.

Source: Pineau et Villeneuve, 1984a.

Tableau 4.0g

Solutions de traitement applicables
pour la municipalité de St-Hyacinthe

NO. SOLUTION		TYPE TRAITEMENT CONJOINT/SEPARE	DESCRIPTION DU SYSTÈME DE TRAITEMENT*
1	Conjoint	Urbain + industriel	PRELIM-ACTIV-SECO-COAGUL Ligne de traitement des boues
2	Conjoint	Urbain + industriel	PRELIM-ACTIV-SECO-NITRIF Ligne de traitement des boues
3	Conjoint	Urbain + industriel	PRELIM-ACTIV-SECO-NITRIF-COAGUL Ligne de traitement des boues
4	Conjoint	Urbain + industriel	PRELIM-ACTIV-SECO-FILTRA Ligne de traitement des boues
5	Conjoint	Urbain + industriel	PRELIM-ACTIV-SECO-COAGUL Ligne de traitement des boues
6	Conjoint	Urbain + industriel	PRELIM-ACTIV-SECO-COAGUL-FILTRA Ligne de traitement des boues
7	Séparé	Industriel	PRIMAR/FLOTAT-ACTIV-SECO-COAGUL Ligne de traitement des boues
		Urbain + autres sources	PRELIM-PRIMAR-COAGUL Ligne de traitement des boues
8	Séparé	Industriel	PRIMAR/FLOTAT-ACTIV-SECO-COAGUL-FILTRA Ligne de traitement des boues
		Urbain + autres sources	PRELIM-PRIMAR Ligne de traitement des boues
9	Séparé	Industriel	PRIMAR/FLOTAT-ACTIV-SECO-NITRIF-COAGUL Ligne de traitement des boues
		Urbain + autres sources	AERA

* Voir liste des abréviations

Source: Pineau et Villeneuve, 1984a

ture du modèle permet de modifier ou d'étendre la subroutine OPTIONS à de nouvelles solutions.

- Les chaînes de traitement incluses au modèle d'optimisation sont définies au tableau 3.8 (chapitre 3) avec leurs fonctions économiques respectives.
- Le modèle d'optimisation a été appliqué pour des conditions hydrologiques en rivière correspondant à un étiage d'été de 30 jours consécutifs (débit moyen journalier) et d'une récurrence de 1 dans 20 ans. Ces conditions ont été retenues pour la présente application. Toute autre période critique peut être considérée par l'utilisateur.
- Le modèle d'optimisation tient compte des apports des principaux tributaires agricoles le long du cours d'eau récepteur. (cf. Annexe II, section III.2)
- Dans le cas de l'oxygène dissous, la contrainte de qualité utilisée est de 4 mg/l (norme de milieu). Les solutions d'assainissement doivent donc permettre de respecter cette contrainte en tous points du cours d'eau récepteur. D'autres valeurs de contrainte en oxygène dissous pourront également être considérées dans certaines applications (e.g. 3 mg/l, 5 mg/l) afin d'évaluer l'effet de la norme sur l'optimisation des solutions d'assainissement. De plus, le modèle permet aussi d'appliquer des valeurs de normes différentes le long du cours d'eau récepteur. Cette option permet d'exploiter et d'évaluer d'autres possibilités de gestion de

la qualité de l'eau. Dans le cas du phosphore, les applications du modèle sont basées sur un critère de milieu de 0,1 mg P_t/l (phosphore total) tel que rapporté par Wong et al. (1979). Toute autre valeur de critère peut être considérée par l'utilisateur.

- Enfin, les valeurs des paramètres du sous-modèle de transport (équations [28] à [31]) sont présentées et discutées à l'annexe II.

2. TYPES DE RÉSULTATS

Afin de couvrir et d'exploiter les nombreuses possibilités d'application du modèle, nous allons successivement présenter différents types de résultats que nous avons produits sur le système à l'étude. Certains fournissent la démonstration des différentes conditions que nous avons précédemment établies pour la conception d'un modèle d'optimisation (chapitres 2 et 3). Les autres sont principalement destinés à illustrer l'importance d'un tel modèle comme outil de planification, d'évaluation et d'analyse des solutions d'assainissement. Neuf principaux types de résultats seront présentés:

Résultat 1

Le modèle, outil de planification pour la construction d'un réseau optimal d'épuration.

Résultat 2

La sélection des technologies de traitement: un problème à l'échelle du bassin. Cette application porte principalement sur le rôle des interactions entre les points de rejet comme facteur d'optimisation des solutions d'assainissement.

Résultat 3

Sensibilité des solutions d'assainissement aux paramètres de modélisation du cours d'eau récepteur.

Résultat 4

Effets des fonctions économiques sur la sélection des technologies de traitement.

Résultat 5

Rôle et importance des normes dans l'élaboration des solutions d'assainissement: implications économiques et techniques.

Résultat 6

Effets des coûts d'exploitation (opération et entretien) sur la sélection des technologies de traitement.

Résultat 7

L'efficacité des systèmes de traitement dans les modèles d'optimisation: rôle et importance.

Résultat 8

Introduction du phosphore comme contrainte additionnelle dans la solution du modèle.

Résultat 9

Solution à l'échelle du bassin.

3. RÉSULTATS ET DISCUSSION

3.1 LE MODÈLE, OUTIL DE PLANIFICATION

Cette première série de résultats vise à introduire les capacités du modèle à effectuer une sélection optimale des technologies en fonction de la dynamique du milieu récepteur et des interactions entre les points de rejet.

Dans le but de faciliter la présentation et l'analyse des résultats, nous avons convenu, dans un premier temps, de limiter l'application au sous-système constitué par les municipalités en tête du bassin, soit Granby, Cowansville et Farnham. Ces trois points de rejet forment d'ailleurs un sous-système relativement complexe. Tel que montré par les figures 4.1 et 4.2, ils sont interreliés par les deux embranchements principaux de la rivière Yamaska, soit la rivière Yamaska-Nord (tronçon 1) et la rivière Yamaska Sud-Est (tronçon 2), lesquels confluent successivement avec la rivière Yamaska (tronçon 3), en amont de Farnham.

Dans cette application, la solution d'assainissement doit permettre de maintenir une concentration de 4 mg/l en oxygène dissous en tous points le long des tronçons 1 et 2 de même qu'en aval de Farnham (section 1 du tronçon 3). Nous reportons plus loin l'introduction d'un deuxième critère de milieu, en l'occurrence le phosphore, comme contrainte additionnelle sur la solution d'assainissement.

3.1.1 Solution d'assainissement de référence

Comme point de départ, considérons une solution de traitement de référence, telle que donnée au tableau 4.1. Il s'agit d'une solution classique, conçue sur la base d'un critère d'effluent en DBO_5 (30 mg/l (USEPA)) et qui consiste, pour chaque municipalité, en un traitement conjoint des effluents urbains et industriels par un système secondaire aux boues activées. Cette solution peut être considérée comme satisfaisante en regard du fait qu'elle permet de respecter un standard d'effluent accepté.

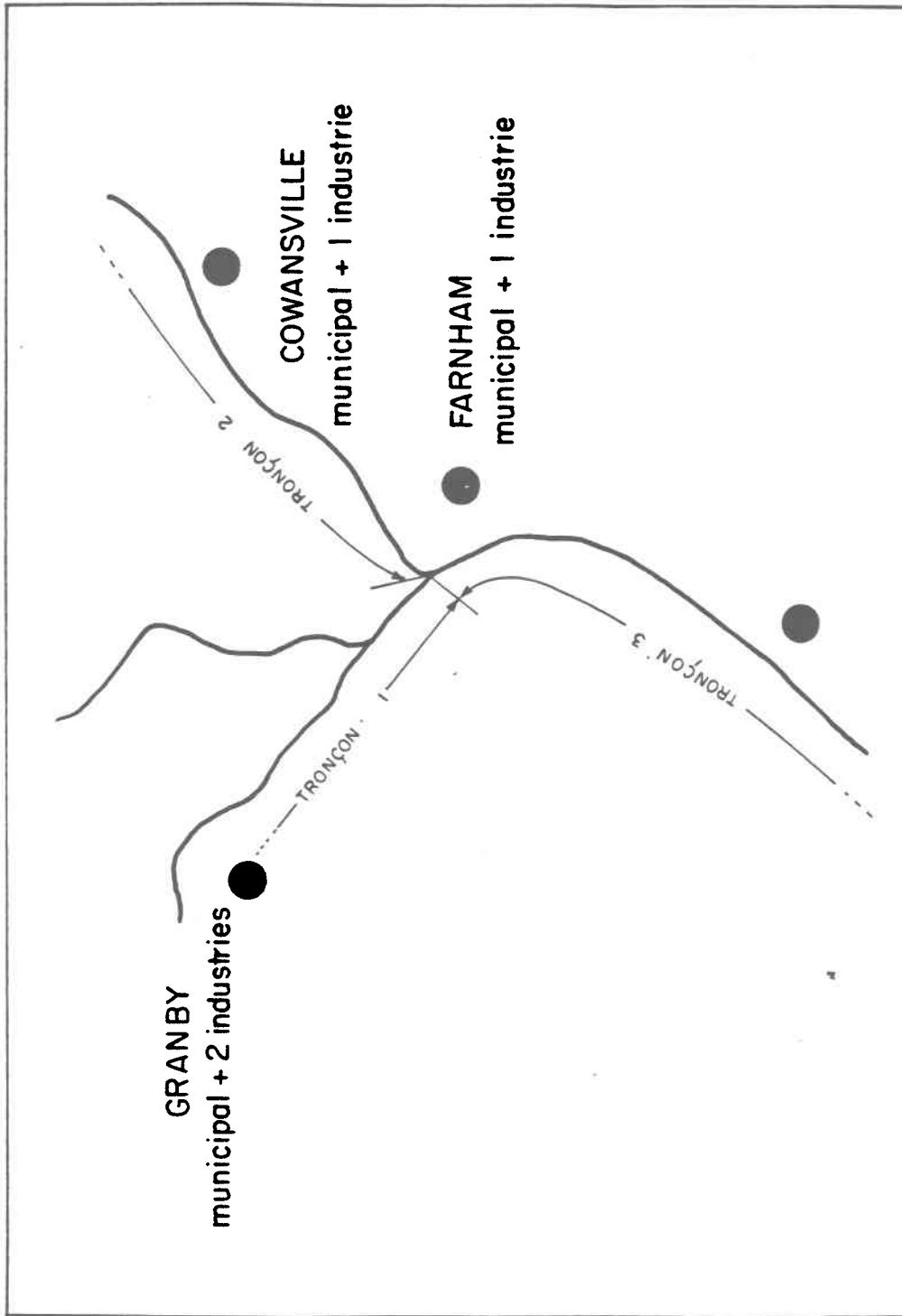


Figure 4.2: Sous-système à l'étude

Tableau 4.1

Solution de traitement de référence¹

POINT DE REJET	MUNICIPAL/INDUSTRIEL	TYPE DE TRAITEMENT	CHAÎNE DE TRAITEMENT ³	COÛT GLOBAL D'ASSAINISSEMENT ² (* 10 ⁶ \$)
Granby	Traitement conjoint	Secondaire	PRELIM-EXTEND-SECO-AEROBI	24.3
Cowansville	Traitement conjoint	Secondaire	PRELIM-EXTEND-SECO-AEROBI	
Farnham	Traitement conjoint	Secondaire	PRELIM-EXTEND-SECO-AEROBI	

¹ Solution basée sur un critère d'effluent en DBO₅ (30 mg/l).

² Coûts en capital, dollars canadiens 1981; les coûts indirects de construction, tels que définis dans CAPDET (USEPA, 1984), ont également été inclus assumant qu'ils peuvent être estimés à 30 % de l'investissement en capital.

³ Voir la liste des abréviations

Tableau 4.2
Solution de traitement obtenue par optimisation¹

POINT DE REJET	MUNICIPAL/INDUSTRIEL	TYPE DE TRAITEMENT	CHAÎNE DE TRAITEMENT ³	COÛT GLOBAL D'ASSAINISSEMENT ² (* 10 ⁶ \$)
Granby	Traitement séparé Industriel (2 industries) └───┬─── municipal	Secondaire avec filtration	PRIMAR-COMPLE-SECO-FILTRA GRAVIT-AEROBI	15.4
Cowansville	Traitement conjoint	Usine primaire Étangs aérés facultatifs	PRELIM-PRIMAR-AEROBI AERA	
Farnham	Traitement conjoint	Étangs aérés facultatifs	AERA	

¹ Solution basée sur un critère de milieu en oxygène dissous de 4 mg/l.

² Coûts en capital, dollars canadiens 1981; Les coûts indirects de construction, tels que définis dans CAPDET (USEPA, 1981) au tableau 4.1, ont également été inclus assumant qu'ils peuvent être estimés à 30 % de l'investissement en capital.

³ Voir la liste des abréviations

3.1.2 Solution de traitement obtenue par optimisation

Le tableau 4.2 présente la solution d'assainissement qui a été obtenue par optimisation pour le sous-système des trois municipalités de Granby, Cowansville et Farnham (figures 4.1 et 4.2). Cette solution, rappelons-le, est couplée au système du cours d'eau récepteur. À la différence de la solution de référence, celle-ci est basée sur un critère de milieu, par opposition à un critère d'effluent. En tous points du cours d'eau, elle permet d'assurer de maintenir une concentration en oxygène dissous de 4 mg/l sous les conditions en rivière considérées (annexe 2). L'examen de cette solution permet de faire ressortir quatre faits marquants:

1. Dans un premier temps, on constate que la recherche d'une solution économique optimale repose sur un traitement séparé des effluents urbains et industriels à Granby, contrairement à la solution de référence qui est basée sur un traitement conjoint. On peut montrer, en effet, que le modèle d'optimisation rejette invariablement le choix d'une solution en traitement conjoint pour cette municipalité. Ceci s'explique aisément. Dans le cas de Granby, les eaux usées municipales sont fortement diluées. De fait, le débit actuel de conception établi par le ministère de l'Environnement du Québec pour cette usine est de 50 000 m³/j dont 20 000 m³/j (soit 45 % du débit de conception) sont dus au captage et à l'infiltration dans le réseau municipal (Vézina, Fortier & Ass., 1982). Par contre, les deux sources d'eaux usées industrielles de Granby ont des charges polluantes très élevées et très concentrées (tableau II.9,

annexe II). Pour pouvoir satisfaire la contrainte de qualité dans le milieu récepteur, le modèle doit traiter au maximum la charge polluante de Granby et on observe, de fait, qu'il sélectionne une chaîne de traitement avec filtration pour les eaux usées industrielles, lesquelles comptent pour 80 % de la charge totale en DBO de ce point de rejet. Pour pouvoir traiter le même équivalent de charge en conjoint, c'est-à-dire en incluant les eaux municipales, le coût d'une chaîne secondaire avec filtration devient alors prohibitif, en dépit de l'économie d'échelle réalisable. En somme, le débit d'infiltration est tel qu'il rend l'économie d'échelle inopérante.

Une solution en traitement séparé a donc été développée par le modèle, basée sur la sélection de deux systèmes d'épuration. Les deux sources industrielles sont traitées conjointement par une chaîne secondaire avec filtration et les effluents municipaux sont dirigés vers une usine primaire.

2. Un deuxième élément d'analyse est relié au fait que le modèle d'optimisation sélectionne une chaîne secondaire avec filtration à Granby (pour les rejets industriels). Ceci suggère que la solution de référence, telle que donnée au tableau 4.1 pour Granby, est insuffisante pour satisfaire le critère de qualité en oxygène dissous dans le milieu récepteur. Ceci avait d'ailleurs été mis en évidence au chapitre 1.
3. À Cowansville et Farnham, le modèle maintient une solution d'assainissement basée sur un traitement conjoint des effluents urbains et indus-

triels. Toutefois, à la différence de la solution de référence, un système d'étangs aérés facultatifs est sélectionné au lieu d'une chaîne secondaire aux boues activées. Ce choix tient compte que le système d'étangs aérés facultatifs a une efficacité moindre que la chaîne secondaire aux boues activées. C'est là une hypothèse du modèle et nous référons à Pineau et Villeneuve (1984a) pour toute discussion sur cet aspect.

4. Coûts d'assainissement

Les tableaux 4.1 et 4.2 mettent également en évidence l'importance des implications économiques qui sont associées aux deux solutions applicables.

3.2 INTERACTIONS ENTRE LES POINTS DE REJET

Dans les chapitre I et III, nous avons posé que la planification des solutions d'assainissement est un problème d'ingénierie qui est fondamentalement dimensionné à l'échelle du bassin. Avec cette application, le modèle vérifie ce principe clé en démontrant le rôle des interactions entre les points de rejet du bassin via la dynamique du cours d'eau récepteur.

Tel qu'indiqué à l'annexe 2, les concentrations en azote ammoniacal des rejets urbains et municipaux ne sont pas disponibles. Pour les fins de la présente application, nous avons donc utilisé des valeurs types, tirées de la littérature et applicables à des eaux usées moyennement chargées (Metcalf & Eddy Inc., 1979). Dans le cas où les concentrations réelles seraient plus

élevées, nous avons voulu en étudier l'effet sur la solution d'assainissement. Dans un premier temps, nous avons donc augmenté la charge en azote ammoniacal d'origine municipale à Cowansville (concentration augmentée de 20 à 30 mg/l). Cette augmentation a été appliquée uniquement à Cowansville, et seulement pour les eaux usées urbaines. Par rapport à la solution précédente (tableau 4.2), toutes les autres conditions sont demeurées inchangées. La solution obtenue par optimisation est présentée au tableau 4.3. L'examen de la solution de traitement fait ressortir un résultat fondamental. On constate, en effet, que c'est à Granby que s'est traduite l'implication de traitement résultant d'une augmentation de l'azote ammoniacal dans les effluents municipaux de Cowansville (cf. figure 4.2; tableaux 4.2 et 4.3).

1. À Cowansville, la solution de traitement est demeurée inchangée, en dépit de l'augmentation de la charge en azote ammoniacal.
2. Par contre, à Granby, la solution de traitement a été substantiellement modifiée. Au lieu d'un traitement conjoint des deux sources industrielles par une chaîne secondaire avec filtration (cf. solution tableau 4.2), le modèle choisit la solution d'un traitement à la source à chacune des deux industries. Pour l'industrie B, le modèle opte pour un traitement des effluents avec un système secondaire avec filtration alors qu'il sélectionne un système secondaire avec nitrification pour l'industrie A. Cette solution d'un traitement à la source des deux industries demeure assujettie aux valeurs de charge que nous avons utilisées pour l'azote ammoniacal et aussi à l'efficacité des systèmes de

Tableau 4.3
Effet d'une augmentation de la charge
municipale en azote ammoniacal à Cowansville¹

POINT DE REJET	MUNICIPAL/INDUSTRIEL	TYPE DE TRAITEMENT	CHAÎNE DE TRAITEMENT ³	COÛT GLOBAL D'ASSAINISSEMENT ² (x 10 ⁶ \$)
Granby	Traitement séparé Industrie A	Secondaire Nitrification	PRIMAR-COMPLE-SECO-NTRICK GRAVIT-AEROBI	17,5
	Industrie B	Secondaire Filtration	PRIMAR-COMPLE-SECO-FILTRA GRAVIT-AEROBI	
	Municipal	Usine primaire	PRELIM-PRIMAR-AEROBI	
Cowansville	Traitement conjoint	Étangs aérés facultatifs	AERA	
	Traitement conjoint	Étangs aérés facultatifs	AERA	
Farnham	Traitement conjoint	Étangs aérés facultatifs	AERA	

¹ Solution de traitement obtenue par optimisation. Par rapport à la solution du tableau 4.2, la seule condition d'optimisation qui fut modifiée est la charge en azote ammoniacal d'origine municipale à Cowansville. Celle-ci fut augmentée de 20 à 30 mg/l, toute autre chose demeurant par ailleurs inchangée.

² Coûts en capital, dollars canadiens 1981; les coûts indirects de construction, tels que définis dans CAPDET (USEPA, 1981), ont également été inclus assumant qu'ils peuvent être estimés à 30 % de l'investissement en capital.

³ Voir la liste des abréviations

traitement (comme nous le verrons plus particulièrement à la section 3.7). Le modèle établit néanmoins que cette solution est la plus économique pour les conditions considérées.

3. À Farnham, la solution de traitement demeure inchangée.

Ces résultats sont d'une importance majeure, car ils fournissent une démonstration directe du rôle des interactions entre les points de rejet. comme facteur d'optimisation des solutions d'assainissement à l'échelle du bassin. Utilisons la figure 4.2 et constatons les faits suivants qui ressortent de ces résultats:

1. D'abord, le modèle établit que l'augmentation de la charge en azote ammoniacal à Cowansville n'entraîne pas de conditions critiques pour le cours d'eau récepteur en aval de ce point de rejet (tronçon 2). En effet, la solution de traitement à Cowansville est demeurée inchangée.
2. Le modèle met en évidence que c'est en aval de Farnham - soit dans le tronçon 3 - que les conditions critiques apparaîtront suite à l'augmentation de la charge polluante au point de rejet amont.
3. Parce qu'il intègre et tient compte simultanément des conditions de transport sur les trois tronçons, des processus de biodégradation et de nitrification, des conditions de débits, des apports des tributaires, des bilans de charges en rivière, des débits à traiter selon les

sources, etc., le modèle permet d'établir que c'est à Granby qu'il est le plus économique d'intervenir et d'abaisser la charge en azote ammoniacal (et non à Farnham, ni à Cowansville).

4. En raison des interactions entre les points de rejet via le cours d'eau récepteur, le modèle met donc en évidence qu'une charge en azote ammoniacal plus grande à Cowansville entraîne la sélection d'un procédé de nitrification à Granby comme solution d'assainissement économiquement optimale pour les conditions considérées.

3.2.1 Optimisation avec augmentation de la charge N-NH₃

Dans la solution précédente, l'augmentation de concentration en azote ammoniacal avait été appliquée aux effluents municipaux uniquement. Dans un deuxième temps, nous avons alors considéré une augmentation des charges en azote à la fois sur les eaux usées municipales et industrielles. Les concentrations des deux sources ont été augmentées de 20 à 30 mg/l, toutes les autres conditions demeurant par ailleurs inchangées.

La solution ainsi obtenue par optimisation est présentée au tableau 4.4. Par rapport à la solution précédente (tableau 4.3), on constate cette fois qu'un apport additionnel d'azote par les eaux usées industrielles a eu une implication directe à Cowansville. Le tronçon 2 (cf. figure 4.2) ne pouvant admettre cette charge additionnelle, des conditions critiques en rivière se sont établies en aval de Cowansville et la sélection d'un procédé de nitrification est alors devenue nécessaire en ce point de

Tableau 4.4
Effet d'une augmentation de charge en azote ammoniacal à Cowansville: municipal et industriel¹

POINT DE REJET	MUNICIPAL/INDUSTRIEL	TYPE DE TRAITEMENT	CHAÎNE DE TRAITEMENT ³	COÛT GLOBAL D'ASSAINISSEMENT ² (x 10 ⁶ \$)
Granby	Traitement séparé			20,7
	— Industrie A	Secondaire Nitrification	PRIMAR-COMPLE-SECO-NTRICK GRAVIT-AEROBI	
	— Industrie B	Secondaire Filtration	PRIMAR-COMPLE-SECO-FILTRA GRAVIT-AEROBI	
— Municipal	Usine primaire	PRELIM-PRIMAR-AEROBI		
Cowansville	Traitement séparé			
	— Industriel	Secondaire Nitrification	PRIMAR-COMPLE-SECO-NTRICK GRAVIT-AEROBI	
	— Municipal	Étangs aérés facultatifs	AERA	
Farnham	Traitement conjoint	Étangs aérés facultatifs	AERA	

¹ Solution de traitement obtenue par optimisation. Par rapport à la solution du tableau 4.2, la seule condition d'optimisation qui fut modifiée est la charge en azote ammoniacal des sources urbaines et industrielles à Cowansville. Elles ont été augmentées de 20 à 30 mg/l, toute autre chose demeurant par ailleurs inchangée.

² Coûts en capital, dollars canadiens 1981; les coûts indirects de construction, tels que définis dans CAPDET (USEPA, 1981), ont également été inclus assumant qu'ils peuvent être estimés à 30 % de l'investissement en capital.

³ Voir la liste des abréviations

rejet. On aura noté que le modèle d'optimisation a choisi une solution en traitement séparé à Cowansville: étangs aérés facultatifs pour le traitement des effluents municipaux et chaîne secondaire avec nitrification pour l'industriel. À Granby, le modèle maintient la même solution que précédemment (tableau 4.3).

L'augmentation des charges en azote ammoniacal des sources urbaines et industrielles de Cowansville introduit donc la sélection de deux procédés de nitrification dans la solution globale d'assainissement: l'un à Granby et l'autre à Cowansville même. Par ces résultats, le modèle établit qu'il est plus économique de maintenir à Granby la nitrification qui est rendue nécessaire pour la charge municipale de Cowansville, plutôt que d'effectuer la totalité de la nitrification des sources urbaines et industrielles de Cowansville en traitement conjoint. La sélection de deux systèmes de traitement à Cowansville (étangs aérés + système secondaire avec nitrification) et d'un procédé de nitrification à Granby constitue une solution d'assainissement plus économique que celle qui pourrait être envisagée sur la base d'un traitement conjoint avec nitrification à Cowansville et sans nitrification à Granby.

3.2.2 Bases pour la planification des solutions d'assainissement dans le sous-système de ces trois municipalités

De la même façon qu'à Cowansville, nous avons également vérifié le cas où les concentrations d'azote ammoniacal réelles seraient plus élevées à

Farnham que les valeurs théoriques que nous avons utilisées. Nous avons successivement augmenté (de 20 à 30 mg/l) les concentrations des eaux municipales seules, des eaux industrielles seules et des deux à la fois. Nous avons également vérifié les effets d'une augmentation simultanée des charges à Cowansville et à Farnham. Dans tous les cas, la solution de traitement a été maintenue à Farnham, soit un traitement conjoint des effluents urbains et industriels par un système d'étangs aérés facultatifs.

La synthèse de ces différentes optimisations permet de ressortir des indications importantes pour la planification des solutions d'assainissement dans le sous-système de ces trois municipalités.

1. Dans tous les cas, une solution optimale d'assainissement repose sur un traitement séparé à Granby.
2. Dans le tronçon 1, en aval de Granby, l'azote ammoniacal est une variable maîtresse des conditions de qualité dans le milieu récepteur. Il en résulte une grande sensibilité de la solution de traitement en ce point de rejet. On a montré qu'une variation des charges en azote à Cowansville entraînent des implications directes sur la solution de traitement à Granby.
3. Pour Cowansville et Granby, la connaissance des apports en azote selon leur provenance industrielle ou urbaine est d'une importance réelle pour la sélection des chaînes de traitement.

4. À Cowansville, on constate qu'une solution optimale d'assainissement peut reposer sur un traitement conjoint, sans nitrification, ceci dans la mesure où l'hypothèse de faibles concentrations en azote ammoniacal s'avère valable pour les eaux usées de ce point de rejet.
5. Dans tous les cas, l'azote ammoniacal n'est pas un facteur déterminant de la solution de traitement à Farnham. La sélection d'un procédé de nitrification n'a pas à être prévue dans l'élaboration de la chaîne de traitement en ce point.
6. Dans tous les cas, une solution optimale d'assainissement implique un traitement conjoint à Farnham (industriel + municipal).

3.3 SENSIBILITÉ DES SOLUTIONS D'ASSAINISSEMENT AUX PARAMÈTRES DU COURS D'EAU RÉCEPTEUR

Dans cette application, nous nous sommes intéressés à la sensibilité des solutions d'assainissement aux paramètres suivants:

- vitesse d'écoulement, μ ;
- constante de biodégradation, k_1 ;
- constante de nitrification, k_n ;
- constante de réaération physique, k_2 .

Beaucoup d'efforts peuvent être consacrés à la détermination de ces paramètres et plus particulièrement encore s'il s'agit de considérer un

système-rivière dans son entier. Or, en permettant d'apprécier la sensibilité des solutions d'assainissement à ces différents paramètres, le modèle d'optimisation ouvre de nouvelles possibilités d'analyse de la dynamique du milieu récepteur et fournit sur cette base des indications utiles (quelques fois même inattendues) pour rationaliser les efforts consacrés à la détermination de ces paramètres.

Nous avons effectué des optimisations sur le sous-système Granby - Cowansville - Farnham, comme précédemment. Les données de ces optimisations sont les mêmes que celles qui avaient été utilisées pour l'application faite à la section 3.2.1, et dont la solution est présentée au tableau 4.4. Par rapport à cette application, la seule différence ici est que nous avons effectué les optimisations en faisant varier les paramètres μ , k_1 , k_2 et k_n sur le tronçon 2 uniquement et ensuite sur le tronçon 1 uniquement. Dans chaque cas, les optimisations ont été faites en considérant successivement différents incréments sur l'un ou l'autre de ces paramètres. Les résultats obtenus sont les suivants:

1. Les solutions de traitement des trois municipalités sont demeurées insensibles à un incrément de 50 % de la valeur de μ , k_1 et k_n sur le tronçon 2. Dans tous les cas, la solution de départ déjà présentée a été maintenue (tableau 4.5a).
2. Par contre, la solution globale d'assainissement s'est avérée très sensible aux variations (+ 50 %) du coefficient de réaération physique (k_2)

Tableau 4.5
Sensibilité des solutions d'assainissement
au coefficient de réaération physique K_1

Tableau 4.5a - Rappel de la solution obtenue section 3.2.1			
POINT DE REJET	MUNICIPAL/INDUSTRIEL	TYPE DE TRAITEMENT	CHAÎNE DE TRAITEMENT ³
Granby	Traitement séparé Industrie A Industrie B Municipal	Secondaire Nitrification	PRIMAR-COMPLE-SECO-NTRICK GRAVIT-AEROBI
		Secondaire Filtration	PRIMAR-COMPLE-SECO-FILTRA GRAVIT-AEROBI
		Usine primaire	PRELIM-PRIMAR-AEROBI
Cowansville	Traitement séparé Industriel Municipal	Secondaire Nitrification	PRIMAR-COMPLE-SECO-NTRICK GRAVIT-AEROBI
		Étangs aérés facultatifs	AERA
Farnham	Traitement conjoint	Étangs aérés facultatifs	AERA

Tableau 4.5b
Effet d'une variation des conditions de réaération sur le tronçon 2

POINT DE REJET	MUNICIPAL/INDUSTRIEL	TYPE DE TRAITEMENT	CHAÎNE DE TRAITEMENT ³
Granby	Traitement séparé Industriel (2 industries) municipal	Secondaire avec filtration	PRIMAR-COMPLE-SECO-FILTRA GRAVIT-AEROBI
		Usine primaire	PRELIM-PRIMAR-AEROBI
Cowansville	Traitement conjoint	Étangs aérés	AERA
Farnham	Traitement conjoint	SOLUTION INCHANGÉE	

Tableau 4.5c
Effet d'une variation (+ 50 %) des conditions
de réaération physique sur le tronçon 1

POINT DE REJET	MUNICIPAL/INDUSTRIEL	TYPE DE TRAITEMENT	CHAÎNE DE TRAITEMENT ³
Granby	Traitement séparé Industriel (2 industries) municipal	Secondaire	PRIMAR-COMPLE-SECO-GRAVIT AEROBI
		Usine primaire	PRELIM-PRIMAR-AEROBI
Cowansville	Traitement conjoint	Étangs aérés	AERA
Farnham	Traitement conjoint	SOLUTION INCHANGÉE	

sur le tronçon 2. Ces résultats sont présentés au tableau 4.5b. Fait majeur à constater, un changement des conditions de réaération sur le tronçon 2 - c'est-à-dire en aval de Cowansville - a entraîné une modification de la solution de traitement, non seulement à Cowansville, mais aussi à Granby. Ces résultats apportent encore la démonstration du caractère fondamental des interactions entre les points de rejets via la dynamique du cours d'eau récepteur.

3. Sur le tronçon 1, en aval de Granby, la situation est toute autre. Contrairement au tronçon 2, la constante de biodégradation (k_1) joue un rôle critique sur la solution de traitement. En effet, pour une variation de + 50 % de k_1 , le modèle établit qu'aucune solution de traitement à Granby ne peut permettre de satisfaire la contrainte de qualité en oxygène dissous sur le tronçon 1. De même en est-il de la constante de nitrification k_n .
4. À l'instar du tronçon 2, une variation du coefficient de réaération (+ 50 %) sur le tronçon 1 a également eu une incidence sur les solutions de traitement et plus importante encore que dans le cas précédent. Le tableau 4.5c fait état des modifications qui ont été obtenues par une variation de ce paramètre.

À la suite de ces tests de sensibilité, il ressort que les solutions d'assainissement sont davantage surbordonnées au coefficient de réaération k_2 qu'aux autres paramètres considérés.

En termes d'efforts de calage, on constate que la précision s'impose sur le tronçon 1 dans l'estimation des paramètres μ , k_1 , k_2 et k_n . Par contre, sur le tronçon 2, seul k_2 requiert un effort important de calage. En raison du fait que k_2 est étroitement lié aux caractéristiques hydrauliques, ces résultats conduisent notamment à imposer un niveau de résolution plus grand dans le découpage du cours d'eau en sections.

3.4 EFFET DES FONCTIONS ÉCONOMIQUES SUR LA SÉLECTION DES TECHNOLOGIES DE TRAITEMENT

L'adéquation entre les fonctions économiques et le contenu technologique des systèmes d'épuration qu'elles représentent constitue une condition nécessaire au développement d'un modèle d'optimisation. Nous avons clairement exposé cette condition dans les chapitres II et III et nous en avons fait un principe directeur qui conditionne supporter l'ensemble de la conception du modèle.

En illustrant l'effet des fonctions économiques sur la sélection des systèmes de traitement par le modèle d'optimisation, les résultats de cette application fournissent la démonstration de cette condition.

Nous avons repris l'application de la section 3.2.1 en changeant les fonctions-coûts (capital) des systèmes de traitement. Toutes les autres conditions sont demeurées inchangées. Les mêmes systèmes de traitement sont conservés; seules les fonctions économiques ont été remplacées par des fonc-

tions approximatives qui, tout en respectant l'ordre de grandeur des coûts respectifs de chaque chaîne de traitement, présentent un niveau de résolution plus faible que celles utilisées dans le modèle. Une optimisation a été effectuée sur cette base et les résultats obtenus révèlent que la sélection des systèmes de traitement a substantiellement été affectée. Nous référant à la solution qui avait été obtenue à la section 3.2.1 (tableau 4.4), on constate les faits suivants:

1. À Granby, les nouvelles fonctions-coûts ont conduit le modèle à ne pas sélectionner de chaîne de traitement secondaire avec nitrification, mais uniquement une chaîne secondaire avec filtration pour traiter conjointement les deux sources industrielles.
2. Ce résultat est très révélateur. Il met d'abord en évidence que sous les conditions de l'application 3.2.1, une solution de traitement sans nitrification à Granby peut permettre de satisfaire les contraintes de qualité dans le milieu récepteur. Il s'agit donc de deux solutions d'assainissement fort différentes: la première (solution originale) fait intervenir un procédé de nitrification alors que la seconde (résultant de fonctions économiques différentes) est essentiellement basée sur un degré élevé de réduction de la DBO (chaîne secondaire avec filtration). Dans les deux cas, les objectifs de qualité sont réalisés pour le cours d'eau récepteur. La sélection de l'une ou l'autre ne dépend alors plus que de l'aptitude des fonctions économiques à représenter adéquatement les chaînes de traitement. Dans le deuxième cas, la fonc-

tion économique surestime les coûts de nitrification. Le modèle a donc opter pour la filtration, puisqu'il a pu établir que cette solution était équivalente à la première, vis-à-vis du respect des normes.

3. Cette application illustre par ailleurs l'étonnante capacité du modèle à effectuer la sélection des technologies de traitement.
4. À Cowansville et à Farnham, les solutions de traitement sont demeurées inchangées.

3.5 RÔLE ET IMPORTANCE DES CONTRAINTES (NORMES) DE QUALITÉ

Les normes ont un effet considérable sur la planification des solutions d'assainissement et sur leurs coûts. Les normes d'effluent, nous l'avons déjà discuté, constituent des contraintes d'ordre législatif qui sont sans rapport avec le milieu récepteur; les normes de milieu, par contre, ont une signification environnementale réelle du fait qu'elles permettent de concevoir une solution technique en fonction de la réponse du milieu récepteur. Toutefois, dans un cas comme dans l'autre, c'est la valeur de la norme qui pré-détermine le domaine de solutions possibles, d'où son rôle majeur sur la planification, les coûts et les décisions d'assainissement. Si la norme change, alors le domaine des solutions techniques possibles change également, entraînant une nouvelle sélection de technologies et/ou une configuration différente de la solution d'assainissement à l'échelle du bassin.

Nous avons repris l'application de la section 3.2.1 (tableau 4.4) et nous avons effectué une optimisation sous des conditions de normes plus élevées, soit 5 mg/l au lieu de 4 mg/l (norme de milieu sur l'oxygène dissous en tous points du cours d'eau récepteur). Les résultats sont présentés au tableau 4.6. Comme première observation, on constate qu'un resserrement de la norme de qualité se traduit par une modification de la solution de traitement à Granby. D'une solution basée sur un traitement séparé des effluents municipaux par un système primaire, on passe alors à un traitement conjoint des eaux usées municipales et industrielles (industrie A) par une chaîne secondaire avec nitrification. De fait, on a vérifié, par d'autres optimisations non présentées ici, qu'il est impossible de satisfaire une norme de 5 mg/l sur la base d'un traitement primaire séparé des eaux municipales. Le relèvement de la norme impose une réduction accrue des charges en DBO et/ou en azote ammoniacal. À cet égard, les résultats montrent que c'est $N-NH_3$ qui devient critique pour le respect de la norme puisque le modèle choisit de diriger les effluents municipaux vers une chaîne secondaire avec nitrification plutôt que vers un système permettant un degré élevé de réduction de la DBO (chaîne secondaire avec filtration).

Au niveau des coûts de traitement, on constate évidemment que le resserrement de la norme entraîne des implications économiques importantes. Tel que montré au tableau 4.6, le traitement conjoint municipal / industriel à Granby constitue une solution impliquant des investissements additionnels de plus de 13 millions \$ par rapport à la solution précédente. Les implications techniques et économiques qui sont rattachées au choix de la

Tableau 4.6
Sensibilité de la solution d'assainissement
à la norme de qualité

Tableau 4.6a
Rappel de la solution obtenue à la section 3.2.1
Norme de milieu à 4 mg/l O.D.

POINT DE REJET	MUNICIPAL/INDUSTRIEL	TYPE DE TRAITEMENT	CHAÎNE DE TRAITEMENT ³	COÛT GLOBAL D'ASSAINISSEMENT ² (x 10 ⁶ \$)
Granby	Traitement séparé Industrie A	Secondaire Nitrification	PRIMAR-COMPLE-SECO-NTRICK GRAVIT-AEROBI	20,7
	Industrie B	Secondaire Filtration	PRIMAR-COMPLE-SECO-FILTRA GRAVIT-AEROBI	
	Municipal	Usine primaire	PRELIM-PRIMAR-AEROBI	
Cowansville	Traitement conjoint	Étangs aérés facultatifs	AERA	
Farnham	Traitement conjoint	Étangs aérés facultatifs	AERA	

Tableau 4.6b
Norme de milieu à 5 mg/l O.D.

POINT DE REJET	MUNICIPAL/INDUSTRIEL	TYPE DE TRAITEMENT	CHAÎNE DE TRAITEMENT ³	COÛT GLOBAL D'ASSAINISSEMENT ² (x 10 ⁶ \$)
Granby	Traitement séparé Municipal en conjoint avec Industrie A	Secondaire Nitrification	PRIMAR-COMPLE-SECO-NTRICK GRAVIT-AEROBI	34,2
	Industrie B	Secondaire Filtration	PRIMAR-COMPLE-SECO-FILTRA GRAVIT-AEROBI	
Cowansville	Traitement séparé Industriel	Secondaire Nitrification	PRIMAR-COMPLE-SECO-NTRICK GRAVIT-AEROBI	
	Municipal	Étangs aérés facultatifs	AERA	
Farnham	Traitement conjoint	Étangs aérés facultatifs	AERA	

norme constituent donc un aspect essentiel des décisions d'assainissement qui doivent être prises.

3.6 COÛTS D'EXPLOITATION (OPÉRATION ET ENTRETIEN)

Dans toutes les applications précédentes, les optimisations ont été effectuées sans tenir compte des coûts d'exploitation annuels des systèmes de traitement. Uniquement les coûts en capital de construction ont été considérés (rappelons que les différents éléments du coût de construction sont définis dans Pineau et Villeneuve, 1984b).

Les fonctions économiques des coûts d'exploitation, telles que définies au tableau 3.8, ont donc été introduites au modèle. Sur cette base, les applications précédentes ont été reprises et un fait majeur ressort de ces résultats: d'aucune façon, les coûts d'exploitation n'ont affecté la sélection des systèmes de traitement et les solutions d'assainissement obtenues sont demeurées inchangées.

Ces résultats nous amènent, non pas à exclure les coûts d'exploitation comme facteur de sélection, mais plutôt à clairement identifier les conditions sous lesquelles ils deviennent un facteur de sélection. À cet effet, deux cas doivent être identifiés:

1. Lorsqu'il s'agit d'effectuer une sélection entre deux systèmes techniquement différents mais équivalents en termes d'efficacité. Par exemple (et en retenant des conditions d'applications identiques): un système

aux boues activées versus un système en croissance attachée; un procédé aux boues activées en aération versus un procédé aux boues activées en mélange complet, etc.

2. Lorsqu'il est possible de faire intervenir des périodes de temps variables à l'intérieur d'un horizon de planification donné. L'impact des coûts d'exploitation est fondamentalement relié aux durées sur lesquelles ils portent. Ils peuvent donc devenir un facteur critique lorsque la sélection fait aussi intervenir le moment où le système sera construit à l'intérieur de l'horizon de planification. Ce cas fut bien illustré par le modèle en programmation dynamique de Schwartz et Mays (1983).

C'est donc principalement en regard de ces deux situations particulières que les coûts d'exploitation peuvent intervenir de façon significative sur la sélection des technologies. Et ces deux situations ne s'appliquent pas au présent modèle d'optimisation.

3.7 L'EFFICACITÉ DES SYSTÈMES DE TRAITEMENT DANS LES MODÈLES D'OPTIMISATION: RÔLE ET IMPORTANCE

La définition technologique des systèmes de traitement est une condition nécessaire que nous avons placée à la base du développement de tout modèle d'optimisation applicable à la gestion des ressources en eau. Au chapitre II (section 3.2), nous avons notamment identifié l'efficacité comme un terme majeur de la définition technique d'un système de traitement.

La présente application démontre en particulier le rôle et l'importance de l'efficacité comme un facteur de la sélection des technologies de traitement.

À l'instar de la plupart des modèles d'optimisation existants, nous avons jusqu'à maintenant exprimé l'efficacité des différents systèmes par un % de réduction sur un polluant donné (tableaux II.7 et II.8, annexe II). Tous les résultats présentés jusqu'ici ont été obtenus sur cette base. Au chapitre II, nous avons par ailleurs introduit les implications, en termes d'ingénierie de traitement, qui sont reliées à une telle approche. Ces implications se vérifient aisément par l'application du présent modèle. À titre d'exemple, nous avons encore repris l'application de la section 3.2.1. et nous avons remplacé les pourcentages de réduction des systèmes secondaires par une efficacité de conception exprimée en concentration (tableaux II.7 et II.8, annexe II). L'optimisation effectuée sur cette base a produit une modification majeure de la solution de traitement à Granby. Tel que montré par les tableaux 4.4. et 4.7, on constate:

1. qu'au lieu d'un traitement à la source des deux industries, on obtient ici une solution basée sur un traitement conjoint des deux industries par une chaîne secondaire avec nitrification;
2. que la chaîne secondaire avec filtration (abattement élevé de la DBO) est éliminée de cette solution.

Tableau 4.7
Sensibilité de la solution d'assainissement
à l'efficacité des systèmes de traitement

POINT DE REJET	MUNICIPAL/INDUSTRIEL	TYPE DE TRAITEMENT	CHAÎNE DE TRAITEMENT ³
Granby	Traitement séparé Industriel (Industries A et b en conjoint)	Secondaire Nitrifica- tion	PRIMAR-COMPLE-SECO-NTRICK GRAVIT-AEROBI
	Municipal	Usine primaire	PRELIM-PRIMAR-AEROBI
Cowansville	Traitement conjoint	Étangs aérés facultatifs	AERA
Farnham	Traitement conjoint	Étangs aérés facultatifs	AERA

Ces résultats indiquent que l'utilisation d'un pourcentage de réduction avait pour effet, dans la solution précédente (tableau 4.4), de sous-estimer l'efficacité du traitement secondaire seul, d'où la nécessité pour le modèle de recourir à une chaîne secondaire comportant un procédé additionnel de filtration. En introduisant une efficacité de conception, exprimée en concentration, on a obtenu une réorganisation complète de la solution de traitement en ce point de rejet. De façon générale, c'est donc l'existence même d'une solution de traitement qui peut dépendre de la façon dont est formulée l'efficacité des systèmes.

3.8 INTRODUCTION DU PHOSPHORE COMME CONTRAINTE ADDITIONNELLE D'OPTIMISATION

Nous avons repris l'application de la section 3.2.1 en introduisant le phosphore comme contrainte additionnelle d'optimisation. En plus de devoir effectuer la sélection des systèmes de traitement en fonction des contraintes en oxygène dissous, le modèle doit maintenant permettre de satisfaire un critère de milieu de 0,1 mg/l en phosphore total. Les résultats obtenus sur cette base indiquent deux modifications importantes à la solution de traitement précédemment obtenue (tableau 4.4).

1. À Granby et à Cowansville, un contrôle du phosphore doit être effectué par précipitation physico-chimique. De plus, dans le cas de Granby, une unité de filtration est requise pour l'industrie A afin de satisfaire la contrainte sur le tronçon aval.

2. À Farnham, un traitement équivalent à la charge industrielle pourrait être suffisant pour respecter le critère en aval. Toutefois, l'efficacité qui serait alors requise s'avère supérieure aux possibilités techniques que permet un système d'étang.

Cette application renvoie au principe déjà énoncé dans les chapitres précédents quant à la définition des types de polluants dans le système modélisé. Elle démontre que l'introduction d'un troisième polluant (comme contrainte additionnelle d'optimisation) a un effet direct sur la configuration de la solution de traitement développé par le modèle. Par ailleurs, dans le cas du bassin de la rivière Yamaska, on doit convenir que l'obtention d'une solution de contrôle du phosphore nécessiterait un travail additionnel de calage des paramètres du sous-modèle de transport pour les différents tronçons considérés.

3.9 SOLUTION À L'ÉCHELLE DU BASSIN VERSANT

En raison de la grande complexité du système à l'étude, il était nécessaire de présenter les applications du modèle selon une démarche progressive, qui seule pouvait permettre d'isoler chaque type de résultat et de bien mettre en évidence les nombreux aspects de l'optimisation d'une solution d'assainissement dans un système-rivière. On comprendra aisément la difficulté de procéder à l'analyse que nous avons présentée jusqu'ici si toutes les municipalités du bassin versant avaient été considérées dans les optimisations. C'est pourquoi nous avons jugé utile de présenter les

résultats en limitant les applications du modèle aux trois municipalités en tête du bassin, soit Granby, Cowansville et Farnham. Celles-ci constituaient d'ailleurs un sous-système complexe réunissant toutes les caractéristiques nécessaires aux essais du modèle: plusieurs tronçons, présence d'effluents industriels, interactions entre les points de rejets, etc.

Cette dernière application a donc pour but de compléter l'ensemble de ces résultats en présentant une solution d'assainissement obtenue par une optimisation à l'échelle de tout le bassin. Cette solution est basée sur une norme de milieu de 4 mg/l en tous points du cours d'eau et sur une efficacité de conception exprimée en concentrations pour les systèmes secondaires. Les données d'entrée utilisées sont celles présentées à l'annexe II. Le tableau 4.8 présente cette solution et la compare à celle qui fut proposée par le ministère de l'Environnement du Québec. Dans la solution obtenue par optimisation, on reconnaîtra la sous-solution déjà obtenue au tableau 4.7 (section 3.7) pour les municipalités de Granby, Cowansville et Farnham. Nous insistons sur le fait que cette solution globale d'assainissement pour le bassin peut faire l'objet d'une analyse similaire à celle qui fut déjà présentée, notamment quant à sa sensibilité aux paramètres du cours d'eau récepteur, aux normes, aux charges polluantes des eaux usées, au phosphore comme contrainte de qualité additionnelle et aux efficacités des systèmes de traitement.

Tableau 4.8
Solution d'assainissement à l'échelle du bassin¹

MUNICIPALITÉ	SOLUTION D'ASSAINISSEMENT OBTENUE PAR OPTIMISATION	SOLUTION PROPOSÉE PAR LE MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT
Granby	<ul style="list-style-type: none"> └ Industriel (industries A et B en conjoint) Chaîne secondaire aux boues activées / ni- trification └ Municipal - Usine Primaire 	Municipal + Industriel en traitement conjoint Chaîne secondaire aux boues activées
Cowansville	<ul style="list-style-type: none"> └ Industriel - Chaîne secondaire aux boues activées / nitrification └ Municipal - Étangs aérés facultatifs 	Municipal + Industriel en traitement conjoint Chaîne secondaire aux boues activées
Farnham	Municipal + Industriel en traitement con- joint Étangs aérés facultatifs	Municipal + Industriel en traitement conjoint Chaîne secondaire aux boues activées
Rougemont St-Cézaire	Municipal + Industriel en traitement con- joint Filtre biologique ²	Municipal + Industriel en traitement conjoint Filtre biologique ²
St-Damase	Municipal + Industriel en traitement con- joint Étangs aérés facultatifs	Solution non encore déterminée Hypothèse: conjoint / étangs aérés facultatifs
St-Pie	Municipal Étangs aérés facultatifs	Municipal Étangs aérés facultatifs
St-Hyacinthe	Industriel - Chaîne secondaire aux boues activées Municipal - Usine primaire	Municipal + Industriel en traitement conjoint Chaîne secondaire aux boues activées
COUT GLOBAL D'ASSAINIS- SEMENT ³	33,0 * 10 ⁶ (\$)	41,6 * 10 ⁶ (\$)

1 Excluant le contrôle du phosphore

2 Assumant un prétraitement par étangs aérés facultatifs

3 Coût de construction, dollars canadiens 1981

CONCLUSION

CONCLUSION

1. LE MODÈLE

Nous avons développé un modèle mathématique conçu pour optimiser l'implantation d'un réseau d'usines d'épuration à l'échelle d'un bassin versant. Une caractéristique fondamentale du modèle est qu'il permet d'effectuer la sélection des technologies de traitement applicables aux différents points de rejet d'un bassin. Le modèle est non linéaire et il est résolu par programmation non linéaire, (méthode du gradient réduit généralisé).

Différents modèles d'optimisation ont été développés au cours des récentes années dans le domaine de la gestion des ressources en eau: approvisionnement et distribution d'eau, recyclage et traitement des eaux usées (chapitre II). Toutefois, nos travaux ont démontré qu'aucun des modèles d'optimisation existants ne peut permettre de répondre aux besoins et aux exigences de planification et de mise en oeuvre d'un programme d'assainissement des eaux à l'échelle d'un bassin versant. Dans un bassin comme celui de la rivière Yamaska, la réalisation d'un programme d'assainissement des eaux apporte de nouveaux éléments, encore jamais exploités et pourtant d'une importance capitale dans le développement d'un modèle d'optimisation.

Un premier volet déterminant de nos travaux a été d'établir les facteurs (en termes d'ingénierie de l'environnement) qui doivent gouverner le choix des solutions d'assainissement. Sur ce point, nos travaux ont d'abord

permis de faire la démonstration que l'approche du "cas par cas" est inacceptable et contraire à tout effort élémentaire pour tenter de rationaliser la mise en oeuvre d'un programme d'assainissement des eaux. Fondamentalement, tout effort de rationalisation et de planification relève d'une analyse qui considère le bassin versant comme un système. Au chapitre I, nous avons illustré, en utilisant les cas de municipalités du bassin de la rivière Yamaska, que la conception et l'évaluation des solutions d'assainissement dépendent de trois facteurs qui interagissent, soit: (1) les normes en relation avec la dynamique du milieu récepteur, (2) les interactions entre les points de rejet dues au système - rivière et (3) les différentes possibilités de traitement conjoint et séparé des effluents urbains et industriels. Par l'application de différents modèles de simulation, on a pu chiffrer les implications économiques de ces trois facteurs sur l'assainissement des eaux dans le bassin de la Yamaska.

Outre le fait qu'elles aient conduit à des résultats intermédiaires d'un intérêt pratique immédiat, ces simulations ont surtout mis en évidence qu'il existe un grand nombre de solutions d'assainissement possibles et réalisables à l'échelle d'un bassin. Chacun de ces scénarios a des implications économiques particulières. Devant le nombre et la complexité de ces possibilités, le développement d'un modèle d'optimisation permet de fournir un outil de planification indispensable à l'objectif de minimiser les coûts de l'assainissement des eaux.

Chaque solution d'assainissement applicable est basée sur la sélection d'une technologie donnée en fonction des trois facteurs déjà mentionnés. La capacité d'un modèle d'optimisation à élaborer un programme d'assainissement (scénario) qui minimise les coûts dépend donc de sa capacité à effectuer une sélection des technologies d'épuration en fonction de ces trois facteurs, et aussi de leurs interactions. Or, à l'instar de Schwartz et Mays (1983), on constate (chapitre II) que les modèles d'optimisation existants ne permettent pas (ou ne sont pas conçus dans le but) de sélectionner des technologies de traitement des eaux. De plus, tous les modèles existants sont développés pour des systèmes de ressources en eau limités à une ville unique et aucun ne considère le problème d'un réseau de municipalités reliées à un système - rivière en vue d'une planification à l'échelle d'un bassin. Ce sont deux aspects fondamentaux par lesquels notre projet de recherche amène une contribution nouvelle dans ce domaine.

Le développement théorique de ce modèle nous a d'abord permis de faire ressortir que la définition technologique des systèmes de traitement (eaux usées / eau potable) constitue la pièce maîtresse du développement de tout modèle d'optimisation applicable à un problème de gestion des ressources en eau, quel qu'il soit. Or, nous avons pu constater que c'est souvent l'aspect le plus faible dans les différents modèles proposés à ce jour, en

même temps aussi qu'une source majeure de limitations pour leur application. L'optimisation d'un système de ressources en eau est fondamentalement soumise à des contraintes de qualité et celles-ci gouvernent la solution du système. Là réside toute l'importance des technologies de traitement, puisque c'est précisément par elles qu'un modèle satisfait les contraintes de qualité. Sous cet aspect, le présent modèle d'optimisation atteint un haut degré de définition technologique des systèmes d'épuration: composition des chaînes de traitement, types de procédés, caractéristiques de conception, efficacité. Cette définition technologique des systèmes de traitement fut introduite comme une condition nécessaire pour avoir un modèle à n polluants et pour réaliser l'adéquation indispensable entre les types de polluants, l'efficacité et les contraintes de qualité.

Le présent modèle d'optimisation introduit aussi trois autres conditions nécessaires qui apportent, chacune, une contribution importante à l'application des techniques d'optimisation dans les problèmes de gestion des ressources en eau. Ces trois conditions sont les suivantes:

- Adéquation entre les fonctions économiques et le contenu technologique des systèmes de traitement qu'elles respectent. Cette adéquation est déterminante de la capacité d'un modèle d'optimisation à effectuer la sélection des technologies et on a démontré que cette sélection est elle-même à la base de l'obtention d'une solution optimale.
- Utilisation de la dynamique du cours d'eau récepteur comme facteur premier de la sélection des technologies de traitement.
- Optimisation à l'échelle du bassin, c'est-à-dire en considérant simultanément l'ensemble des points de rejet du bassin et de leurs interactions via le cours d'eau récepteur.

Finalement, les applications de ce modèle ont montré que la technique d'optimisation par gradient réduit généralisé est une méthode de solution des plus appropriées pour les systèmes de ressources en eau de grandes dimensions, non linéaires et comportant un grand nombre de variables de décision. La méthode est puissante, sensible et efficace dans sa convergence vers une solution optimale. Nous convenons, par ailleurs, que l'utilisation d'une technique de solution de type "mixed-integer programming" puisse également offrir un intérêt réel pour ce type de problème d'optimisation. Il est clair cependant que le choix d'une autre technique de solution a nécessairement des répercussions sur la façon dont le système est conceptualisé et modélisé, tout autant que sur la structure du modèle et peut-être, aussi, sur les résultats d'optimisation eux-mêmes. Ces aspects ouvrent évidemment d'intéressantes questions quant à l'application des techniques de recherche opérationnelles à l'optimisation des systèmes de ressources en eau.

2. RÉSULTATS

L'application du modèle permet d'exploiter différents types de résultats:

- Planification

L'application du modèle permet d'examiner un vaste registre de scénarios d'assainissement optimaux sous différentes conditions de normes, de traitement, de technologies et de conditions en rivière, ce qui permet de procéder à une analyse décisionnelle, en fonction des implications économiques de différents scénarios.

- Sensibilité

L'application du modèle permet d'étudier la sensibilité des solutions d'assainissement aux différents paramètres du système - rivière (débits, processus en rivière, apports diffus, charges, etc.) et donc d'identifier sur cette base les paramètres du milieu récepteur qui sont critiques pour la sélection des solutions de traitement.

- Contrôle et opération

L'application du modèle peut être étendue aux aspects de contrôle et d'opération des systèmes de traitement sélectionnés selon les solutions d'assainissement.

- Effets des technologies

L'application du modèle permet de mettre en évidence les aspects de conception des systèmes d'épuration qui sont critiques par rapport aux coûts de l'assainissement et des conditions de qualité atteintes en milieu récepteur.

- Recherche

Le modèle constitue un instrument de recherche puissant au niveau (1) de l'exploitation d'approches intégrées pour la gestion des ressources en

eau; de l'application de techniques mathématiques de la recherche opérationnelle aux systèmes de ressources en eau et (3) de la compréhension de la dynamique des processus en rivière.

Dans les applications que nous avons faites sur le bassin de la rivière Yamaska, tous ces types de résultats n'ont évidemment pu être exploités à fond. Plusieurs d'entre eux ont toutefois été illustrés au chapitre IV.

3. DÉVELOPPEMENT

Différents développements du modèle peuvent être envisagés à ce stade-ci:

- Expansion de la structure du modèle

Des travaux additionnels peuvent permettre de prendre en compte d'autres aspects importants d'une gestion optimale d'un système de ressources en eau:

- a) l'introduction d'éléments tels l'approvisionnement en eau et les réservoirs sur le cours d'eau;
- b) la localisation des ouvrages d'épuration, c'est-à-dire la possibilité d'inclure la régionalisation du traitement des eaux usées de plusieurs municipalités comme facteur additionnel de l'optimisation des solutions d'assainissement;

- c) l'introduction à la structure du modèle des contraintes et des technologies s'appliquant à l'approvisionnement en eau potable à partir du cours d'eau;
- d) l'ajout au modèle des technologies nouvelles de traitement des eaux usées, notamment quant aux prétraitements industriels.

- Transférabilité

Un objectif important est d'assurer la transférabilité du modèle à d'autres bassins versants. Cet objectif nécessite d'accroître la souplesse de la structure du modèle en fonction des particularités d'application qui se posent selon les bassins versants.

- Application en régime non permanent

Les variations hydrologiques dues aux crues affectent les conditions de transport en rivière. De manière à permettre une analyse des solutions d'assainissement sous des conditions de débits variables (crues épisodiques), des travaux additionnels pourraient permettre d'intégrer au modèle un mode d'application en régime non permanent. On demeure conscient, toutefois, des problèmes nombreux que soulève la modélisation du transport en rivière sous des conditions hydrologiques de crue.

BIBLIOGRAPHIE

- ASCE (American Society of Civil Engineers) (1979).
Secondary treatment alternatives: suspended growth. Journal of the Environmental Engineering Division, ASCE, 105(EE2): 283-297.
- ASCE (American Society of Civil Engineers) (1980).
Engineering design variables for the activated sludge process. Journal of the Environmental Engineering Division, ASCE, 106(EE3): 473- 503.
- BEAK CONSULTANTS LTD. (1980).
Assimilative capacity study of the lower Spanish river. Report prepared for the E.G. Eddy Forest Products, Espanola, Ontario.
- BISHOP, A.B. et R. NARAYAMAN (1977).
Seasonal and stochastic factors in water planning. Journal of the Hydraulics Division, ASCE, 103(HY10): 1159-1172.
- BODINEAU, R. (1983).
Communication personnelle. Chargé de projet à l'implantation des usines d'épuration. Ministère de l'Environnement du Québec, Assainissement urbain, Montréal.
- BOUDREAU, P. (1985).
Application du modèle d'oxygène dissous QUAL-II à la rivière Yamaska Nord. Mémoire de maîtrise, INRS-Eau, Université du Québec.
- BPR CONSULTANTS (1984)
Communication personnelle. Projet d'assainissement des eaux des municipalités du Haut de la Chaudière.
- BRILL, E.D. et M. NAKAMURA (1978).
A branch and bound method for use in planning regional wastewater treatment systems. Water Resources Research, 14(1): 109-118.
- BURRAS, N. (1986).
Department of System Engineering, . University of Arizona, Tucson.
Communication personnelle.
- CAMPBELL, P.G.C., COUTURE, P., LACHANCE, M. et L. TALBOT (1976).
Étude intégrée de la qualité des eaux des bassins versants des rivières Saint-François et Yamaska. Vol. 2: Secteur des substances nutritives. Ministère des Richesses naturelles, Direction générale des eaux, Service de la Qualité des eaux, publication Q.E.-17, 127 p.
- CARTER, K.B. (1984).
Monitor - 30/30 Hindsight. Journal of the Water Pollution Control Federation, 56(4): 301-305.
- DOBBINS, W. (1984).
BOD and oxygen relationships in stream, Journal of the sanitary Engineering Division, ASCE, SA3, 53-79.

- EDINGER, J.E., BRADY, D.K. et J.C. GEYER (1974).
Heat exchange and transport in the environment. Electric Power Research Institute, Palo Alto, California, ERPI, n° 74-049-00-3.
- ENVIRONMENT CANADA (1978).
Summary report on phosphorus removal - Research report n° 83. Research program for the abatement of municipal pollution within the provisions of the Canada-Ontario agreement on Great Lakes Water Quality.
- FRANKLIN, W.E., KLIMA, K.S., WYCOLF, R.L. et L.D. McKAY (1984).
Integrating water quality and construction grants management. Water Pollution Control Federation, 56(9): 1022-1029.
- GOWDA, T.P.H. (1983).
Modelling nitrification effects on the dissolved oxygen regime of the Speed river. Water Research, 53(11): 1559-1563.
- HARRIS, R.W., CULLINANE, Jr. M.J. et P.T. SUN (1982).
Process design and cost estimating algorithms for the Computer Assisted Procedure for Design and Evaluation of Wastewater Treatment Systems (CAPDET). Prepared for U.S. Environmental Protection Agency by the Environmental Engineering Division of the U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, Mississippi.
- HUNTER, J. (1977).
Dissolved oxygen and biochemical oxygen demand. In: River Quality Assessments. Proceedings of the American Water Resources Association. Tucson, Arizona, 2-3 november 1977. Edited by Phillip E. Greeson, 1978, pp. 73-83.
- INTERNATIONAL JOINT COMMISSION (1978).
Great Lakes Water Quality Agreement of 1978. Agreement with annexes and terms of reference, between United States and Canada. International Joint Commission, Great Lakes Regional Office, Windsor, Ontario.
- JONES, P.L. (1973).
Treatment in municipal plants: innovations for removal of phosphorus. Water Research, 7: 211-226.
- KANSAKAR, B.R. et C. POLPRASERT (1983).
Integrated wastewater management. Journal of Environmental Engineering, ASCE, 109(3): 619-630.
- KAWECKA, B. (1977).
Biocenosis of a high mountain stream under the influence of tourism. 3. Attach algae communities in the stream Rybi Potok (the high Tatra Mts, Poland) polluted with domestic sewage. Acta Hydrobiologia, 19: 271-292.
- KINCANNON, D.F. et J.H. SHEPPARD (1973).
Trickling filter versus activated sludge. When to select each process. Proceedings of the 28th Annual Purdue Industrial Waste Conference, Purdue University, Lafayette, Indiana, Mai.
- KLEMETSON, S.L. et W.J. GRENNEY (1976).
Physical and economic parameter for planning regional wastewater treatment systems. Journal of the Water Pollution Control Federation, 48(12): 2690-2699.

- LASDON, L.S., WAREN, A.D., JAIN, A. et M. RATUER (1978).
Design and testing of a generalized reduced gradient code for non-linear programming. Assoc. Comput. Mach. Trans. Math. Software, 4(1): 34-50.
- LASDON, L.S., WAREN, A.D., RATNER, M.W. et A. JAIN (1976).
Manuel d'utilisation du programme GRG. Case Institute of Technology, Case Western Reserve University, Cleveland, Ohio. Traduction française de P. Hubert, Centre d'informatique géologique, École nationale supérieure des mines de Paris, juin 1977.
- LAWRENCE, A.W. et P.L. McCARTY (1970).
A unified basis for biological treatment design and operation. Journal of the Sanitary engineering division, ASCE, 96:
- LOUIE, P.W.F., YEH, W.W.G. et N.S. HUS (1984).
Multiobjective water resources management planning. Journal of Water Resources Planning and Management, ASCE, 110(1): 39-56.
- McCARTY, P.L. (1983).
Water Quality Control II - Course notes. Stanford University, Department of Civil Engineering, Spring Quarter.
- McGHEE, T.H., MOJGANI, P. et F. VICIDOMINA (1983).
Use of EPA's CAPDET program for evaluation of wastewater treatment alternatives. Journal of the Water Pollution Control Federation, 55: 35-43.
- MELKERSSON, K.A. (1973).
Phosphorus in chemical and physical treatment process. Water Research, 7: 145-158.
- MEQ (Ministère de l'Environnement du Québec) (1984).
Dossiers techniques conservés au Service de l'assainissement urbain, région Montréal. Non publiés.
- METCALF & EDDY INC. (1979).
Wastewater engineering-treatment, disposal and reuse. McGraw-Hill series in Water Resources and Environmental Engineering, 2nd edition New York, NY.
- NAKAMURA, M., BRILL, E.D. et J.C. LIEBMAN (1981).
Multiperiod design of wastewater systems: generating and evaluating alternative plans. Water Resources Research, 17(5): 1339-1348.
- OCANAS, G. et L.W. MAYS (1981a).
A model for water reuse planning. Water Resources Research, 17(1): 25-32.
- OCANAS, G. et L.W. MAYS (1981b).
Water reuse planning models: extension and applications. Water Resources Research, 17(5): 1311-1327.

OUELLET, A. (1983).

Allocution du Ministre québécois de l'Environnement à l'occasion de la journée de consultation des intervenants dans le domaine de l'assainissement des eaux à Ville Laval, 20 mai.

PELLEMON ENVIRONNEMENT (1983).

Usine d'épuration de St-Hyacinthe. Rapport d'étape n° 3, préparé pour la Société québécoise d'assainissement des eaux, document n° 800726-00.

PINEAU, M. (1982).

Modèle mathématique de gestion de la qualité de l'eau en rivière. Mémoire de maîtrise, INRS-Eau, Université du Québec.

PINEAU, M. (1984).

Modèle mathématique d'optimisation pour la construction d'un réseau d'usines d'épuration à l'échelle d'un bassin versant. Thèse de doctorat, INRS-Eau.

PINEAU, M. et J.P. VILLENEUVE (1984a).

Solutions de traitement applicables aux municipalités du bassin de la rivière Yamaska. Institut national de la recherche scientifique, INRS-Eau, rapport scientifique n° 167.

PINEAU, M., VILLENEUVE, J.P. et P. BOUDREAU (1984).

Wastewater treatment alternatives for municipalities along a stream system (soumis à la Revue canadienne de génie civil).

PINEAU, M., VILLENEUVE, J.P. et P.G.C. CAMPBELL (1982).

Modèle mathématique de gestion de la qualité de l'eau en rivière: application à la rivière Yamaska. Revue canadienne de Génie civil, 9(4): 573-585.

PINEAU, M., VILLENEUVE, J.P. et P.G.C. CAMPBELL (1983).

Contrôle des apports nutritifs dans la gestion de la qualité de l'eau en rivière. Eau du Québec, 16(1): 47-55.

PINGRY, D.E. et T.L. SHAFTEL (1979).

Integrated water management with reuse: a programming approach. Water Resources Research, 15(1): 8-14.

RICKERT, D.A. (1984).

Use of dissolved oxygen modelling results in the management of river quality. Journal of the Environmental Engineering Division, ASCE, 105(EE2): 309-321.

- RICKERT, D.A. (1984).
Use of dissolved oxygen modeling results in the management of river quality. *Journal of the Water Pollution Control Federation*, 56 (1): 94-102.
- RIGLER, F.H. (1979).
The export of phosphorus from Darmoor catchment: a model to explain variations of phosphorus concentrations in streamwater. *Journal of the Marine Biological Association*, 59: 659-687.
- ROBERTS, P.V (1983).
Water quality control. I. Course notes - CE271A. Department of Civil Engineering, Stanford University, Winter Quarter.
- ROESNER, A.L., MONSER, J.R. et D.E. EVENSON (1977).
Computer program documentation for the stream quality model QUAL-II. Prepared for the Environmental Protection Agency - Systems development branch by WRE, Walnut Creek, California.
- ROSSMAN, L.A. (1980).
Synthesis of waste treatment system by implicit enumeration. *Journal of the Water Pollution Control Federation*, 52(1): 148-160.
- SCHWARTZ, M. et L.W. MAYS (1983).
Models for water reuse and wastewater planning. *Journal of Environmental Engineering*, 109(5): 1128-1147.
- SEBETICH, M.H., KENNEDY, V.C., ZANCL, S.M., AVANZINO, R.J. et G.W. ZELLWEGER (1984).
Dynamics of added nitrate and phosphate compared in a northern California stream. *Water Resources Bulletin*, 20(1): 93-101.
- STREET, R. (1983).
The role and modeling of turbulence in water resources. Course notes - CE262. Stanford University, Department of Civil Engineering, Winter Quarter.
- SWITZENBAUM, M., DE PINTO, J.V., YOUNG, T.C. et J.K. EDZWAL (1981).
Journal of the Environmental Engineering Division, ASCE, 107(EE6): 1171-1187.
- USEPA (United States Environmental Protection Agency) (1976).
Process design manual for phosphorous removal. USEPA, Office of Technology Transfer, Washington, D.C.
- USEPA (United States Environmental Protection Agency) (1978).
Environmental costs for municipal wastewater treatment plants: 1973-1977. Technical report # EPA 430/9-77-013, MCD-37.
- USEPA (United States Environmental Protection Agency) (1981).
Computer assisted procedure for the design and evaluation of wastewater treatment systems (CAPDET) - Program user's guide. U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Environmental Engineering Division, Vicksburg, Mississippi.
- VÉZINA, FORTIER & ASS. (1982).
Projet d'assainissement des eaux usées - Usine d'épuration Ville de Granby. Rapport préliminaire n° 4-1834-1.

WALSKI, T.M. and R.G. CURRAN (1976).

A river basin planning methodology for streams with dissolved oxygen and entrophication constraints. In: Environmental Modeling and Simulation. Proceedings of the EPA Conference, Cincinnati, Ohio, 19-22 april 1976. Edited by Wayne R. Ott., 1976, pp. 532-538.

WARREN, A.D., et L.S. LASDON (1979).

The status of non-linear programming software. Operation Research, 27: 431-456.

WHITLATCH, E.E. et C.S. REVELLE (1976).

Designing regionalized wastewater treatment systems. Water Resources Research, 12(4): 581-591.

WONG, S.L., CLARK, B. et KOSCIUM, R.F. (1979).

An examination of the effects of nutrients on the water quality of shallow rivers. Hydrobiologia, 63: 231-239.

WRIGHT, R.M. et A.J. MCDONNELL (1979).

In-stream deoxygenation rate prediction. Journal of the Environmental Engineering Division, ASCE, 105(EE2): 323-385.

ANNEXE I

CARACTÉRISTIQUES DES MODÈLES D'OPTIMISATION
REVUE DE LITTÉRATURE

I.1 LE MODÈLE DE BISHOP ET NARAYAMAN (1977)

Bishop et Narayaman (1977) ont développé un modèle d'optimisation pour un système [sources-filtration-distribution-utilisateurs-épuration-recyclage].

Fonction objectif et variables de décision

La fonction objective du modèle est:

$$\min \sum_i \sum_j C_{ij} \quad [I.1]$$

où

$$C_{ij} = F(X_{ij}) \quad [I.2]$$

Le modèle utilise une seule variable de décision, X_{ij} , qui représente la quantité d'eau (en acre-pieds) transportée de la source i à l'utilisateur j ; C_{ij} est le coût associé à cette quantité X_{ij} . Notons ici que les termes source i et utilisateur j désignent selon le cas le cours d'eau, l'usine de filtration, l'usine d'épuration, l'industrie, etc.

Approche de modélisation

1. Un point central dans ce modèle est que la fonction-objective [1] ne comporte qu'un seul terme de coût, C_{ij} , qui intègre le coût de l'adduc-

tion et du traitement (lorsque traitement il y a). Ainsi, pour chaque affectation source-utilisateur possible, les auteurs ont développé des fonctions-coûts spécifiques qui combinent les coûts de l'adduction et du traitement considéré (e.g. épuration niveau 1; épuration niveau 2, etc.). Ces fonctions sont non-linéaires, de la forme:

$$C_{ij} = K(X_{ij})^{\alpha} \quad [I.3]$$

où C_{ij} et X_{ij} sont tels que définis précédemment;

K est un coefficient et X est un facteur d'économie d'échelle.

Par exemple, le coût pour l'affectation source-eau souterraine à utilisateur-municipal (utilisation directe, sans traitement) est donné par:

$$C = 245 X^{.842} \quad [I.4]$$

Le coût pour source-eau souterraine à usine de filtration (incluant le coût du traitement à l'usine de filtration) est donné par:

$$C = 496 X^{.714} \quad [I.5]$$

Lorsque l'affectation est non désirée (par exemple source-usine de filtration à utilisateur-usine d'épuration), la fonction-coût devient pénalisante.

Par ailleurs, notons qu'aucune indication n'est donnée par les auteurs quant à savoir si les fonctions économiques tiennent compte des coûts d'exploitation.

2. Un second point important dans la conception du modèle est qu'il ne contient pas de système de contraintes sur les exigences de qualité des utilisateurs ou pour le rejet des effluents au milieu récepteur. Les contraintes de qualité sont imposées de façon implicite, via les usages qu'on prédétermine pour un niveau donné de traitement. Par exemple, l'affectation [source-usine d'épuration niveau 1] à [utilisateur-irrigation] est admissible; par contre, l'affectation [source-usine d'épuration niveau 1] à [utilisateur-municipal] n'est pas autorisée.
3. La conception du modèle ne fait pas intervenir les types de polluants. Aucun polluant n'est défini. Ce troisième point, corollaire du précédent, constitue un autre aspect important de l'approche de modélisation car il entraîne une simplification considérable du système modélisé.

Définition des usines de traitement

1. Le modèle considère 4 usines d'épuration dont les systèmes de traitement ne sont pas décrits. On pose que ces quatre usines correspondent à 4 niveaux de traitement différents sans toutefois définir les types de procédé, la composition des chaînes de traitement et les types de polluants en relation avec chaque niveau d'efficacité.
2. L'efficacité de traitement des usines d'épuration pour un polluant donné n'est pas une variable explicite du modèle (ce qui, évidemment, résulte du fait que les polluants ne sont pas définis eux-mêmes dans la conception du modèle). L'efficacité est prise en compte d'une manière impli-

cite en distinguant 4 niveaux de traitement et en affectant chaque niveau à différentes possibilités de recyclage, d'utilisation ou de rejet.

Technique de solution

Le modèle est non-linéaire par sa fonction-objectif et il comporte un système de contraintes linéaires pour les termes de quantité (bilan, capacités, demandes et disponibilités). La solution du modèle a été obtenue par programmation linéaire, méthode du simplex, en utilisant des approximations linéaires successives de la fonction objectif.

Application

Ce modèle a été appliqué à un problème réel de gestion des ressources en eau dans le comté de Salt Lake, Utah.

Autre caractéristique

Une caractéristique importante de ce modèle est de permettre de prendre en compte les effets des variations saisonnières de la demande et des variations stochastiques des disponibilités (cours d'eau, eaux souterraines) sur la solution du système. Pour cette application particulière, le modèle utilise la méthode "chance - constrained programming".

I.2 LE MODÈLE DE PINGRY ET SHAFTEL (1979)

Comme dans le cas précédent, ce modèle a été développé pour un système [sources-filtration-distribution-utilisateurs-épuration-recyclage]. Il s'agit, encore ici, d'un problème d'approvisionnement en eau.

Fonction objective et variables de décision

1. La fonction objective du modèle est:

$$\min \left[\sum_i C_i \sum Q_{ij} + \sum_i \sum_j A_{ij} (Q_{ij})^{\alpha_{ij}} + \sum_k \sum_j C_j^k + \sum_k \sum_j C_j (\sum_i X_i^k Q_{ij}) \right] \quad [I.6]$$

(1) (2) (3) (4)

Pour ce système, les auteurs ont formulé la fonction objective de manière à distinguer 4 composantes de coût: (1) coût de collection à un point source (terme 1); (2) coût d'adduction d'un point i au point j (terme 2); (3) coût de traitement du polluant k à l'usine j (terme 3); (4) coût d'élimination au site de déversement, c'est-à-dire soit au cours d'eau, soit par recharge de la nappe (terme 4). Ces composantes de coûts sont toutefois peu précisées par les auteurs. Par exemple, aucune indication n'est donnée quant à la nature des coûts d'élimination. Est-ce qu'ils s'appliquent aux coûts d'un permis de déversement, aux coûts des infrastructures de recharge de la nappe ou de rejet en rivière? De même les coûts de collection aux points de sources ne sont

pas davantage explicités. Les coûts d'opération et d'entretien ne sont pas considérés par la fonction-objective et ils n'interviennent donc pas dans l'optimisation.

2. Dans ce modèle, deux variables de décisions sont utilisées: (1) Q_{ij} , la quantité d'eau acheminée de i vers j et (2) X_i^k , la concentration du polluant k contenue dans Q_{ij} (ou encore, la concentration du polluant k émis par la source i , Q_{ij} étant le débit d'eaux usées du point i au point j).

Approche de modélisation

1. Il y a deux points majeurs dans l'approche de modélisation. Le premier concerne les fonctions-coûts des usines de traitement. Les auteurs ont choisi de considérer que le coût C_j d'une usine de traitement j est une fonction du débit à traiter Q_{ij} , du type de polluant k et de la quantité enlevée de ce polluant w_j^k (donc en fait de l'efficacité, E_j^k de l'usine de traitement j sur le polluant k):

$$C_j = F(Q_{ij}, w_j^k) \quad [1.7]$$

et (en utilisant une forme adaptée d'après les auteurs):

$$C_j = \sum_k (b_j^k Q_j^{c_i^k}) (E_j)^{d^k} \quad [I.8]$$

2. Le second point est relié au premier et concerne l'efficacité des usines de traitement, c'est-à-dire le terme w_j^k ou E_j qui entre dans la fonction-coût (cf: [7] et [8]). L'approche des auteurs est d'utiliser une contrainte d'inégalité pour spécifier l'efficacité d'une usine donnée. En effet, w_j^k dépend de la concentration (X_j^k) du polluant k à la sortie de l'usine de traitement j:

$$w_j^k = F(X_j^k) \quad [I.9]$$

et X_j^k est soumis à une concentration maximale (v_j^k) correspondant à la limite d'efficacité de l'usine j sur le polluant k:

$$X_j^k < v_j^k \quad [10]$$

En termes d'ingénierie de traitement, et fondamentalement aussi en regard de la modélisation du système, d'importantes implications résultent de ces deux points. Ces implications seront exposées dans la prochaine section.

3. La qualité de l'eau est prise en compte de façon explicite par le modèle. Un système de contraintes non linéaires est écrit pour les

exigences de qualité des différents utilisateurs, le déversement en rivière et l'élimination par recharge de la nappe. Le point important à souligner à cet égard est que les contraintes de qualité pour le rejet ou la recharge sont définies comme des normes d'effluents par opposition à des normes de milieu.

Définition des usines de traitement

Comme dans le cas précédent, les systèmes de traitement des usines ne sont pas définis (type de procédés, composition des chaînes de traitement, etc). De plus, le modèle n'établit pas même de distinction entre usine de filtration et usine d'épuration. Pour ce modèle, les usines de traitement peuvent être considérées comme des boîtes noires. Elles sont différenciées par les paramètres de leurs fonctions-coûts et par des contraintes qui spécifient leurs limites d'efficacité respectives sur un polluant k . Le modèle n'effectue pas de choix technologique pour le traitement. Ainsi, dans l'application présentée, le modèle ne considère que 2 usines de traitement, d'efficacité et de coûts différents, et sa tâche consiste à effectuer le dimensionnement, le recyclage et la distribution de manière à satisfaire les contraintes de demandes, de qualité et de déversement à un coût minimum.

Type de polluant

Le modèle est développé de manière à permettre de considérer plusieurs polluants. Cependant, l'application du modèle a été présentée pour 1 seul

polluant et celui-ci n'est pas identifié. Or, le fait de considérer plusieurs polluants réels à la fois dans un système comprenant traitement d'eau potable et épuration d'eaux usées (e.g. DBO, SS, phosphore, fer, dureté, coliforme) soulève définitivement de nombreuses implications pratiques au niveau de la conception du modèle. Ceci n'est pas discuté par les auteurs.

Technique de solution

Le modèle est non-linéaire par sa fonction objective et par ses contraintes de qualité. Sa solution est obtenue par la méthode du simplex convexe.

Application

Une application théorique du modèle est présentée par les auteurs et dans laquelle on a utilisé des fonctions-coûts hypothétiques pour les deux usines de traitement considérées.

I.3 LE MODÈLE DE OCANAS ET MAYS (1981a, 1981b)

Ces auteurs ont proposé un autre modèle d'optimisation pour un système [sources - filtration - distribution - utilisateurs - épuration - recyclage]. Une caractéristique à mentionner est qu'on introduit avec ce modèle un nouvel élément de solution du système, soit la capacité d'expansion des usines de traitement.

Fonction-objectif et variables de décision

1. Dans ce modèle, la fonction-objective distingue au départ un terme pour les coûts en capital $(CC)_i$ et un terme pour les coûts d'opération et d'entretien $(COM)_i$:

$$\min \sum_i (CC_i + COM_i) \quad [I.11]$$

Par rapport aux modèles précédents, celui-ci fournit une définition plus rigoureuse des différentes composantes de coût comprises dans ces deux termes. Ainsi, les auteurs distinguent: CC_1 , coût de construction d'une nouvelle usine de filtration; CC_2 , coût d'agrandissement d'une usine de filtration existante; CC_3 , coût de construction d'une nouvelle usine d'épuration; CC_4 , coût d'agrandissement d'une usine d'épuration existante; CC_5 , coût de construction des conduites d'adduction et C_6 , coût de pompage. De la même façon, pour les coûts d'opération et d'entretien $(COM)_i$, ceux-ci sont établis de façon distincte pour le traitement de l'eau potable, l'épuration des eaux usées, le pompage et l'adduction. Les fonctions-coûts représentant ces diverses composantes sont toutes de la forme:

$$C = aQ^b \quad [I.12]$$

À la différence du modèle précédent, le type de polluant n'intervient pas explicitement comme une variable des fonctions-coûts des usines de traitement.

2. Ce modèle utilise trois variables de décision: (1) X_{ij} , le débit d'eau acheminé du point i (source, utilisateur, usine de traitement) au point j (source, utilisateur, usine de traitement), (2) $XCAP$, la capacité d'une usine de filtration ou d'épuration, (3) CP_j^n , la concentration d'un polluant n à la sortie d'un point d'utilisation ou d'un point de traitement (filtration/épuration).

Approche de modélisation

1. Un élément-clé à mentionner dans la conception de ce modèle est le rôle de la concentration, C_j , comme variable de décision. Prenons le cas d'un utilisateur j . A l'entrée de cet utilisateur, la concentration d'un polluant n est soumise à une contrainte d'inégalité (la concentration entrante doit être plus petite que ou égale à). L'utilisateur, quant à lui, augmente la concentration du polluant n d'une quantité ΔC . À la sortie de l'utilisateur, on établit alors une variable de décision, CP_j^n , qui représente la concentration du polluant n à la sortie de l'utilisateur. Compte tenu que la concentration entrante peut prendre n'importe quelle valeur plus petite qu'une certaine limite, compte tenu que le bilan doit être respecté au point d'utilisation, le modèle peut alors utiliser cette variable de décision (CP_j^n , concentration à la sortie)

pour forcer ce qui entre (donc les caractéristiques de l'approvisionnement, débit/concentration) à être tel qu'une réutilisation donnée puisse être possible à la sortie. Ceci peut permettre, par exemple, d'acheminer à un utilisateur donné une qualité d'eau supérieure afin qu'après l'utilisation, elle puisse être affectée directement à un autre usage (au respect, évidemment, des contraintes de qualité imposées par cet autre usage).

2. La qualité de l'eau est prise en compte de façon explicite par le modèle. Pour un polluant n , des contraintes de qualité sont appliquées pour assurer de respecter les exigences de qualité des utilisateurs et les limites de concentrations pour le déversement ou la recharge d'aquifères. Comme dans le modèle précédent, notons que l'élimination des effluents en milieu récepteur (cours d'eau / aquifère) est contrainte par des normes d'effluents et non des normes de milieu. D'autres contraintes sont aussi incluses pour assurer de conserver le bilan de masse d'un polluant n autour d'un point d'utilisation ou de traitement.

Définition des usines de traitement

1. Les procédés des usines de traitement (filtration/épuration) ne sont pas définis et le modèle n'est pas conçu dans l'objectif d'effectuer des choix technologiques pour le traitement. Ainsi, dans l'application du modèle, on considère la construction d'un seul type d'usine de filtration et d'un seul type d'usine d'épuration (non précisé dans les deux cas). Pour chacune, on a une efficacité et une fonction-coût données.

Compte tenu de 3 autres usines d'épuration déjà existantes (également non définies quant à leurs procédés), la tâche du modèle est alors uniquement d'effectuer le dimensionnement des usines à construire, d'agrandir ou non les usines existantes, d'établir un schéma de recyclage et d'effectuer la distribution de manière à satisfaire les contraintes de qualité, de demande et de déversement, à un coût minimal. Notons aussi que lorsque le modèle considère l'expansion d'une usine, il s'agit uniquement d'augmenter la capacité et non d'améliorer le type de traitement par l'addition de nouveaux procédés unitaires à la chaîne existante.

2. Dans ce modèle, l'efficacité des usines de traitement est une variable d'entrée. Notons que dans le modèle précédent, elle était spécifiée par une contrainte. Pour une usine de traitement donnée, l'efficacité sur un polluant n est exprimée comme un % d'enlèvement (E_{jn}). Cette variable est ensuite utilisée dans la formulation de la contrainte de conservation du bilan de masse pour un polluant n au point de traitement j :

$$[\text{ce qui sort}] = [(1-E_{jn}) * (\text{ce qui entre})] \quad [I.13]$$

Nous retiendrons ici que E_{jn} est une valeur (%) fixe fournie en entrée au modèle. En termes d'ingénierie de traitement, cette approche soulève aussi des implications qui seront exposées à la prochaine section.

Type de polluants

Le modèle est développé pour permettre de considérer plusieurs polluants à la fois. Cependant, dans l'application que présentent les auteurs, un seul polluant a été utilisé, en l'occurrence la DBO.

Technique de solution

Le modèle est non-linéaire par ses fonctions-coûts et par ses contraintes de qualité. La solution du modèle a été obtenue par programmation non-linéaire, méthode du gradient réduit généralisé (GRG).

Application

Ce modèle a été appliqué à un problème réel de planification des ressources en eau pour la cité de San Antonio, Texas.

I.4 LE MODÈLE DE SCHWARTZ ET MAYS (1983)

Ces auteurs ont développé un modèle d'optimisation qui diffère substantiellement des trois précédents.

Un premier point de différence vient des éléments qui sont considérés dans le système modélisé. Dans les modèles précédents, on considérait un système [source-filtration-distribution-utilisateurs-épuration-recyclage]. Avec le présent modèle, on s'intéresse désormais uniquement au sous-

système [épuration-recyclage-utilisateurs secondaires]. Dans ce cas, les usages secondaires sont définis comme étant (1) l'eau de refroidissement destinée aux usines thermiques et (2) l'irrigation. Ainsi, on écarte du problème les aspects sources (cours d'eau, eaux souterraines), filtration, distribution et utilisateurs primaires (municipal / industriel). Sur cette base, on considère alors la totalité des eaux usées d'une cité (le modèle fut développé pour le cas de San Antonio, Texas) et on désire les traiter de façon à permettre qu'elles soient réutilisées pour satisfaire la demande et les exigences de qualité des usines thermiques et de l'irrigation; les surplus sont déversés en rivière. Trois usines d'épuration sont déjà existantes et deux nouvelles peuvent être construites. Dans le cas des usines existantes, différentes possibilités sont proposées: (1) abandon de l'une ou l'autre, (2) augmentation de la capacité sans changer le type de traitement, (3) maintien de la capacité et addition d'un traitement tertiaire et (4) augmentation de la capacité avec addition d'un traitement tertiaire. Ces différentes possibilités de solutions doivent donc être combinées à celles de construire une ou deux autres nouvelles usines d'épuration, ce qui donne lieu à un nombre considérable de scénarios applicables.

Outre que la nature du problème considéré soit différente des modèles précédents, amenant ainsi la conception du modèle à se limiter à certains éléments précis du système, le point de différence fondamental ici est que la recherche d'une solution optimale tient compte, pour les j années d'une période de planification donnée, de l'évolution des coûts d'opération et d'entretien qui résultent d'un scénario k et, aussi, de l'évolution des

conditions de demande des utilisateurs et des conditions de capacités des usines sur les j années. Dans les modèles précédents, l'optimisation était basée uniquement sur la durée totale d'une période de planification donnée, généralement 20 ans. Ici, la discrétisation de la période de planification permet donc d'utiliser l'évolution de la demande pour déterminer à quel moment intervient l'expansion d'une usine existante ou la construction d'une nouvelle dans un scénario donné. Il en résulte un effet sur les coûts d'opération et d'entretien qui, eux, sont essentiellement reliés au temps et ce modèle permet de prendre en compte cet effet comme facteur additionnel de l'optimisation du système.

Approche de modélisation

1. Ce modèle est conçu pour effectuer la sélection de différents scénarios de traitement qui sont préétablis. Nous insistons sur le fait que le modèle ne compose pas les scénarios, mais qu'il a pour tâche de sélectionner un scénario prédéfini et à l'intérieur duquel il doit établir l'agrandissement d'une usine, la construction d'une nouvelle ou l'amélioration du traitement. De même, le modèle n'effectue pas la sélection des technologies de traitement; celle-ci est préalablement incluse au scénario de traitement. Exemple de scénarios:

Scénario A

- Abandon de l'usine existante numéro 1
- Augmentation de capacité et addition d'un traitement tertiaire aux

usines existantes numéros 2 et 3

- Pas de construction d'une nouvelle usine

Scénario B

- Abandon de l'usine existante numéro 1
- Augmentation de la capacité des deux autres usines existantes sans changer le type de traitement
- Construction d'une nouvelle usine d'épuration avec traitement tertiaire.

2. Les auteurs ont choisi une approche de modélisation basée sur deux modèles en programmation dynamique.

Le premier est un modèle d'allocation qui détermine l'allocation de l'eau aux utilisateurs pour chaque année j et selon chaque scénario k , compte tenu des contraintes de disponibilité, de demande, de bilan et de qualité. Sa fonction objective est:

$$\min \left[\sum_l OM_{jkl} + \sum_i OP_{jki} \right] \quad [I.14]$$

OM_{jkl} étant les coûts O&M pour l'année j de l'usine de traitement l du scénario k ;

OP_{jki} étant les coûts O&M pour l'année j des conduites d'adduction requises pour l'utilisateur i selon le scénario k .

On aura noté que la fonction objective [14] s'applique seulement aux coûts d'opération et d'entretien. Sur la base de l'allocation optimale établie pour chaque année j , un second modèle sélectionne alors le scénario de traitement qui minimise la fonction objective suivante (où les coûts de capital sont alors introduits et pris en compte):

$$\min \sum_j PVC_j \quad [I.15]$$

PVC_j étant la valeur présente des coûts d'opération, d'entretien et des coûts de capital pour l'année j .

Ainsi, le modèle d'allocation détermine à quel intervalle de temps j une usine est construite ou agrandie dans un scénario donné et le modèle de sélection calcule et comptabilise les coûts de capital à partir de cet intervalle j . Le modèle de sélection doit alors établir celui des scénarios qui permet de minimiser l'ensemble de ces coûts.

Dans le modèle d'allocation, la variable de décision est la quantité d'eau affectée à l'utilisateur i durant l'année j et la variable d'état est la quantité qui reste pour allocation à l'utilisateur $i + 1$. Dans le modèle de sélection la variable de décision est le choix d'un scénario donné.

3. La qualité de l'eau est une contrainte explicite du modèle. La concentration d'un polluant donné pour un utilisateur i à l'année j doit être

plus petite ou égale à une norme préétablie. Notons que cette norme peut elle-même varier pour différentes années j à l'intérieur de la période considérée, ce qui ajoute une autre particularité à ce modèle dans sa façon de représenter le système. Quant au rejet en rivière, ce modèle utilise aussi des normes d'effluent.

Définition des usines de traitement

1. Le niveau de définition des usines d'épuration est ici supérieur aux modèles précédents. Ceci constitue une première affirmation de la nécessité de définir les systèmes de traitement comme condition d'un modèle conçu pour solutionner un système comportant plusieurs possibilités technologiques. La définition des usines d'épuration s'effectue par l'intermédiaire des fonctions-coûts. On a distingué (1) le coût pour augmenter la capacité d'une usine de traitement secondaire existante, (2) le coût pour ajouter un système tertiaire à une usine secondaire existante, (3) les coûts de construction d'une nouvelle usine (secondaire-tertiaire), (4) les coûts O&M d'une usine de traitement secondaire et (5) les coûts O&M résultant de l'addition d'un système tertiaire. Toutes ces fonctions-coûts sont de la forme:

$$C = aQ^b \quad [I.16]$$

2. En dépit du fait que l'on distingue système secondaire et système tertiaire, les procédés de traitement concernés ne sont pas précisés. Le terme tertiaire, par exemple, peut englober une variété de traitements

différents: filtration multi-média, traitement au charbon activé, osmose inverse, nitrification, etc. (Metcalf et Eddy Inc., 1979). Chacun de ces traitements tertiaires peut viser un polluant particulier et présenter une efficacité différente selon le polluant concerné. Évidemment aussi, les coûts varieront alors selon les procédés.

3. L'efficacité des usines d'épuration est un aspect de la conception du modèle qui n'est pas mentionné par les auteurs. Comment est-elle définie, pour quels polluants et comment est-elle représentée dans la structure du modèle ... Aucun de ces points n'est élaboré.

Type de polluant

Le modèle est développé pour n polluants. Cependant, aucun polluant n'est clairement précisé dans le développement théorique du modèle. Pour les fins de son application, les auteurs semblent avoir basé l'optimisation sur la DBO.

Application

Le modèle a été appliqué à un problème réel de planification des ouvrages d'épuration pour la ville de San Antonio, Texas.

Technique de solution

Le modèle est solutionné par programmation dynamique, une méthode

appropriée à des problèmes de ce type où l'on désire considérer les différents états du système à des intervalles de temps j d'une période donnée.

I.5 LE MODÈLE DE KANSAKAR ET POLPRASERT (1983)

L'élimination des boues constitue un aspect important, mais souvent négligé, dans les problèmes d'assainissement des eaux. Kansakar et Polprasert (1983) apportent une contribution intéressante en incluant ce facteur dans un modèle d'optimisation conçu pour localiser les usines d'épuration.

Dans ce cas, le système comprend des sources d'eaux usées, des sites potentiels pour l'implantation des usines d'épuration, des tracés d'interception, des sites d'enfouissement et d'épandage des boues et des tracés de transport vers ces sites. Dans ce modèle, on assume que le type d'usine de traitement est pré-sélectionné. Le problème consiste alors à déterminer la localisation et le dimensionnement des usines à construire, compte tenu des coûts d'interception, de traitement et d'élimination des boues.

Approche de modélisation

1. Sur la base de ce problème, les auteurs ont développé un modèle d'optimisation appartenant à une catégorie différente des précédents. Il

s'agit ici d'un modèle à objectifs multiples. Ainsi, pour le système [collection-épuration-élimination des boues-milieu récepteur] considéré par ce modèle, la solution optimale consiste (1) à minimiser les coûts, (2) à minimiser l'impact sur la qualité de l'eau du milieu récepteur et (3) à minimiser l'utilisation de l'espace pour l'élimination des boues. La fonction qui représente ces 3 objectifs d'optimisation est écrite:

$$\min \sum_{i=1}^3 P_i d_i^+ \quad [I.17]$$

où P_i : une valeur de priorité accordée à l'objectif i ;

d_i^+ : une variable qui exprime une déviation par rapport à l'objectif i .

2. Un autre aspect à souligner est que le modèle tient compte de la qualité (c'est l'un des objectifs d'optimisation), mais sans utiliser de normes de déversement. L'approche des auteurs sur ce point est d'ailleurs sans rapport avec celles des modèles précédents. Ainsi, ils posent que la somme des impacts sur la qualité de l'eau doit être minimum et telle que:

$$\sum_j (1-a) W_j t_j = d_2^+ \quad [I.18]$$

où:

t_j = volume d'eaux usées traitées au site j (MGD)

W_j = unités d'impacts sur la qualité de l'eau au site j (par MGD)

a = % de conversion des eaux usées en boues

L'équation [18] suggère que le traitement équivaut à convertir en boues les polluants qui sont contenus dans les eaux usées; plus le volume d'eaux usées traitées sera important, plus grande sera la quantité de polluant convertie en boues, (donc non rejetée dans le milieu) et, par conséquent, moins nombreuses seront les unités d'impacts sur le milieu. Evidemment, cette approche soulève plusieurs interrogations. Comment est définie une "unité d'impact"? En regard de quels polluants? Quels sont les principes de traitement et les relations permettant d'établir un % de conversion des polluants en boues ? Ces points ne sont pas développés par les auteurs.

3. La minimisation des coûts n'inclut pas le traitement des boues. Elle s'applique uniquement aux coûts du traitement des eaux usées, de l'interception et du transport des boues. Les coûts d'entretien et d'opération ne sont pas considérés.

Définition des usines de traitement.

1. Pour les problèmes de localisation, l'hypothèse première, à la base d'un modèle d'optimisation, est que la ou les usines à construire sont prédéfinies. Dès lors, on s'intéresse seulement à leur localisation.
2. L'efficacité des usines de traitement (une variable clé en regard des impacts sur la qualité de l'eau) apparaît être exprimée par le a dans

l'équation [18]. L'établissement de ce terme n'est par ailleurs pas explicite et les fonctions de production de boues ne sont pas données.

Type de polluants

Bien que les auteurs proposent une approche nouvelle vis-à-vis de l'efficacité des usines d'épuration (% de conversion du polluant en boues) et vis-à-vis de la qualité du milieu récepteur (unités d'impact), aucun polluant n'est précisé ni dans le développement théorique, ni pour les fins d'application.

Technique de solution

1. La solution du modèle est obtenue par programmation linéaire selon une méthode de "goal programming".
2. Le modèle comporte une hypothèse de linéarité des coûts de construction, ce qui a pour résultat d'exclure le principe d'économie d'échelle de l'optimisation.

Application

Une application du modèle est présentée pour un problème théorique et avec l'utilisation de fonctions économiques hypothétiques.

I.6 LE MODÈLE DE BRILL ET NAKAMURA (1978); NAKAMURA ET AL. (1981)

Ces auteurs ont conçu un modèle d'optimisation qui s'applique strictement au problème de la localisation des usines d'épuration. Ce modèle ne tient pas compte de la qualité de l'eau, ni du déversement en milieu récepteur. Ici, le problème concerne uniquement la localisation. On pose que le type de traitement requis a été sélectionné et que des normes d'effluent sont assurées d'être satisfaites par le système sélectionné. Soit plusieurs municipalités d'une zone urbaine, il s'agit, dès lors, de déterminer la localisation d'une usine régionale, ou de plusieurs usines semi-régionales, de façon à ce que les coûts de collection et de traitement des eaux usées soient minimums.

Principales caractéristiques du modèle

1. Partant d'un système où sont connus (1) les tracés possibles de collection des eaux usées, (2) les sites potentiels de construction d'une ou de plusieurs usines d'épuration, (3) les contraintes de débits et de capacité, les auteurs ont développé une méthode qui consiste à générer successivement les différentes solutions faisables jusqu'à l'obtention d'une solution de moindre coût.
2. Chaque solution faisable correspond à une configuration donnée de tracés d'interception et de sites de traitement.
3. Cette méthode est dite "Branch and Bound Method". Brièvement, il s'agit d'un algorithme qui développe un arbre de solutions faisables (noeuds);

chaque noeud constitue un "network flow problem" qui est résolu par programmation linéaire (dans ce cas, les auteurs ont utilisé l'algorithme "out-of-kilter").

4. Cette méthode nécessite de considérer une approximation linéaire par sections des fonctions-coûts non linéaires des ouvrages de traitement et d'interception.
5. Un point important à souligner est que les auteurs précisent que cette méthode devient inapplicable lorsque des approximations linéaires doivent être faites pour plusieurs fonctions-coûts (d'où un nombre limité de technologies de traitement qui peuvent être considérées).

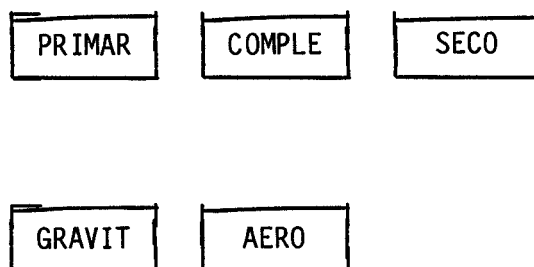
ANNEXE II

SUBROUTINE "OPTIONS"

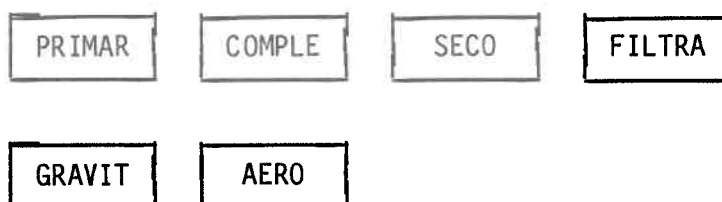
II.1 Sélection des technologies de traitement

Considérons que l'on ait les deux chaînes de traitement suivantes:

Chaîne 1: Traitement secondaire aux boues activées (CMFR)¹



Chaîne 2: Traitement tertiaire: boues activées (CMFR)¹ et Filtration



Ayant posé ces deux chaînes de traitement, considérons maintenant les expressions suivantes:

¹ "Complete mixed flow reactor"

$$\text{CHARES } (n, 1) = X_1 * [\text{QUINDUS } (i) * \text{CONCEN } (i, n) * \text{EFFIC } (n, j)] \quad [\text{II.1}]$$

$$\text{CHARES } (n, 2) = X_2 * [\text{QUINDUS } (i) * \text{CONCEN } (i, n) * \text{EFFIC } (n, j)] \quad [\text{II.2}]$$

où, dans cet exemple:

$j = 1, 2$, selon la chaîne de traitement appliquée;

$\text{CHARES } (n, j)$: est la charge résiduelle d'un polluant n (ex.: DBO_5 (totale) à l'effluent secondaire) après traitement par le système d'épuration j ;

$\text{QUINDUS } (i)$: débit d'eaux usées industrielles de source i ;

$\text{CONCEN } (i, n)$: concentration en DBO_5 (polluant n) des eaux usées industrielles de source i ;

$\text{EFFIC } (n, j)$: sont les variables qui représentent les chaînes de traitement secondaire et tertiaire précédemment définies. Elles correspondent à leur efficacité respective de conception.

Par exemple:

$$\text{EFFIC } (n, j) = \frac{\text{CONCEN } (i, n) - E^{\circ j}}{\text{CONCEN } (i, n)} \quad [\text{II.3}]$$

où E_j° est la concentration d'effluent en DBO_5 , telle qu'établie au niveau de la conception du système d'épuration j , sur la base des équations de design et de la composition de la chaîne de traitement.

X_i est la variable de décision. Étant sous le contrôle de l'optimisateur,

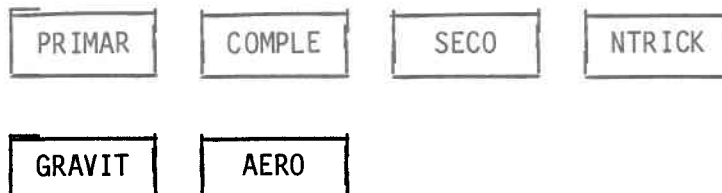
c'est par elle que le modèle sélectionne les technologies et développe les solutions de traitement. Dans l'exemple présent, si $X_1 = 0$ et $X_2 = 1$, alors c'est la chaîne de traitement tertiaire (boues activées avec filtration) qui est sélectionnée pour traiter le débit industriel, QUINDUS (i). Inversement, si $X_2 = 0$ et $X_1 = 1$, c'est une chaîne de traitement sans filtration qui est sélectionnée pour ces effluents.

II.2 Schéma de sélection

L'exemple précédent constitue un cas simple. La subroutine OPTIONS contient en fait différents schémas de sélection qui permettent au modèle de développer toute une gamme de solutions de traitement à partir de plusieurs technologies applicables. Deux exemples plus élaborés en fournissent une illustration.

Introduisons, ici, trois autres chaînes de traitement en plus des deux précédentes, soit:

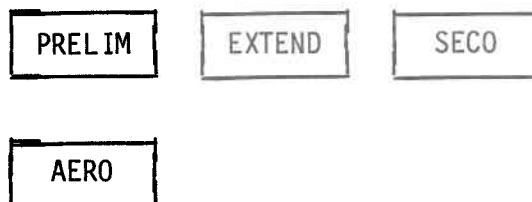
Chaîne 3: Traitement tertiaire - Boues Activées et Nitrification



Chaîne 4: Étangs aérés facultatifs



Chaîne 5: Traitement secondaire - boues activées aération prolongée



Considérons maintenant le schéma de sélection qui est présenté à la figure I.1. Pour les fins de notre exemple, nous convenons d'utiliser ici une représentation simplifiée des expressions mathématiques qui sont contenues dans le modèle. Nous retiendrons simplement qu'elles ont une forme similaire à celle des équations [II.1] et [II.2].

Le schéma de sélection de la figure I.1 permet de développer plusieurs solutions de traitement conjoint ou séparé. À l'examen de cette structure, on peut tirer les principales observations suivantes:

1. Selon que la variable de décision x_i est affectée d'une valeur 0 ou 1, un domaine de 10 solutions techniquement réalisables peut être constitué pour une municipalité donnée, dont 7 solutions en traitement séparé et 3 en traitement conjoint.

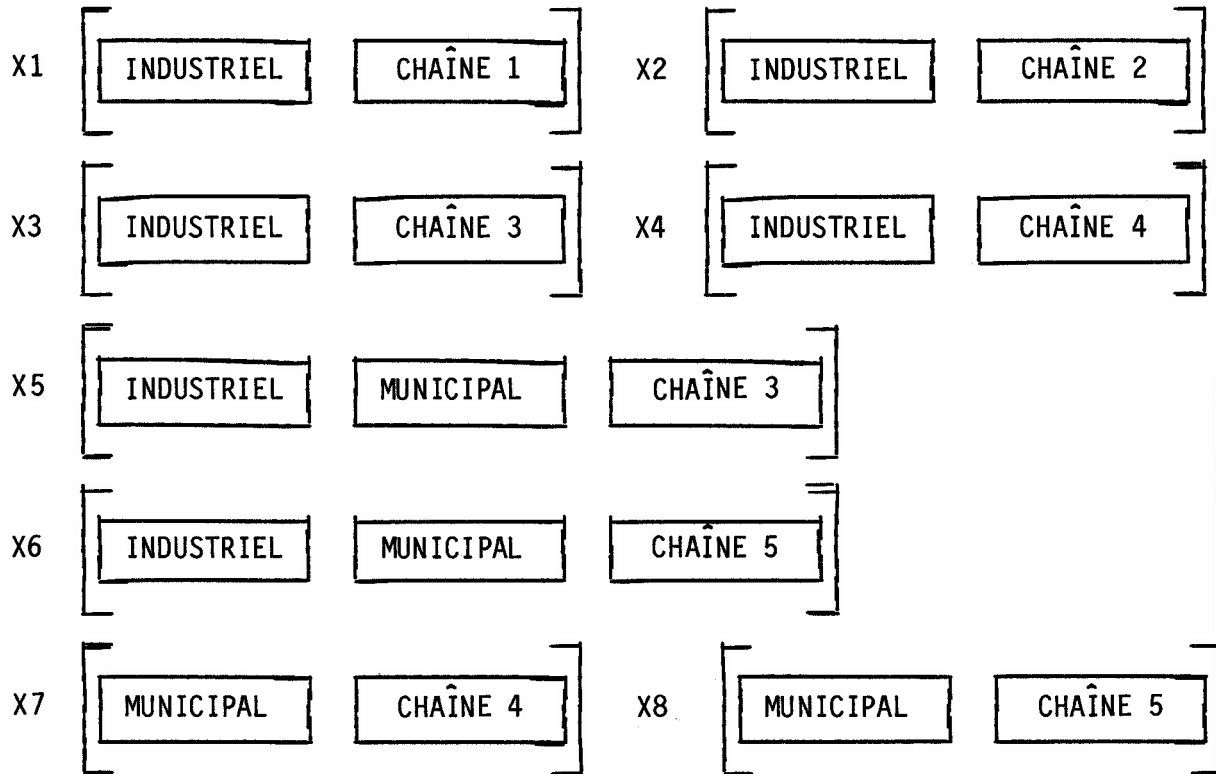


Figure II.1: Structure de sélection des technologies de traitement

2. Dans cet exemple, la structure de sélection s'applique au contrôle de la DBO et/ou de l'azote ammoniacal. En pratique, le modèle d'optimisation inclut aussi d'autres technologies de traitement pour le contrôle du phosphore (Pineau et Villeneuve, 1984a, 1984b).
3. Certains schémas peuvent aussi être plus élaborés dû au fait qu'on y considère plus d'une source industrielle. C'est le cas, de certaines des municipalités considérées dans le bassin d'application.
4. De façon générale, on peut montrer que chaque schéma de sélection (1 par municipalité dans le modèle) est conçu et structuré de façon à assurer que la sélection des technologies respecte les conditions du problème de traitement qui se pose dans une municipalité donnée. À titre d'exemple, on peut vérifier au schéma de sélection I.1 que:
 - l'application d'une chaîne secondaire en aération prolongée (chaîne 5) intervient pour le traitement d'eaux usées diluées, à faible charge, ce qui est approprié au cas d'un traitement conjoint des eaux usées municipales et industrielles ($X_6 = 1$) ou d'un traitement séparé des eaux municipales seules ($X_8 = 1$);
 - le schéma ne permet pas un traitement séparé des eaux municipales diluées par la chaîne 3 (secondaire + nitrification);

- techniquement mieux appropriées aux eaux usées à fortes charges, les chaînes de traitement avec décantation primaire et boues activées en mélange complet sont sélectionnées pour les sources industrielles à fortes charges.

Chaque schéma de sélection du modèle est structuré en fonction du problème de traitement particulier qui se pose dans une municipalité - nombre de sources industrielles, caractéristiques des eaux usées, débits, contraintes d'espace, etc. - et ceci en relation simultanée avec les caractéristiques techniques de conception des procédés de traitement. Un schéma de sélection implique donc au préalable une analyse d'ingénierie du problème de traitement, laquelle conduit à une pré-sélection des technologies qui sont applicables. Sur cette base, l'utilisateur élabore ensuite un schéma de sélection qui permettra au modèle de développer une gamme de solutions techniques respectant les particularités du problème d'épuration qui se pose au point de rejet considéré.

Un schéma de sélection peut être construit de plusieurs façons par l'utilisateur, mais nos travaux ont mis en évidence que certaines structures doivent être évitées car elles ne facilitent pas la convergence vers une solution optimale. Durant nos travaux, plusieurs structures de sélection ont été testées. L'une des plus importantes recommandations à formuler sur la base de ces essais est que la construction d'un schéma de sélection ne doit pas donner lieu à une répétition ou un dédoublement d'une même solution de traitement ni ne contenir de chaînes de traitement équivalentes en termes d'efficacité. De façon générale aussi, la construction d'un schéma donné

devrait tendre à minimiser le nombre de variables de décision, tout en permettant de créer un domaine de solutions le plus large possible.

II.3 La variable de décision X_j

La variable de décision X_j est définie dans l'intervalle continue $[0, 1]$. Si l'on se réfère au schéma de sélection de la figure II.1, on constate qu'elle conduit donc à définir un domaine continu de solutions de traitement, lequel domaine permet l'existence de solutions non entières (cas "split-flow", où différentes fractions des effluents d'une même source peuvent être traitées par plusieurs systèmes d'épuration). Ces solutions non entières sont toutefois des solutions transitoires et non optimales. Pour satisfaire les conditions de Kuhn-Tucker, l'optimisateur tend à converger vers des solutions de traitement entières, c'est-à-dire vers celles qui sont obtenues en vertu des valeurs 0 et 1 de la variable de décision.

ANNEXE III

VARIABLES D'ENTRÉE

Les variables d'entrée du modèle peuvent être décrites sous quatre grandes catégories générales: (1) ESPACE, (2) RIVER, (3) DESIGN et (4) POINT DE REJET. Chaque variable est décrite ci-après et l'ensemble des données utilisées pour le bassin d'application sont résumées par les tableaux III.1 à III.15.

III.1 Bloc de données ESPACE

1. DX

C'est le pas de calcul (en km) du sous-modèle de transport (équations [28] à [31]) pour la simulation des conditions de qualité en rivière. Dans le présent modèle, nous avons utilisé $DX = 1$ km.

2. NX

C'est le nombre de variables de décision (X_i) du modèle d'optimisation. Rappelons que les variables de décision X_i interviennent dans la subroutine OPTIONS. Elles sont sous le contrôle de l'optimisateur et servent à effectuer la sélection des technologies de traitement. Le présent modèle a 43 variables de décision.

3. NG

Nombre de contraintes du modèle. Celui-ci en comporte 39, dont 14 contraintes de conservation des débits et 25 contraintes de qualité.

4. NTRON

Nombre de tronçons qui composent le système-rivière. Dans le cas du bassin de la rivière Yamaska, le modèle considère 5 tronçons (cf. figure 4.1, chapitre 4). Chaque tronçon comporte au moins 1 point de rejet (ville + industrie) et se termine par un point de confluence avec un autre tronçon.

5. LTRON (i)

Longueur des tronçons en km. Le tableau I.1 indique les valeurs utilisées pour les différents tronçons de la Yamaska.

III.2 Bloc de données RIVER

1. TYPPOL

Cette variable tient lieu d'indicateur permettant de spécifier au modèle si l'on désire optimiser les solutions d'assainissement en appliquant les contraintes de qualité sur les trois paramètres à la fois - oxygène dissous, P et DBO -, sur seulement deux à la fois ou sur un seul de ces paramètres. Cette variable peut prendre une valeur de 1 à 6 selon les contraintes que l'on désire utiliser (voir tableau I.2).

2. NSEC (i)

Nombre de sections dans un tronçon i . Rappelons qu'un tronçon peut être divisé en plusieurs sections qui sont délimitées soit par un changement hydraulique des conditions d'écoulement, soit par la confluence d'un tributaire, la présence d'un réservoir, d'une prise d'eau, etc. À ce stade-ci de l'application du modèle, les sections ont été définies uniquement en fonction de la confluence des principaux tributaires d'un tronçon donné. Cette hypothèse de travail doit être retenue en raison des deux faits suivants: (1) d'un point de vue d'hydraulique, les caractéristiques morphométriques (pente, section) de la rivière Yamaska indiquent que les conditions d'écoulement sont généralement homogènes dans les limites d'un tronçon donné; (2) le cas échéant, c'est la sensibilité des solutions d'assainissement aux paramètres du milieu récepteur (tels que définis dans les équations [28] à [31]) qui permet de préciser le découpage des sections dans un tronçon donné.

3. POSEC (i, j)

Variable qui fournit la position du début d'une section j dans un tronçon i . Cette position est donnée en distance (km) à partir de l'origine du tronçon i .

4. DECAYK (i, j)

Constante de réaction des processus de biodégradation (K_1 , telle que définie dans l'équation [28]) pour la section j du tronçon i. Le tableau II.3 présente les valeurs de cette constante pour la présente application. Dans la cas du tronçon 1 (rivière Yamaska-Nord), la valeur de K_1 a été établie sur la base des mesures in situ effectuées par Boudreault (1984). Dans le cas des autres tronçons, nous avons utilisé, à titre préliminaire, une relation empirique proposée dans les travaux de Wright et al. (1979):

$$K_1 = 10,3 Q^{-0,49} \quad [III.1]$$

où Q est le débit de régime permanent ("steady-state stream flow").

5. REAK (i, j)

Constante de réaération physique (K_2) en j^{-1} , telle que définie dans l'équation [30]. Cette variable est fournie au modèle comme une donnée d'entrée. Diverses relations empiriques basées sur les caractéristiques hydrauliques du cours d'eau permettent de l'estimer (Roberts, 1983). Pour les fins de la présente application, nous avons convenu d'appliquer à l'ensemble du cours d'eau une valeur de 0,75, représentative des coefficients de réaération obtenus pour la rivière Yamaska-Nord par Boudreault (1984).

6. PTRANSK (i, j)

Coefficient de transport net pour le phosphore total, assumant l'hypothèse d'un processus du premier ordre tel que suggéré par les données observées sur le cours d'eau d'application. À titre préliminaire, une valeur de $0,25 \text{ (km}^{-1})$ a été utilisée dans la présente application.

7. NTRANSK (i, j)

Constante de nitrification en rivière (j^{-1}). Les seuls travaux qui nous sont connus sur la nitrification dans la rivière Yamaska ont été effectués par Boudreault (1984) et sont limités au tronçon 1 (rivière Yamaska-Nord). Pour les autres tronçons, aucune donnée expérimentale n'est disponible. Comme hypothèse d'application du modèle, une valeur de $K_n = 1,25$ a donc été retenue sur la base des indications fournies par les travaux de Boudreault (1984). Toutes autres valeurs de constante peuvent évidemment remplacer cette donnée d'application si elles sont disponibles selon les sections du cours d'eau.

8. QRIV (i, 1)

Débit d'étiage en rivière correspondant à des conditions de régime permanent. Le débit en rivière est une donnée d'entrée qui s'applique au début de la première section (d'où $j = 1$) d'un tronçon. L'augmentation du débit le long du tronçon est ensuite prise en compte par les apports des tributaires principaux. À un point de confluence, c'est-à-dire à la

réunion de deux tronçons, le bilan des débits est effectué par le modèle et ce bilan fournit les nouvelles conditions initiales de débit pour le tronçon suivant. Dans la version actuelle du modèle, on considère que le débit est uniforme à l'intérieur d'une section donnée, bien que dans les faits, celui-ci peut augmenter de façon soutenue en raison des apports par les eaux souterraines, par les petits ruisseaux ou les fossés de drainage. À cet égard, des développements additionnels peuvent être effectués pour inclure un sous-programme permettant de répartir ces apports secondaires à l'intérieur d'une section (par exemple, en utilisant les rapports débits/surfaces de bassin entre deux stations hydrométriques).

Le modèle a été appliqué en utilisant les données de la saison hydrologique de l'été 1975. Le régime hydrologique de cette saison est caractérisé par deux longues périodes d'étiage séparées par un court épisode de crue. Le premier étiage couvre une période de 34 jours consécutifs, soit du 16 juin au 19 juillet; le deuxième s'étend sur une durée de 25 jours consécutifs entre le 1^{er} août et le 24 août. Au cours de ces deux périodes, les débits journaliers sont demeurés relativement stables. Mentionnons que ces conditions hydrologiques correspondent à un événement d'une période de retour d'environ 20 ans. Les débits d'étiage journaliers moyens ont été simulés à l'aide du modèle hydrologique CEQUEAU sur la base des relevés hydrométriques et pluviométriques disponibles pour la période considérée (Campbell et al., 1976). Les données de débit utilisées sont présentées au tableau II.4.

8. ODINI (i)

Condition initiale d'oxygène dissous en rivière au début des tronçons amont seulement (ex.: tronçons 1 et 2, figure 4.2). Cette donnée correspond en fait aux conditions naturelles d'oxygène dissous pour le cours d'eau d'application, sous des conditions de température d'été. Une valeur de 8 mg/l a été utilisée dans la présente application.

9. ODSAT (i)

Concentration en oxygène dissous à saturation pour les conditions de température considérées (l'été dans le cas qui nous intéresse, 23° C). Cette variable a été établie à 10,2 mg/l sur la base des mesures prises lors d'une campagne d'échantillonnage sur rivière la Yamaska.

10. VELO (i, j)

Vitesse d'écoulement dans la section j d'un tronçon i, en m/sec (μ , équations [28] à [31]). Présentement, cette variable est fournie au modèle comme donnée d'entrée sur la base de mesures de courant qui ont été effectuées sur la rivière Yamaska en période d'étiage (Boudreault, 1985). L'addition d'une subroutine permettant d'effectuer le calcul des vitesses d'écoulement en fonction du débit et des caractéristiques hydrauliques des sections (e.g. Q/A) constitue un développement additionnel facilement réalisable dans le modèle. Les données utilisées pour la variable VELO sont présentées au tableau II.5.

11. QTRIBU (i, j), DBOTRB (i, j), ODITRI (i, j), PHOTRB (i, j)

Apports d'un tributaire donné - débit, DBO, oxygène dissous, phosphore - au début d'une section j d'un tronçon i. Les tributaires considérés dans cette application sont donnés au tableau II.6.

III.3 Bloc de données "DESIGN"

Les données de cette catégorie concernent l'efficacité des systèmes de traitement qui sont définis dans le modèle d'optimisation. La revue présentée au chapitre II sur différents modèles d'optimisation existants a permis de mettre en évidence que les efficacités des systèmes de traitement étaient souvent exprimées en % de réduction des polluants. Cette approche constitue une approximation empirique de l'efficacité, basée sur les rendements de traitement moyens qui sont généralement observés. Elle présente cependant des limitations que nous avons déjà soulevées et discutées aux chapitres II et III. À partir du moment où le développement d'une solution optimale repose, au premier titre, sur une sélection des technologies de traitement (soit précisément la tâche du modèle), il devient nécessaire de respecter les bases techniques de l'efficacité, c'est-à-dire l'efficacité de conception d'un système d'épuration donné.

Dans l'application du modèle, nous avons voulu utiliser ces deux approches (% de réduction -vs- efficacité de conception) et étudier le rôle et l'importance de l'efficacité des systèmes d'épuration dans le développement des solutions de traitement. À ces fins, le modèle a été conçu de façon à

permettre d'utiliser, soit une efficacité exprimée en % de réduction des polluants (DBO_5 , N-NH_3 , P), soit une efficacité de conception basée sur les procédures et les pratiques de design des systèmes de traitement.

Les efficacités des chaînes de traitement définies dans le modèle sont présentées aux tableaux II.7 et II.8. Ces chaînes de traitement sont elles-mêmes présentées et décrites quant à leurs caractéristiques de conception et de coûts par Pineau et Villeneuve (1984b). Notons que dans la version actuelle du modèle, les données d'efficacité sont intégrées au programme de sorte qu'elles peuvent être modifiées dans le programme plutôt que par le fichier d'entrée.

III.4 Blocs de données "POINTS DE REJET"

Ces données concernent les caractéristiques des eaux usées municipales et industrielles de chaque municipalité du bassin d'application. Les données ont été obtenues auprès du service de l'Assainissement urbain (Montréal) du ministère de l'Environnement du Québec (Bodineau, 1984). Elles sont présentées dans les tableaux II.9 à II.15. C'est sur la base de ces caractéristiques d'eaux usées que les variables d'entrée suivantes ont été déterminées.

QINDUS (i, j, k) : débit d'eaux usées (m^3/j);

DBOIND (i, j, k) : DBO ultime;

PHOIND (i, j, k) : concentration en phosphore total ($\text{mg P}_t/\text{l}$);

NH3 IND (i, j, k): NOD (mg/l).

où:

k : est le type de source, soit municipal, soit industriel (textile, laiterie, abattoir, etc.);

j : est la municipalité (point de rejet);

i : est le tronçon où se trouve la municipalité j;

DBO ultime: est la demande biochimique ultime en oxygène, obtenue des valeurs de DBO_5 par l'application d'un facteur 1.5;

NOD : est la demande azotée en oxygène.

Dans le cas de l'azote ammoniacal, $N-NH_3$, aucune valeur de concentration ne nous était disponible pour les différentes sources industrielles et municipales du bassin. En l'absence de données sur ce paramètre, nous avons donc utilisé des valeurs types de concentrations correspondant à des conditions d'eaux usées moyennement chargées, soit 20 mg/l (Metcalf & Eddy Inc., 1979). De plus, afin de pouvoir se donner une hypothèse d'application, nous avons appliqué la même valeur de concentration aux eaux municipales et industrielles. Il est clair que toutes données réelles peuvent remplacer les données théoriques utilisées ici. D'ailleurs, les résultats du modèle ont clairement mis en évidence (à l'instar également des travaux de plusieurs autres auteurs) l'importance d'établir les charges en azote ammoniacal des différentes sources d'eaux usées. Dans le cas de Granby, en particulier, les valeurs utilisées correspondent à des conditions d'eaux usées fortement diluées, telles qu'observées sur la base d'un échantillonnage in situ des effluents de cette municipalité (Boudreault, 1985).

Tableau III.1
Variable LTRON (i)

TRONÇON	LTRON (i) (km)
1	24
2	20
3	50
4	6
5	42

Tableau III.2
Variable TYPOL¹

TYPOL (CHOIX DES CONTRAINTES)	OPTIMISATION EFFECTUÉE SOUS LES CONTRAINTES CHOISIES
TYPOL = 1	O.D.
TYPOL = 2	DBO ₅ ²
TYPOL = 3	P _t
TYPOL = 4	O.D., DBO ₅
TYPOL = 5	O.D., P _t
TYPOL = 6	O.D., P _t , DBO ₅

- ¹ Ces différents modes d'optimisation sont offerts par le modèle dans le but de permettre à l'utilisateur d'étudier les contraintes de qualité qui sont critiques pour les solutions d'assainissement.
- ² Nous avons déjà mentionné que l'utilisation d'une contrainte de milieu en DBO₅ est inusitée. Elle a néanmoins été prévue dans le modèle pour cette seule raison que le ministère de l'Environnement du Québec l'applique.

Tableau III.3
Variable DECAYK

DECAYK (i, j)	$K_1(j-1)$
DECAYK (1,1)	0,45
DECAYK (1,2)	0,45
DECAYK (2,1)	0,45
DECAYK (3,1)	0,83
DECAYK (3,2)	0,74
DECAYK (4,1)	0,82
DECAYK (4,2)	0,82
DECAYK (5,1)	0,55
DECAYK (5,2)	0,53
DECAYK (5,3)	0,51

Tableau III.4
Conditions hydrologiques

VARIABLE	DÉBIT (m ³ /sec)
QRIV (1,1)	1,5
QRIV (2,1)	1,8
QRIV (3,1)	4,8
QRIV (4,1)	4,9
QRIV (5,1)	11,0
QTRIBU (1,2)	1,5
QTRIBU (3,2)	1,3
QTRIBU (5,2)	1,0
QTRIBU (5,3)	1,1

Tableau III.5

Variable VELO

VELO (i, j)	VITESSE D'ÉCOULEMENT (m/sec)
VELO (1,1)	,15
VELO (1,2)	,15
VELO (2,1)	,3
VELO (3,1)	,11
VELO (3,2)	,08
VELO (4,1)	,11
VELO (5,1)	,08
VELO (5,2)	,08
VELO (5,3)	,08

Tableau III.6
Apports des tributaires

TRIBUTAIRE	VARIABLE D'APPORT	DONNÉES D'APPLICATION** (mg/l)
Yamaska-Centre	ODITRI (1,2)	8,
	DBOTRB (1,2)	1,
	PHOTRB (1,2)	0,03
	NH3TRB (1,2)	*
Barbue	ODITRI (3,2)	8,
	DBOTRB (3,2)	1,5
	PHOTRB (3,2)	0,15
	NH3TRB (3,2)	1,5
Chibouet	ODITRI (5,2)	8,
	DBOTRB (5,3)	1,5
	PHOTRB (5,3)	0,15
	NH3TRB (5,3)	1,5
Salvail	ODITRI (5,3)	8,
	DBOTRB (5,3)	1,5
	PHOTRB (5,3)	0,15
	NG3TRB (5,3)	1,5

* Négligeable

** Valeurs non mesurées proposées uniquement à des fins d'application

Tableau III.7 A

Chaînes de traitement du modèle d'optimisation

NUMÉRO IDENTIFICATION	TYPE D'USINE	CHAINE DE TRAITEMENT
1	Boues activées (mélange complet)	PRIMAR-COMPLE-SECO GRAVIT-AEROBI
2	Boues activées (mélange complet) / filtration	PRIMAR-COMPLE-SECO FILTRA-GRAVIT-AEROBI
3	Boues activées (mélange complet) / contrôle du phosphore	PRIMAR-COMPLE-COAGUL SECO-GRAVIT-AEROBI
4	Boues activées (mélange complet) / contrôle du phosphore / filtra- tion	PRIMAR-COMPLE-COAGUL SECO-FILTRA-GRAVIT AEROBI
5	Boues activées (mélange complet) / nitrification	PRIMAR-COMPLE-SECO NITRI-GRAVIT-AEROBI
6	Boues activées (aération prolongée)	PRELIM-EXTEND-SECO AEROBI
7	Boues activées (aération prolongée) / filtration	PRELIM-EXTEND-SECO FILTRA-AEROBI
8	Boues activées (aération prolongée) / contrôle du phosphore	PRELIM-EXTEND-COAGUL SECO-AEROBI
9	Boues activées (aération prolongée) / contrôle du phosphore / filtration	PRELIM-EXTEND-COAGUL SECO-FILTRA-AEROBI
10	Filtre biologique	PRELIM-PRIMAR-TRICKL SECO-AEROBI
11	Filtre biologique / contrôle du phosphore	PRELIM-PRIMAR-TRICKL COAGUL-SECO-AEROBI
12	Étangs aérés facultatifs	AERA
13	Étangs aérés facultatifs / contrôle du phosphore	AERA-COAGUL
14	Usine primaire	PRELIM-PRIMAR-AEROBI

Tableau III.8
Efficacités des chaînes de traitement

POLLUANT	IDENTIFICATION DES CHAINES DE TRAITEMENT (tableau II.7)	EFFICACITÉS	
		% DE RÉDUCTION	EFFICACITÉ DE DESIGN - CON- CENTRATION A L'EFFLUENT (mg/l)
Contrôle de la DBO ₅	1 - 6 - 10	88	20
	2 - 4 - 7 - 9	98	10
	12 - 14	80	—
		60	—
Contrôle de l'azote ammoniacal	5	95	—
Contrôle du phosphore	3-4-8-9-11-13	90	1

Tableau III.9

Caractéristiques des eaux usées urbaines
et industrielles - Ville de Granby¹

TYPE	DÉBIT DE DESIGN (m ³ /jour)	DBO ₅ (kg/jour)	SS (kg/jour)	PHOSPHORE (kg/jour)	N-NH ₃ (mg/l)
Domestique	38 610	1 905	2 155	77	
Sources diverses	2 271	907	*	*	
Total municipal	40 880	2 812	*	*	6
Industrie B	3 975	3 000	*	*	8
Industrie A	5 110	1 000	*	*	8
Total	50 000	6 812	4 855	249	-

¹ Source: MEQ (1984); Vézina, Fortier & Ass. (1982).

* Les valeurs de charges en SS et P ne sont pas disponibles individuellement pour ces types de sources.

Tableau III.10

Caractéristiques des eaux usées urbaines
et industrielles - Ville de Cowansville¹

TYPE	DÉBIT DE DESIGN (m ³ /jour)	DBO ₅ (kg/jour)	SS (kg/jour)	PHOSPHORE (kg/jour)	N-NH ₃ ** (mg/l)
Municipal	10 113	481	*	24	20
Industriel	4 592	790	*	39	20
Total	14 706	1 271	*	63	-

¹ Source: MEQ (1984).

* Valeur non disponible

** Concentration théorique par défaut

Tableau III.11

Caractéristiques des eaux usées urbaines
et industrielles - Ville de Farnham¹

TYPE	DÉBIT DE DESIGN (m ³ /jour)	DBO ₅ (kg/jour)	SS (kg/jour)	PHOSPHORE (kg/jour)	N-NH ₃ ** (mg/l)
Municipal	6 390	278	*	20,5	20
Industriel (textile)	4 340	1 252	*	31,3	20
Total	10 730	1 530	*	51,8	-

¹ Source: MEQ (1984).

* Valeur non disponible

** Concentration théorique par défaut

Tableau III.12

Caractéristiques des eaux usées urbaines et industrielles
Municipalités de Rougemont/St-Cézaire ¹⁻²

TYPE	DÉBIT DE DESIGN (m ³ /jour)	DBO ₅ (kg/jour)	SS (kg/jour)	PHOSPHORE (kg/jour)	N-NH ₃ ⁶ (mg/l)
Municipal	3 100	263	*	10 ⁴	20
Industriel (Conserverie ³)					
• Hiver/printemps	750	454	*		-
• Été/automne	2 025	4 990	*	27 ⁴	20

¹ Il s'agit de deux agglomérations jumelles. Juridiquement, elles ont un statut municipal distinct mais elles sont localisées côte-à-côte en bordure de la rivière Yamaska.

² Source: MEQ (1984).

³ Bien qu'elle fonctionne sur une base annuelle, les activités de la conserverie sont considérablement accrues durant la saison de production agricole.

⁴ Source: Pineau et al. (1983)

⁵ Valeur non disponible

⁶ Concentration théorique par défaut

Tableau III.13

Caractéristiques des eaux usées urbaines
et industrielles - Municipalité de St-Damase¹

TYPE	DÉBIT DE DESIGN (m ³ /jour)	DBO ₅ (kg/jour)	SS (kg/jour)	PHOSPHORE (mg/l)	N-NH ₃ ⁴
Municipal	700	72	*	5 ³	20
Industriel ² (Coop.agricole, conserverie)	2 040	2 270	*	10 ³	20
Total	3 740	2 342	*	15 ³	-

¹ Source: MEQ (1984)

² Basé sur la période été/automne durant la haute saison de production de la conserverie

³ Source: Pineau et al. (1983)

⁴ Concentration théorique par défaut

* Valeur non disponible

Tableau III.14

Caractéristiques des eaux usées urbaines
et industrielles - Municipalité de St-Pie¹⁻²

TYPE	DÉBIT DE DESIGN (m ³ /jour)	DBO ₅ (kg/jour)	SS (kg/jour)	PHOSPHORE (mg/l)	N-NH ₃ ³
Municipal	1 230	146	172	6,7	20

¹ Source: MEQ (1984)

² Aucune industrie dans cette municipalité

³ Concentration théorique par défaut

Tableau III.15

Caractéristiques des eaux usées urbaines
et industrielles - Ville de St-Hyacinthe¹

TYPE	DÉBIT DE DESIGN (m ³ /jour)	DBO ₅ (kg/jour)	SS (kg/jour)	PHOSPHORE (kg/jour)	N-NH ³ (mg/l)
Domestique	35 050	1 815	*	*	-
Sources diverses	2 920	590	*	*	-
Total municipal	37 970	2 405	1 452	190	20
Industriel ²	3 200	2 270	5 350	40	20
Total	41 170	4 775	6 800	230	-

¹ Source: MEQ (1984) Pellemont Environment (1983)

² Industriel comprenant: 2 abattoirs, 1 fromagerie, 1 laiterie, 1 conserverie et une usine de textile.

³ Concentration théorique par défaut

* Valeur non disponible

ANNEXE IV

PROGRAMME INFORMATIQUE DU MODÈLE

```
PROGRAM PROG(INPUT,OUTPUT,TAPE5,TAPE6=OUTPUT,TAPE7,TAPE10)
DIMENSION Z(6000)
DATA NCORE/6000/
CALL GRG(Z,NCORE)
STOP
END
```

```

SUBROUTINE GCOMP(G,X)
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
C
C   CHANGEMENTS FAITS POUR UOPTIM :
C   -----
C
C   1)  DATA IPASS/0/
C       IF(IPASS.EQ.0) CALL ENTREE
C       IPASS=1
C
C   2)  CHANGEMENT DE "G" PAR "GG" PARTOUT
C
C   3)  CHANGEMENT DE "X" PAR "XX" ET "XX" PAR "XXX" PARTOUT
C
C   4)  AJOUT DE "NG" ET "NGZ" DANS "ESPACE" ET "EPASZ"
C       OU "NG" EST LE NOMBRE DE CONTRAINTES (INCLUANT FCN OBJ.)
C       ET LECTURE, ECRITURE ET INITIALISATION DE NG.
C
C   5)  REAL G(1),X(1)
C
C   6)  ELIMINATION DES "CALL" DONNANT LIEU A DE L'ECRITURE.
C       (LES "CALL SOR...")
C
C   7)  AJOUT AU DEBUT DE "GCOMP" DE
C       DO 10 I=1,NX
C       XX(I)=X(I)
C       10 CONTINUE
C
C   8)  AJOUT A LA FIN DE "GCOMP" DE
C       DO 20 I=1,NG
C       G(I)=GG(I)
C       20 CONTINUE
C
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
CC** POUR OPTIMISATION ENLEVER LE COMMENTAIRE DE LA PROCHAINE LIGNE.
REAL X(1),G(1)
C -----
C           DONNEES "RIVIER" (TOUS LES TRONCONS)
C -----
C           INTEGER TYPOZ,NSEZ(5),TYPSEZ(5,6)
C           REAL POSEZ(5,6),QRIZ(5,6),QTRIEZ(5,6),ODITRZ(5,6)
C           REAL DBOTRZ(5,6),PHOTRZ(5,6),REAZ(5,6),TRANSZ(5,6)
C           REAL VELZ(5,6),DECAYZ(5,6)
C           REAL ODINZ(5),ODSAZ(5)
C -----
C           DONNEES "DESIGN" (POUR TOUS LES TRONCONS)
C -----
C           INTEGER NSYZ,TYPDEZ
C           REAL EFFIZ(2,4),SEZ,SSAZ,SSCOAZ,SSFIZ
C           REAL FDZ,BZ,PCOAZ,PFIZ

```

```

C -----
C          DONNEES "POINT DE REJET" (POUR TOUS LES TRONCONS)
C -----
C          INTEGER NREJEZ(5),NDECIZ(5,3),NINDUZ(5,3),NCOMPZ(5,3)
C          INTEGER NQTRAZ(5,3)
C          REAL POSREZ(5,3),QINDUZ(5,3,3),DBOINZ(5,3,3),PHOINZ(5,3,3)
C -----
C          DONNEES "ESPACE" (POUR TOUS LES TRONCONS)
C -----
C          INTEGER NTROZ,NXZ,NGZ
C          REAL LTROZ(5),DXZ,XZ(50)
C -----
C          DONNEES "RIVIER"
C -----
C          INTEGER TYPOL,NSEC,TYPSEC(6)
C          REAL POSEC(6),QRIV(6),QTRIBU(6),ODITRI(6)
C          REAL DBOTRB(6),PHOTRB(6),REAK(6),TRANSK(6)
C          REAL VELO(6),DECAYK(6)
C          REAL ODINI,ODSAT
C -----
C          DONNEES "DESIGN"
C -----
C          INTEGER NSYS,TYPDES
C          REAL EFFIC(2,4),SE,SSAS,SSCOAG,SSFIL,FD,B,PCOAG,PFIL
C -----
C          DONNEES "POINT DE REJET"
C -----
C          INTEGER NREJET,NDECIS(3),NINDUS(3),NCOMPV(3)
C          INTEGER NDECUM(5,3),NQTRAI(3),NQTCUM(5,3)
C          REAL POSREJ(3),QINDUS(3,3),DBOIND(3,3),PHOIND(3,3)
C -----
C          DONNEES "ESPACE"
C -----
C          INTEGER NTRON,NX,NG
C          REAL LTRON,DX,XX(50)
C -----
C          VARIABLES "DIVERSES"
C -----
C          INTEGER ITRON,IREJET,ISEC,ICONST,NIND,NCOMP,NDECI,L
C          REAL XLOAD(2),IDX,XXX(8),CHARS(2,4)
C          REAL QTRAI(8),QTRAIT(19),GG(65),CHARES(2,10)
C          REAL CHALIB(2,3),CHAPTR(2,3),QLIBT(3),LONCOU
C          REAL CO,QUALOD,QUALP,QUALBO,GQUABO(55),GQUAOD(55),GQUAPO(55)
C          REAL CHARNI(2),CHADBO,CHAPHO,CHARIV(2),QUAMIN(3)
C -----
C          *****
C          *
C          *   LES "COMMON"
C          *
C          *****

```

COMMON/RIVIEZ/TYPOZ,NSEZ,TYPSEZ,POSEZ,QRIZ,QTRIBZ,ODITRZ,DBOTRZ,
1 PHOTRZ,REAZ,TRANSZ,VELZ,DECAYZ,ODINZ,ODSAZ

COMMON/DESIGZ/NSYZ,TYPDEZ,EFFIZ,SEZ,SSAZ,SSCOAZ,SSFIZ,FDZ,
1 BZ,PCOAZ,PFIZ

COMMON/REJEZ /NREJEZ,NDECIZ,NINDUZ,NCOMPZ,
1 NQTRAZ,
1 POSREZ,QINDUZ,DBOINZ,PHOINZ

COMMON/ESPAZ/NTROZ,NXZ,NGZ,LTROZ,DXZ,XZ

COMMON/RIVIER/TYPOL,NSEC,TYPSEC,POSEC,QRIV,QTRIBU,ODITRI,DEOTRE,
1 PHOTRE,REAK,TRANSK,VELO,DECAYK,ODINI,ODSAT

COMMON/DESIGN/NSYS,TYPDES,EFFIC,SE,SSAS,SSCOAG,SSFIL,FD,
1 B,PCOAG,PFIL

COMMON/REJET /NREJET,NDECIS,NINDUS,NCOMPV,
1 NDECUM,NQTRAI,NQTCUM,
1 POSREJ,QINDUS,DBOIND,PHOIND

COMMON/ESPACE/NTRON,NX,NG,LTRON,DX,XX

COMMON/DIVERS/ITRON,IREJET,ISEC,ICONST,NIND,NCOMP,NDECI,L,
1 XLOAD,IDX,XXX,CHARS,
1 QTRAI,QTRAIT,GG,CHARES,
1 CHALIB,CHAPTR,QLIBT,LONCOU,
1 CO,QUALOD,QUALP,QUALBO,GQUABO,GQUAOD,GQUAPO,
1 CHARNI,CHADBO,CHAPHO,CHARIV,QUAMIN

CCCCCCCCCCCCCCCC
C C
C CALL ENTREE C
C CALL INIT C
CCCCCCCCCCCCCCCC C CALL MODELE C
C CALL SORTIE C
C C
CCCCCCCCCCCCCCCC

DATA IPASS/0/
IF(IPASS.EQ.0) CALL ENTREE

GG(1)=0.0
ICONST=1

ITRON=1
CALL INIT(ITRON)

```

CC** POUR OPTIMISATION ENLEVER LE COMMENTAIRE DE LA PROCHAINE LIGNE.
  DO 10 I=1,NX
  XX(I)=X(I)
10 CONTINUE
  CHARIV(1)=0.
  CHARIV(2)=0.
  CALL MODELE
  CHADBO=CHARIV(1)
  CHAPHO=CHARIV(2)
  QALOD1=QUALOD
C
  ITRON=2
  CALL INIT(ITRON)
  CHARIV(1)=0.
  CHARIV(2)=0.
  CALL MODELE
C
  ITRON=3
  CHARIV(1)=CHADBO+CHARIV(1)
  CHARIV(2)=CHAPHO+CHARIV(2)
  QALOD2=QUALOD
  CALL INIT(ITRON)
  ODINI=(QALOD1*(QRIZ(1,1)+QTRIBZ(1,2))+QALOD2*QRIZ(2,1))/QRIZ(3,1)
  CALL MODELE
  CHADBO=CHARIV(1)
  CHAPHO=CHARIV(2)
  QALOD3=QUALOD
C
  ITRON=4
  CALL INIT(ITRON)
  CHARIV(1)=0.
  CHARIV(2)=0.
  CALL MODELE

  ITRON=5
  CHARIV(1)=CHADBO+CHARIV(1)
  CHARIV(2)=CHAPHO+CHARIV(2)
  QALOD4=QUALOD
  CALL INIT(ITRON)
  ODINI=(QALOD3*(QRIZ(3,1)+QTRIBZ(3,2))
1      +QALOD4*(QRIZ(4,1)+QTRIBZ(4,2)))/QRIZ(5,1)
  CALL MODELE
C
CC** PREMIER COUP SEULEMENT...UNE SORTIE
  IF(IPASS.EQ.0) CALL SORTIE(QTRAIT,QINDUS,QLIBT,
1      CHARES,CHALIB,CHAPTR,GG)
CC** POUR OPTIMISATION
  DO 20 I=1,NG
  G(I)=GG(I)
  IF(IPASS.EQ.0) PRINT *,°G(°,J,°)=°,G(I)

```

20 CONTINUE

CC**

999 IPASS=1

CC** POUR OPTIMISATION ENLEVER LE COMMENTAIRE DE LA PROCHAINE LIGNE.
RETURN
END

SUBROUTINE MODELE

C *****

C

CCCCCCCCCCCCCCCC

C NINDUSMAX=3 (NOMBRE D°INDUSTRIES + 1 VILLE)

C NBPOLLUANT=2 (DBO ET PHOS)

C LTRON=55

C NINDUSTOT=7

C NREJET=3

C NQTRAITTOT=19

C NQTRAITMAX=8

C NSEC=1

C NCOMPTOT=10

C NCOMPMAX=4

C NB DE XX(I)=50

C DIM DE G=65

C NSYS=4

C NB MAX DE XX(I) POUR UN SYSTEME=8

CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC

C

C

C

C

DONNEES "RIVIER"

C

INTEGER TYPOL,NSEC,TYPSEC(6)

REAL POSEC(6),QRIV(6),QTRIBU(6),ODITRI(6)

REAL DBOTRB(6),PHOTRB(6),REAK(6),TRANSK(6)

REAL VELO(6),DECAYK(6)

REAL ODINI,ODSAT

C

C

C

DONNEES "DESIGN"

INTEGER NSYS,TYPDES

REAL EFFIC(2,4),SE,SSAS,SSCOAG,SSFIL,FD,B,PCOAG,PFIL

C

C

C

DONNEES "POINT DE REJET"

INTEGER NREJET,NDECIS(3),NINDUS(3),NCOMPV(3)

INTEGER NDECUM(5,3),NQTRAI(3),NQTCUM(5,3)

REAL POSREJ(3),QINDUS(3,3),DBOIND(3,3),PHOIND(3,3)

C

C

C

DONNEES "ESPACE"

INTEGER NTRON,NX,NG

REAL LTRON,DX,XX(50)

C

C

C

VARIABLES "DIVERSES"

INTEGER ITRON,IREJET,ISEC,ICONST,NIND,NCOMP,NDECI,L

REAL XLOAD(2),IDX,XXX(8),CHARS(2,4)

C C CALL DCHARG C
C C C
C CCCCCCCCCCCCCC
C

CALL OPTION(ITRON, IREJET, NIND, QINDUS, DBOIND, PHOIND, EFFIC, NDECI,
1 XXX, NCOMP, CHARS, QTRAI, GG)

CALL CONTR(ITRON, IREJET, ICONST, QTRAI, GG)
CALL DECHARG(ITRON, IREJET, QINDUS, DBOIND, PHOIND, QTRAI, CHARS,
1 CHALIB, CHAPTR, QLIBT)

IF(IREJET.EQ.1) GOTO 250

ON MET DANS CHARES LE CONTENU DE CHARS MAIS COMMENCANT A L°INDICE
OU ON EST RENDU I.E. CELUI DE LA COMPOSANTE DU DERNIER PT DE REJET.

IREJM1=IREJET-1
NFAIT=0
DO 229 J=1, IREJM1
229 NFAIT=NFAIT+NCOMPV(J)

DO 230 J=1, NCOMP
CHARES(1, J+NFAIT)=CHARS(1, J)
CHARES(2, J+NFAIT)=CHARS(2, J)
230 CONTINUE

ON FAIT LA MEME CHOSE POUR QTRAIT (AVEC QTRAI) ET
ON REMET DANS X LE CONTENU DE XXX A SA PLACE. (INDICE OU ON EST RENDU)

GOTO 260

250 DO 252 J=1, NCOMP
CHARES(1, J)=CHARS(1, J)
CHARES(2, J)=CHARS(2, J)
252 CONTINUE

260 CONTINUE
DO 270 J=1, NDECI
XX(J+NDECUM(ITRON, IREJET))=XXX(J)
270 CONTINUE
DO 280 J=1, NQTRAI(IREJET)
QTRAIT(J+NQTCUM(ITRON, IREJET))=QTRAIT(J)
280 CONTINUE

CC
CC
CC CC
CC CC
CC CALCUL DE LA QUALITE POUR UN INTER-REJET CC
CC CC

```

CC
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
    IDX=0.
    L=0
C ON FIXE "CHARNI" ET "CC" POUR TOUT L'INTER-REJET
    CHARNI(1)=CHARIV(1)+CHAPTR(1,IREJET)
    CHARNI(2)=CHARIV(2)+CHAPTR(2,IREJET)
    CC=QUALOD
C
C CAS SPECIAL POUR TRONCON 4 (STE PIE)
C ON AJOUTE UNE CHARGE INITIALE CAR ON NE COMMENCE
C PAS TOUT A FAIT AU DEBUT.
C
    STPIE1=0.
    STPIE2=0.
    IF(ITRON.EQ.4) CHARNI(1)=CHARNI(1)+STPIE1
    IF(ITRON.EQ.4) CHARNI(2)=CHARNI(2)+STPIE2
C
C
C
C
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
C
C
C
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
C
C
C
CC** POUR OPTIMISATION METTRE EN COMMENTAIRE LA PROCHAINE LIGNE.
CC** CALL SORREJ(IREJET,NINDUS,QINDUS,DBOIND,PHOIND,XX,CHARIV,
CC** 1      CHAPTR,QRIV,ISEC,CO)
C -----
C
C          CALL RIVER
C -----
C
100 LONCOU=LONCOU+DX
    IDX=IDX+DX
    L=L+1
C
C
C
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
C
C
C
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
C
C
C
CALL RIVER(LONCOU,IDX,DX,VELO(ISEC),QRIV(ISEC),
1      REAK(ISEC),TRANSK(ISEC),DECAYK(ISEC),
1      CHARNI,ODSAT,
1      CO,XLOAD,QUALOD,QUALP,QUALBO)
GQUAOD(L)=QUALOD
GQUABO(L)=QUALBO
GQUAPO(L)=QUALP
CHARIV(1)=XLOAD(1)
CHARIV(2)=XLOAD(2)

```

```

C                                                     CCCCCCCCCCCCCCCCC
C                                                     C                      C
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC CALL SORRIV C
C                                                     C                      C
C                                                     CCCCCCCCCCCCCCCCC
CC** POUR OPTIMISATION METTRE EN COMMENTAIRE LA PROCHAINE LIGNE.
CC** CALL SORRIV(IDX,LONCOU,QUALBO,QUALOD,QUALP,CHARIV)
C -----
C     EST-CE LA FIN DU TRONCON ?
C -----
C     IF(LONCOU.EQ.LTRON) GOTO 800
C -----
C     ON CONTINUE A TRANSPORTER LA CHARGE EN RIVIERE JUSQU°A CE QU°ON
C     RENCONTRE UNE NOUVELLE SECTION OU UN NOUVEAU POINT DE REJET.
C -----
C
C -----
C     EST-CE UN NOUVEAU POINT DE REJET ?
C -----
C     IF(LONCOU.EQ.POSREJ(MIN(IREJET+1,NREJET))) GOTO 800
C -----
C     SINON EST-CE UNE NOUVELLE SECTION ?
C -----
C     IF(LONCOU.EQ.POSEC(MIN(ISEC+1,NSEC))) GOTO 300
C -----
C
C     ICI C°EST LE CAS OU ON CONTINUE A TRANSPORTER LA CHARGE EN RIVIERE.
C -----
C     GOTO 100
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
CC                                                     CC
CC                                                     CC
CC                FIN DE L°INTER-REJET                             CC
CC                                                     CC
CC                                                     CC
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
C ON TROUVE LA QUALITE MINIMUM EN DBO, OXYGENE DISSOUS OU PHOSPHORE
C (DEPENDANT DE "TYPOL") ET ON DEFINIT CETTE VALEUR COMME CONTRAINTE.
C -----
C
C                                                     CCCCCCCCCCCCCCCCCCC
C                                                     C                      C
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC CALL MINI  C
C                                                     C                      C
C                                                     CCCCCCCCCCCCCCCCCCC
800 CALL MINI(GQUABO,L,QUAMIN(1))
      CALL MINI(GQUAOD,L,QUAMIN(2))

```

```

CALL MINI(GQUAPO,L,QUAMIN(3))
IF(TYPOL.EQ.1.OR.TYPOL.EQ.4.OR.TYPOL.EQ.5.OR.TYPOL.EQ.6) GOTO 810
IF(TYPOL.EQ.2) GOTO 820
IF(TYPOL.EQ.3) GOTO 830
C EN CAS D'ERREUR...
WRITE(6,*)' ERREUR DANS "MODELE", TYPOL=',TYPOL
STOP

C
C -----
C CAS OU IL Y A CONTRAINTE SUR LA DBO (AU MOINS)
C -----
810 ICONST=ICONST+1
GG(ICONST)=QUAMIN(1)
IF(TYPOL.EQ.4.OR.TYPOL.EQ.6) GOTO 820
IF(TYPOL.EQ.5) GOTO 830
GOTO 890

C
C -----
C CAS OU IL Y A CONTRAINTE SUR L'OXYGENE DISSOUS
C -----
820 ICONST=ICONST+1
GG(ICONST)=QUAMIN(2)
IF(TYPOL.EQ.6) GOTO 830
GOTO 890

C
C -----
C CAS OU IL Y A CONTRAINTE SUR LE PHOSPHORE
C -----
830 ICONST=ICONST+1
GG(ICONST)=QUAMIN(3)
GOTO 890

C
C -----
C CAS OU IL Y A CONTRAINTE SUR LE NITRATE
C -----
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
C
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
CALL SORMIN
C
C
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
C
890 CONTINUE
CC** POUR OPTIMISATION METTRE EN COMMENTAIRE LA PROCHAINE LIGNE.
CC** CALL SORMIN(QUAMIN)
IF(LONCOU.EQ.LTRON) GOTO 900
GOTO 500

C -----
C
C NOUVELLE SECTION
C -----
300 ISEC=ISEC+1
QRIV(ISEC)=QRIV(ISEC-1)+QTRIBU(ISEC)
CHARNI(1)=CHARIV(1)+DBOTRB(ISEC)*QTRIBU(ISEC)*86.4

```

```
CHARNI(2)=CHARIV(2)+PHOTRB(ISEC)*QTRIBU(ISEC)*86.4  
CO=(QUALOD*QRIV(ISEC-1)+ODITRI(ISEC)*QTRIBU(ISEC))/QRIV(ISEC)  
IDX=0.  
GOTO 100
```

C

```
900 RETURN  
END
```

SUBROUTINE INIT(ITRON)

C SOUS-ROUTINE QUI INITIALISE LES VARIABLES AU DEBUT DU TRONCON "ITRON"
C A PARTIR DES VARIABLES DE DEPART LUES (VARIABLES SE TERMINANT PAR Z)

C DONNEES "RIVIER" (TOUS LES TRONCONS)

INTEGER TYPOZ,NSEZ(5),TYPSEZ(5,6)
REAL POSEZ(5,6),QRIZ(5,6),QTRIBZ(5,6),ODITRZ(5,6)
REAL DBOTRZ(5,6),PHOTRZ(5,6),REAZ(5,6),TRANSZ(5,6)
REAL VELZ(5,6),DECAYZ(5,6)
REAL ODINZ(5),ODSAZ(5)

C DONNEES "DESIGN" (POUR TOUS LES TRONCONS)

INTEGER NSYZ,TYPDEZ
REAL EFFIZ(2,4),SEZ,SSAZ,SSCOAZ,SSFIZ
REAL FDZ,BZ,PCOAZ,PFIZ

C DONNEES "POINT DE REJET" (POUR TOUS LES TRONCONS)

INTEGER NPEJEZ(5),NDECIZ(5,3),NINDUZ(5,3),NCOMPZ(5,3)
INTEGER NOTRAZ(5,3)
REAL POSREZ(5,3),QINDUZ(5,3,3),DBOINZ(5,3,3),PHOINZ(5,3,3)

C DONNEES "ESPACE" (POUR TOUS LES TRONCONS)

INTEGER NTROZ,NXZ,NGZ
REAL LTROZ(5),DXZ,XZ(50)

C DONNEES "RIVIER"

INTEGER TYPOL,NSEC,TYPSEC(6)
REAL POSEC(6),QRIV(6),QTRIBU(6),ODITRI(6)
REAL DBOTRB(6),PHOTRB(6),REAK(6),TRANSK(6)
REAL VELO(6),DECAYK(6)
REAL ODINI,ODSAT

C DONNEES "DESIGN"

INTEGER NSYS,TYPDES
REAL EFFIC(2,4),SE,SSAS,SSCOAG,SSFIL,FD,B,PCOAG,PFIL

C DONNEES "POINT DE REJET"

INTEGER NREJET,NDECIS(3),NINDUS(3),NCOMPV(3)
INTEGER NDECUM(5,3),NOTRAI(3),NOTCUM(5,3)
REAL POSREJ(3),QINDUS(3,3),DBOIND(3,3),PHOIND(3,3)

C DONNEES "ESPACE"

```

C -----
  INTEGER NTRON,NX,NG
  REAL LTRON,DX,XX(50)
C
C ----- ***** -----
C ----- * -----
C ----- * LES "COMMON" * -----
C ----- * -----
C ----- ***** -----
  COMMON/RIVIEZ/TYPOZ,NSEZ,TYPSEZ,POSEZ,QRIZ,QTRIBZ,ODITRZ,DBOTRZ,
1      PHOTRZ,REAZ,TRANSZ,VELZ,DECAYZ,ODINZ,ODSAZ
C
  COMMON/DESIGZ/NSYZ,TYPDEZ,EFFIZ,SEZ,SSAZ,SSCOAZ,SSFIZ,FDZ,
1      BZ,PCOAZ,PFIZ
C
  COMMON/REJEZ /NREJEZ,NDECIZ,NINDUZ,NCOMPZ,
1      NQTRAZ,
1      POSREZ,QINDUZ,DBOINZ,PHOINZ
C
  COMMON/ESPACZ/NTROZ,NXZ,NGZ,LTROZ,DXZ,XZ
C -----
  COMMON/RIVIER/TYPOL,NSEC,TYPSEC,POSEC,ORIV,QTRIEU,ODITRI,DECTRE,
1      PHOTRE,REAE,TRANSK,VELO,DECAYK,ODINI,ODSAT
C
  COMMON/DESIGN/NSYS,TYPDES,EFFIC,SE,SSAS,SSCOAG,SSFIL,FD,
1      B,PCOAG,PFIL
C
  COMMON/REJET /NREJET,NDECIS,NINDUS,NCOMPV,
1      NDECUM,NQTRAI,NQTCUM,
1      POSREJ,QINDUS,DBOIND,PHOIND
C
  COMMON/ESPACE/NTRON,NX,NG,LTRON,DX,XX
C
C -----
C      LES DONNEES "ESPACE" (AFFECTATION)
C -----
  LTRON=LTROZ(ITRON)
  IF(ITRON.GT.1) GOTO 100
  NTRON=NTROZ
  DX=DXZ
  NX=NXZ
  NG=NGZ
CC** POUR OPTIMISATION METTRE LES 3 PROCHAINES LIGNES EN COMMENTAIRE.
CC** DO 10 I=1,NX
CC** XX(I)=XZ(I)
CC*10 CONTINUE
C -----
C      LES DONNEES "RIVIER" (AFFECTATION)
C -----
100 TYPOL=TYPOZ

```

```

NSEC=NSEZ(ITRON)
DO 110 JSEC=1,NSEC
POSEC(JSEC)=POSEZ(ITRON,JSEC)
TYPSEC(JSEC)=TYPSEZ(ITRON,JSEC)
IF(TYPSEC(JSEC).EQ.1) GOTO 111
IF(TYPSEC(JSEC).EQ.2) GOTO 112
IF(TYPSEC(JSEC).EQ.3) GOTO 113
IF(TYPSEC(JSEC).EQ.4) GOTO 114
C EN CAS D'ERREUR....
WRITE(6,*) 'ERREUR DANS "INIT",TYPSEZ(°,ITRON,°,°,JSEC,°)=°,
1 TYPSEZ(ITRON,JSEC)
STOP
C
C DONNEES POUR SECTION DE TYPE 1 (SECTION INITIALE DE TRONCON)
C
111 ODINI=ODINZ(ITRON)
ODSAT=ODSAZ(ITRON)
QRIV(JSEC)=QRIZ(ITRON,JSEC)
VELO(JSEC)=VELZ(ITRON,JSEC)
DECAYK(JSEC)=DECAYZ(ITRON,JSEC)
REAK(JSEC)=REAZ(ITRON,JSEC)
TRANSK(JSEC)=TRANSZ(ITRON,JSEC)
GOTO 110
C
C DONNEES POUR SECTION DE TYPE 2 (CONFLUENT SANS VILLE)
C
112 QTRIBU(JSEC)=QTRIBZ(ITRON,JSEC)
VELO(JSEC)=VELZ(ITRON,JSEC)
ODITRI(JSEC)=ODITRZ(ITRON,JSEC)
DBOTRB(JSEC)=DBOTRZ(ITRON,JSEC)
PHOTRB(JSEC)=PHOTRZ(ITRON,JSEC)
REAK(JSEC)=REAZ(ITRON,JSEC)
TRANSK(JSEC)=TRANSZ(ITRON,JSEC)
DECAYK(JSEC)=DECAYZ(ITRON,JSEC)
GOTO 110
C
C DONNEES POUR SECTION DE TYPE 3 (CONFLUENT AVEC VILLE)
C** N°EXISTE PLUS(=NOUVEAU TRONCON)
113 GOTO 110
C
C DONNEES POUR SECTION DE TYPE 4 (CHANGEMENT HYDRAULIQUE)
C
114 QRIV(JSEC)=QRIZ(ITRON,JSEC)
VELO(JSEC)=VELZ(ITRON,JSEC)
DECAYK(JSEC)=DECAYZ(ITRON,JSEC)
REAK(JSEC)=REAZ(ITRON,JSEC)
TRANSK(JSEC)=TRANSZ(ITRON,JSEC)
GOTO 110
C
110 CONTINUE

```

```

C -----
C           LES DONNEES DE "DESIGN" (AFFECTATION)
C -----
C
      NSYS=NSYZ
      TYPDES=TYPDEZ
      IF(TYPDES.EQ.1) GOTO 211
      IF(TYPDES.EQ.2) GOTO 212
C  EN CAS D'ERREUR...
      WRITE(6,*) 'ERREUR DANS "INIT", TYPDES=',TYPDEZ
      STOP
C
C  DONNEES DE "DESIGN" DE TYPE 1 (EFFICACITES SPECIFIEES)
C
211 DO 250 JPOLU=1,2
      DO 260 KSYS=1,NSYZ
      EFFIC(JPOLU,KSYS)=EFFIZ(JPOLU,KSYS)
260 CONTINUE
250 CONTINUE
      GOTO 210
C
C  DONNEES DE "DESIGN" DE TYPE 2 (EFFICACITES CALCULEES)
C
212 IF(ITRON.GT.1) GOTO 210
      SE=SEZ
      SSAS=SSAZ
      SSCOAG=SSCOAZ
      SSFIL=SSFIZ
      FD=FDZ
      B=BZ
      PCOAG=PCOAZ
      PFIL=PFIZ
      GOTO 210
C
210 CONTINUE
C -----
C           LES DONNEES "POINT DE REJET" (AFFECTATION)
C -----
C
      NREJET=NREJEZ(ITRON)
      DO 310 JREJET=1,NREJET
      NDECIS(JREJET)=NDECIZ(ITRON,JREJET)
      NQTRAI(JREJET)=NQTRAZ(ITRON,JREJET)
      NINDUS(JREJET)=NINDUZ(ITRON,JREJET)
      NCOMPV(JREJET)=NCOMPZ(ITRON,JREJET)
      POSREJ(JREJET)=POSREZ(ITRON,JREJET)
      DO 315 KINDUS=1,NINDUZ(ITRON,JREJET)
      QINDUS(JREJET,KINDUS)=QINDUZ(ITRON,JREJET,KINDUS)
      DBOIND(JREJET,KINDUS)=DBOINZ(ITRON,JREJET,KINDUS)
      PHOIND(JREJET,KINDUS)=PHOINZ(ITRON,JREJET,KINDUS)
315 CONTINUE

```

```

310 CONTINUE
C
C  CALCUL DE "NDECUM" (MATRICE QUI DONNE LE NB CUMULE DE VARIABLES
C  DE DECISION POUR UN TRONCON ET UN POINT DE REJET DONNES.)
C
      IF(ITRON.NE.1) GOTO 399
C
      DO 320 I=1,NTRON
      DO 330 J=1,NREJEZ(I)
C  ON SOMME TOUTES LE COLONNES DES I-1 LIGNES PRECEDENTES
      SOM=0.
      NTROM1=I-1
      NREJM1=J-1
      DO 340 K=1,NTROM1
      DO 340 L=1,NREJEZ(K)
      SOM=SOM+NDECIZ(K,L)
340 CONTINUE
C  ON AJOUTE LES J-1 COLONNES DE LA I IEME LIGNE
      DO 350 L=1,NREJM1
      SOM=SOM+NDECIZ(I,L)
350 CONTINUE
      NDECUM(I,J)=SOM
330 CONTINUE
320 CONTINUE
C
C  CALCUL DE "NQTCUM" (MATRICE DU NB CUMULE DE "QTRAIT" PAR TRONCON,
C  A UN POINT DE REJET DONNE)
C
      DO 355 I=1,NTRON
      DO 360 J=1,NREJEZ(I)
C  ON SOMME LES J-1 PREMIERES COLONNES DE LA I IEME LIGNE.
      SOM=0.
      NREJM1=J-1
      DO 370 K=1,NREJM1
      SOM=SOM+NQTRAZ(I,K)
370 CONTINUE
      NQTCUM(I,J)=SOM
360 CONTINUE
355 CONTINUE
399 CONTINUE
C-----
      RETURN
      END

```

```

SUBROUTINE ENTREE
*****
C
C
C -----
C          DONNEES "RIVIER" (TOUS LES TRONCONS)
C -----
      INTEGER TYPOZ,NSEZ(5),TYPSEZ(5,6)
      REAL POSEZ(5,6),QRIZ(5,6),QTRIBZ(5,6),ODITRZ(5,6)
      REAL DBOTRZ(5,6),PHOTRZ(5,6),REAZ(5,6),TRANSZ(5,6)
      REAL VELZ(5,6),DECAYZ(5,6)
      REAL ODINZ(5),ODSAZ(5)
C -----
C          DONNEES "DESIGN" (POUR TOUS LES TRONCONS)
C -----
      INTEGER NSYZ,TYPDEZ
      REAL EFFIZ(2,4),SEZ,SSAZ,SSCOAZ,SSFIZ
      REAL FDZ,BZ,PCOAZ,PFIZ
C -----
C          DONNEES "POINT DE REJET" (POUR TOUS LES TRONCONS)
C -----
      INTEGER NREJEZ(5),NDECIZ(5,3),NINDUZ(5,3),NCOMPZ(5,3)
      INTEGER NQTRAZ(5,3)
      REAL POSREZ(5,3),QINDUZ(5,3,3),DBOINZ(5,3,3),PHOINZ(5,3,3)
C -----
C          DONNEES "ESPACE" (POUR TOUS LES TRONCONS)
C -----
      INTEGER NTROZ,NXZ,NGZ
      REAL LTROZ(5),DXZ,XZ(50)
C -----
C          AUTRES VARIABLES
C -----
      CHARACTER*80 TEXTE(4),BIDON
C
C ----- ***** -----
C ----- * * -----
C ----- * LES "COMMON" * -----
C ----- * * -----
C ----- ***** -----
      COMMON/RIVIEZ/TYPOZ,NSEZ,TYPSEZ,POSEZ,QRIZ,QTRIBZ,ODITRZ,DBOTRZ,
1          PHOTRZ,REAZ,TRANSZ,VELZ,DECAYZ,ODINZ,ODSAZ
C
      COMMON/DESIGZ/NSYZ,TYPDEZ,EFFIZ,SEZ,SSAZ,SSCOAZ,SSFIZ,FDZ,
1          BZ,PCOAZ,PFIZ
C
      COMMON/REJEZ /NREJEZ,NDECIZ,NINDUZ,NCOMPZ,
1          NQTRAZ,
1          POSREZ,QINDUZ,DBOINZ,PHOINZ
C
      COMMON/ESPACZ/NTROZ,NXZ,NGZ,LTROZ,DXZ,XZ

```

```

C
1010 FORMAT(A80)
C -----
C ----- LES DONNEES "ESPACE" (LECTURE)-
C
      READ(10,1010) TEXTE(1)
      READ(10,*) DXZ
      READ(10,*) NXZ
CC** POUR OPTIMISATION METTRE EN COMMENTAIRE LA PROCHAINE LIGNE.
CC** READ(10,*) (XZ(I),I=1,NXZ)
      READ(10,*) NGZ
      READ(10,*) NTROZ
      READ(10,*) (LTROZ(I),I=1,NTROZ)
C
C ----- LES DONNEES "RIVIER" (LECTURE)-
C
      READ(10,1010) TEXTE(2)
      READ(10,*) TYPOZ
      DO 120 I=1,NTROZ
      READ(10,1010) BIDON
      READ(10,*) NSEZ(I)
      DO 110 J=1,NSEZ(I)
      READ(10,1010) BIDON
      READ(10,*) POSEZ(I,J)
      READ(10,*) TYPSEZ(I,J)
      IF(TYPSEZ(I,J).EQ.1) GOTO 111
      IF(TYPSEZ(I,J).EQ.2) GOTO 112
      IF(TYPSEZ(I,J).EQ.3) GOTO 113
      IF(TYPSEZ(I,J).EQ.4) GOTO 114
C EN CAS D'ERREUR....
      WRITE(6,*) 'ERREUR DANS "ENTREE",TYPSEC(°,I,°,°,J,°)=°,TYPSEZ(I,J)
      STOP
C
C DONNEES POUR SECTION DE TYPE 1 (TRONCON INITIAL)
C
111 READ(10,*) ODINZ(I)
      READ(10,*) ODSAZ(I)
      READ(10,*) QRIZ(I,J)
      READ(10,*) VELZ(I,J)
      READ(10,*) DECAYZ(I,J)
      READ(10,*) REAZ(I,J)
      READ(10,*) TRANSZ(I,J)
      GOTO 110
C
C DONNEES POUR SECTION DE TYPE 2 (CONFLUENT SANS VILLE)
C
112 READ(10,*) QTRIBZ(I,J)
      READ(10,*) VELZ(I,J)
      READ(10,*) ODITRZ(I,J)
      READ(10,*) DBOTRZ(I,J)

```

```

        READ(10,*) PHOTRZ(I,J)
        READ(10,*) REAZ(I,J)
        READ(10,*) TRANSZ(I,J)
        READ(10,*) DECAYZ(I,J)
        GOTO 110
C
C   DONNEES POUR SECTION DE TYPE 3 (CONFLUENT AVEC VILLE)
C** N°EXISTE PLUS(=NOUVEAU TRONCON)
    113 GOTO 110
C
C   DONNEES POUR SECTION DE TYPE 4 (CHANGEMENT HYDRAULIQUE)
C
    114 READ(10,*) QRIZ(I,J)
        READ(10,*) VELZ(I,J)
        READ(10,*) DECAYZ(I,J)
        READ(10,*) REAZ(I,J)
        READ(10,*) TRANSZ(I,J)
        GOTO 110
C
    110 CONTINUE
    120 CONTINUE
;
; ----- LES DONNEES DE "DESIGN" (LECTURE) -----
;
        READ(10,1010) TEXTE(3)
        READ(10,*) TYPDEZ
        READ(10,*) NSYZ
        IF(TYPDEZ.EQ.1) GOTO 211
        IF(TYPDEZ.EQ.2) GOTO 212
C   LN CASIE(ERREURERREUR DANS "ENTREE", TYPDES=°,TYPDEZ
        STOP
C
C   DONNEES DE "DESIGN" DE TYPE 1 (EFFICACITES SPECIFIEES)
C
    211 READ(10,*) ((EFFIZ(J,K),K=1,NSYZ),J=1,2)
        GOTO 210
C
C   DONNEES DE "DESIGN" DE TYPE 2 (EFFICACITES CALCULEES)
C
    212 READ(10,*) SEZ
        READ(10,*) SSAZ
        READ(10,*) SSCCAZ
        READ(10,*) SSFIZ
        READ(10,*) FDZ
        READ(10,*) BZ
        READ(10,*) PCOAZ
        READ(10,*) PFIZ
        GOTO 210
C

```

210 CONTINUE

C
C ----- LES DONNEES "POINT DE REJET" (LECTURE)-
C

```
READ(10,1010) TEXTE(4)
DO 320 I=1,NTROZ
READ(10,1010) BIDON
READ(10,*) NREJEZ(I)
DO 310 J=1,NREJEZ(I)
READ(10,1010) BIDON
READ(10,*) NDECIZ(I,J)
READ(10,*) NQTRAZ(I,J)
READ(10,*) NINDUZ(I,J)
READ(10,*) NCOMPZ(I,J)
READ(10,*) POSREZ(I,J)
READ(10,*) (QINDUZ(I,J,K),K=1,NINDUZ(I,J))
READ(10,*) (DBOINZ(I,J,K),K=1,NINDUZ(I,J))
READ(10,*) (PHOINZ(I,J,K),K=1,NINDUZ(I,J))
```

310 CONTINUE

320 CONTINUE

C
C-----
C
C *** ECRITURE DES DONNEES D'ENTREE
C
C-----
C

```
WRITE(6,6001)
6001 FORMAT(1H1,31(°*°)/° *°,29X,°*°/
1 ° *°,4X,°LES DONNEES D°ENTREES°,4X,°*°/
1 ° *°,29X,°*°/1X,31(°*°)//)
```

C-----
C ** ECRITURE DES DONNEES "ESPACE"
C-----

```
WRITE(6,1010) TEXTE(1)
WRITE(6,*) °DX=°,DXZ
WRITE(6,*) °NX=°,NXZ
CC** POUR OPTIMISATION METTRE EN COMMENTAIRE LES 4 PROCHAINES LIGNES.
CC** DO 350 I=1,NX
CC** WRITE(6,6003) I,XZ(I)
C6003 FORMAT(° XX(°,I2,°) = °,F10.4)
CC350 CONTINUE
WRITE(6,*) °NG=°,NGZ
WRITE(6,*) °NTRON=°,NTROZ
DO 360 I=1,NTROZ
WRITE(6,*) °LTRON(°,I,°)=°,LTROZ(I)
360 CONTINUE
```

C-----
C ** ECRITURE DES DONNEES "RIVIER"
C-----


```

WRITE(6,1010) TEXTE(2)
WRITE(6,*) °TYPOL=°,TYPOZ
DO 420 I=1,NTROZ
WRITE(6,*) °---- TRONCON°,I
WRITE(6,*) °NSEC(°,I,°)=°,NSEZ(I)
DO 410 J=1,NSEZ(I)
WRITE(6,*) °-- SECTION°,J
WRITE(6,*) °POSEC(°,I,°,°,J,°)=°,POSEZ(I,J)
WRITE(6,*) °TYPSEC(°,I,°,°,J,°)=°,TYPSEZ(I,J)
IF(TYPSEZ(I,J).EQ.1) GOTO 411
IF(TYPSEZ(I,J).EQ.2) GOTO 412
IF(TYPSEZ(I,J).EQ.3) GOTO 413
IF(TYPSEZ(I,J).EQ.4) GOTO 414
411 WRITE(6,*) °ODINI(°,I,°)=°,ODINZ(I)
WRITE(6,*) °ODSAT(°,I,°)=°,ODSAZ(I)
WRITE(6,*) °QRIV(°,I,°,°,J,°)=°,QRIZ(I,J)
WRITE(6,*) °VELO(°,I,°,°,J,°)=°,VELZ(I,J)
WRITE(6,*) °DECAYK(°,I,°,°,J,°)=°,DECAYZ(I,J)
WRITE(6,*) °REAK(°,I,°,°,J,°)=°,REAZ(I,J)
WRITE(6,*) °TRANSK(°,I,°,°,J,°)=°,TRANSZ(I,J)
GOTO 410
412 WRITE(6,*) °QTRIPU(°,I,°,°,J,°)=°,QTRIBZ(I,J)
WRITE(6,*) °VELO(°,I,°,°,J,°)=°,VELZ(I,J)
WRITE(6,*) °ODITRI(°,I,°,°,J,°)=°,ODITRZ(I,J)
WRITE(6,*) °DBOTRB(°,I,°,°,J,°)=°,DBOTRZ(I,J)
WRITE(6,*) °PHOTRB(°,I,°,°,J,°)=°,PHOTRZ(I,J)
WRITE(6,*) °REAK(°,I,°,°,J,°)=°,REAZ(I,J)
WRITE(6,*) °TRANSK(°,I,°,°,J,°)=°,TRANSZ(I,J)
WRITE(6,*) °DECAYK(°,I,°,°,J,°)=°,DECAYZ(I,J)
GOTO 410
C A FAIRE..
413 GOTO 410
414 WRITE(6,*) °QRIV(°,I,°,°,J,°)=°,QRIZ(I,J)
WRITE(6,*) °VELO(°,I,°,°,J,°)=°,VELZ(I,J)
WRITE(6,*) °DECAYK(°,I,°,°,J,°)=°,DECAYZ(I,J)
WRITE(6,*) °REAK(°,I,°,°,J,°)=°,REAZ(I,J)
WRITE(6,*) °TRANSK(°,I,°,°,J,°)=°,TRANSZ(I,J)
GOTO 410
C
410 CONTINUE
420 CONTINUE
C-----
C ** ECRITURE "DESIGN"
C-----
WRITE(6,1010) TEXTE(3)
WRITE(6,*) °TYPDES=°,TYPDEZ
WRITE(6,*) °NSYS=°,NSYZ
IF(TYPDEZ.EQ.1) GOTO 511
IF(TYPDEZ.EQ.2) GOTO 512
C SI TYPDES=1

```

```

511 WRITE(6,*) ° EFFIC(J,K)=°
      DO 651 J=1,2
      WRITE(6,6511) (EFFIZ(J,K),K=1,NSYZ)
6511 FORMAT(20F6.2)
651 CONTINUE
      GOTO 510
C SI TYPDES=2
512 WRITE(6,*) ° SE=°, SEZ
      WRITE(6,*) ° SSAS=°, SSAZ
      WRITE(6,*) ° SSCOAG=°, SSCOAZ
      WRITE(6,*) ° SSFIL=°, SSFIZ
      WRITE(6,*) ° FD=°, FDZ
      WRITE(6,*) ° B=°, BZ
      WRITE(6,*) ° PCOAG=°, PCOAZ
      WRITE(6,*) ° PFIL=°, PFIZ
      GOTO 510
C
510 CONTINUE
C-----
C ** ECRITURE "POINT DE REJET"
C-----
      WRITE(6,1010) TEXTE(4)
      DO 620 I=1,NTROZ
      WRITE(6,*) °---- TRONCON°,I
      WRITE(6,*) °NREJET(I)=°,NREJEZ(I)
      DO 610 J=1,NREJEZ(I)
      WRITE(6,*) °-- POINT DE REJET°,J
      WRITE(6,*) °NDECIS(°,I,°,°,J,°)=°,NDECIZ(I,J)
      WRITE(6,*) °NQTRAI(°,I,°,°,J,°)=°,NQTRAZ(I,J)
      WRITE(6,*) °NINDUS(°,I,°,°,J,°)=°,NINDUZ(I,J)
      WRITE(6,*) °NCOMPV(°,I,°,°,J,°)=°,NCOMPZ(I,J)
      WRITE(6,*) °POS!EJ(°,I,°,°,J,°)=°,POSREZ(I,J)
      WRITE(6,*) °QINDUS(°,I,°,J,K)=°,
1      (QINDUZ(I,J,K),K=1,NINDUZ(I,J))
      WRITE(6,*) °DBOIND(°,I,°,J,K)=°,
1      (DBOINZ(I,J,K),K=1,NINDUZ(I,J))
      WRITE(6,*) °PHOIND(°,I,°,J,K)=°,
1      (PHOINZ(I,J,K),K=1,NINDUZ(I,J))
610 CONTINUE
620 CONTINUE
      RETURN
      END

```


C --- COMPOSANTE 1

```

C
1100 CHARES(1,1)=( XX(1)*QINDUS(1,3)*DBOIND(1,3)*(1.-EFFIC(1,4))
1      +XX(2)*QINDUS(1,2)*DBOIND(1,2)*(1.-EFFIC(1,4)) )/1000.
CHARES(2,1)=( XX(1)*QINDUS(1,3)*PHOIND(1,3)*(1.-EFFIC(2,4))
1      +XX(2)*QINDUS(1,2)*PHOIND(1,2)*(1.-EFFIC(2,4)) )/1000.
QTRAIT(1)=XX(1)*QINDUS(1,3)
QTRAIT(2)=XX(2)*QINDUS(1,2)
QCOUT=QTRAIT(1)+QTRAIT(2)
TYPSSYS=1

```

```

CCCCCCCCCCCCCCCC
C
C
CCCCCCCCCCCCCCCC CALL COUNTS C
C
C
CCCCCCCCCCCCCCCC

```

```

CALL COUNTS(TYPSSYS, QCOUT, COUT)
GG(1)=GG(1)+COUT

```

C --- COMPOSANTE 2

```

C
CHARES(1,2)=( XX(3)*QINDUS(1,3)*DBOIND(1,3)*(1.-EFFIC(1,3))
1      +XX(4)*QINDUS(1,2)*DBOIND(1,2)*(1.-EFFIC(1,3)) )/1000.
CHARES(2,2)=( XX(3)*QINDUS(1,3)*PHOIND(1,3)*(1.-EFFIC(2,3))
1      +XX(4)*QINDUS(1,2)*PHOIND(1,2)*(1.-EFFIC(2,3)) )/1000.
QTRAIT(3)=XX(3)*QINDUS(1,3)
QTRAIT(4)=XX(4)*QINDUS(1,2)
QCOUT=QTRAIT(3)+QTRAIT(4)
TYPSSYS=2

```

```

CCCCCCCCCCCCCCCC
C
C
CCCCCCCCCCCCCCCC CALL COUNTS C
C
C
CCCCCCCCCCCCCCCC

```

```

CALL COUNTS(TYPSSYS, QCOUT, COUT)
GG(1)=GG(1)+COUT

```

C --- COMPOSANTE 3

```

C
CHARES(1,3)=( XX(5)*QINDUS(1,3)*DBOIND(1,3)*(1.-EFFIC(1,2))
1      +XX(6)*QINDUS(1,2)*DBOIND(1,2)*(1.-EFFIC(1,2)) )/1000.
CHARES(2,3)=( XX(5)*QINDUS(1,3)*PHOIND(1,3)*(1.-EFFIC(2,2))
1      +XX(6)*QINDUS(1,2)*PHOIND(1,2)*(1.-EFFIC(2,2)) )/1000.
QTRAIT(5)=XX(5)*QINDUS(1,3)
QTRAIT(6)=XX(6)*QINDUS(1,2)
QCOUT=QTRAIT(5)+QTRAIT(6)
TYPSSYS=3

```

```

CCCCCCCCCCCCCCCC
C
C
CCCCCCCCCCCCCCCC CALL COUNTS C
C
C

```


C
CC
C CALL COUTS C
C
C
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCC

CALL COUTS(TYPSYS, QCOUT, COUT)
GG(1)=GG(1)+COUT

C
C --- COMPOSANTE 2
C

CHARES(1,2)=(XX(3)*QINDUS(1,1)*DBOIND(1,1)*(1.-EFFIC(1,6))
1 +XX(4)*QINDUS(1,2)*DBOIND(1,2)*(1.-EFFIC(1,6)))/1000.
CHARES(2,2)=(XX(3)*QINDUS(1,1)*PHOIND(1,1)*(1.-EFFIC(2,6))
1 +XX(4)*QINDUS(1,2)*PHOIND(1,2)*(1.-EFFIC(2,6)))/1000.
QTRAIT(3)=XX(3)*QINDUS(1,1)
QTRAIT(4)=XX(4)*QINDUS(1,2)
QCOUT=QTRAIT(3)+QTRAIT(4)
TYPSYS=6

C
C
CC
C CALL COUTS C
C
C
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCC

CALL COUTS(TYPSYS, QCOUT, COUT)
GG(1)=GG(1)+COUT

C
C --- COMPOSANTE 3
C

CHARES(1,3)=(XX(5)*QINDUS(1,1)*DBOIND(1,1)*(1.-EFFIC(1,7))
1 +XX(6)*QINDUS(1,2)*DBOIND(1,2)*(1.-EFFIC(1,7)))/1000.
CHARES(2,3)=(XX(5)*QINDUS(1,1)*PHOIND(1,1)*(1.-EFFIC(2,7))
1 +XX(6)*QINDUS(1,2)*PHOIND(1,2)*(1.-EFFIC(2,7)))/1000.
QTRAIT(5)=XX(5)*QINDUS(1,1)
QTRAIT(6)=XX(6)*QINDUS(1,2)
QCOUT=QTRAIT(5)+QTRAIT(6)
TYPSYS=7

C
C
CC
C CALL COUTS C
C
C
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCC

CALL COUTS(TYPSYS, QCOUT, COUT)
GG(1)=GG(1)+COUT

C
C --- COMPOSANTE 4
C

CHARES(1,4)=(XX(7)*QINDUS(1,1)*DBOIND(1,1)*(1.-EFFIC(1,5))
1 +XX(8)*QINDUS(1,2)*DBOIND(1,2)*(1.-EFFIC(1,5)))/1000.
CHARES(2,4)=(XX(7)*QINDUS(1,1)*PHOIND(1,1)*(1.-EFFIC(2,5))
1 +XX(8)*QINDUS(1,2)*PHOIND(1,2)*(1.-EFFIC(2,5)))/1000.
QTRAIT(7)=XX(7)*QINDUS(1,1)

QCOUT=QTRAIT(2)+QTRAIT(3)
TYP SYS=6

C
C
CC
C
C
CC
C
C
CC

CALL COUTS(TYP SYS, QCOUT, COUT)
GG(1)=GG(1)+COUT

C
C --- COMPOSANTE 3

1 CHARES(1,3)=(XX(4)*QINDUS(1,2)*DBOIND(1,2)*(1.-EFFIC(1,7))
 +XX(5)*QINDUS(1,1)*DBOIND(1,1)*(1.-EFFIC(1,7)))/1000.
1 CHARES(2,3)=(XX(4)*QINDUS(1,2)*PHOIND(1,2)*(1.-EFFIC(2,7))
 +XX(5)*QINDUS(1,1)*PHOIND(1,1)*(1.-EFFIC(2,7)))/1000.
QTRAIT(4)=XX(4)*QINDUS(1,2)
QTRAIT(5)=XX(5)*QINDUS(1,1)
QCOUT=QTRAIT(4)+QTRAIT(5)
TYP SYS=7

C
C
CC
C
C
CC
C
C
CC

CALL COUTS(TYP SYS, QCOUT, COUT)
GG(1)=GG(1)+COUT

C
C --- COMPOSANTE 4

1 CHARES(1,4)=(XX(6)*QINDUS(1,2)*DBOIND(1,2)*(1.-EFFIC(1,5))
 +XX(7)*QINDUS(1,1)*DBOIND(1,1)*(1.-EFFIC(1,5)))/1000.
1 CHARES(2,4)=(XX(6)*QINDUS(1,2)*PHOIND(1,2)*(1.-EFFIC(2,5))
 +XX(7)*QINDUS(1,1)*PHOIND(1,1)*(1.-EFFIC(2,5)))/1000.
QTRAIT(6)=XX(6)*QINDUS(1,2)
QTRAIT(7)=XX(7)*QINDUS(1,1)
QCOUT=QTRAIT(6)+QTRAIT(7)
TYP SYS=5

C
C
CC
C
C
CC
C
C
CC

CALL COUTS(TYP SYS, QCOUT, COUT)
GG(1)=GG(1)+COUT
GOTO 9000

CC
C
C
C SYSTEME D'OPTIONS AU POINT DE REJET 2 (T3.R2) C
C (1 VILLE + 1 INDUSTRIE) C
C

CC

C
C --- COMPOSANTE 1
C

```
3200 CHARES(1,1)=
1 (XX(1)*(QINDUS(2,2)*DBOIND(2,2)+QINDUS(2,1)*DBOIND(2,1))
1 *(1.-EFFIC(1,3)))/1000.
CHARS(2,1)=
1 (XX(1)*(QINDUS(2,2)*PHOIND(2,2)+QINDUS(2,1)*PHOIND(2,1))
1 *(1.-EFFIC(2,3)))/1000.
QTRAIT(1)=XX(1)*QINDUS(2,2)
QTRAIT(2)=XX(1)*QINDUS(2,1)
QCOUT=QTRAIT(1)+QTRAIT(2)
TYP SYS=2
```

C
C
CC
C
C
C
C
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCC

```
CALL COUTS(TYP SYS, QCOUT, COUT)
GG(1)=GG(1)+COUT
```

C
C --- COMPOSANTE 2
C

```
CHARS(1,2)=
1 (XX(2)*(QINDUS(2,2)*DBOIND(2,2)+QINDUS(2,1)*DBOIND(2,1))
1 *(1.-EFFIC(1,5)))/1000.
CHARS(2,2)=
1 (XX(2)*(QINDUS(2,2)*PHOIND(2,2)+QINDUS(2,1)*PHOIND(2,1))
1 *(1.-EFFIC(2,5)))/1000.
QTRAIT(3)=XX(2)*QINDUS(2,2)
QTRAIT(4)=XX(2)*QINDUS(2,1)
QCOUT=QTRAIT(3)+QTRAIT(4)
TYP SYS=5
```

C
C
CC
C
C
C
C
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCC

```
CALL COUTS(TYP SYS, QCOUT, COUT)
GG(1)=GG(1)+COUT
GOTO 9000
```

CC
C
C
C
C
CC

SYSTEME D'OPTIONS AU POINT DE REJET 3 (T3.R3)
(1 VILLE + 1 INDUSTRIE)

C
C --- COMPOSANTE 1
C

```
3300 CHARES(1,1)=( XX(1)*QINDUS(3,1)*DEQIND(3,1)*(1.-EFFIC(1,4))
1      +XX(2)*QINDUS(3,2)*DBCIND(3,2)*(1.-EFFIC(1,4)) )/1000.
CHARS(2,1)=( XX(1)*QINDUS(3,1)*PHOIND(3,1)*(1.-EFFIC(2,4))
1      +XX(2)*QINDUS(3,2)*PHOIND(3,2)*(1.-EFFIC(2,4)) )/1000.
QTRAIT(1)=XX(1)*QINDUS(3,1)
QTRAIT(2)=XX(2)*QINDUS(3,2)
QCOUT=QTRAIT(1)+QTRAIT(2)
TYPSSYS=1
```

```
C
C
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC CALL COUITS C
C
C
C
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
```

```
CALL COUITS(TYPSSYS, QCOUT, COUT)
GG(1)=GG(1)+COUT
```

```
C
C --- COMPOSANTE 2
C
```

```
CHARS(1,2)=( XX(3)*QINDUS(3,1)*DBOIND(3,1)*(1.-EFFIC(1,6))
1      +XX(4)*QINDUS(3,2)*DBOIND(3,2)*(1.-EFFIC(1,6)) )/1000.
CHARS(2,2)=( XX(3)*QINDUS(3,1)*PHOIND(3,1)*(1.-EFFIC(2,6))
1      +XX(4)*QINDUS(3,2)*PHOIND(3,2)*(1.-EFFIC(2,6)) )/1000.
QTRAIT(3)=XX(3)*QINDUS(3,1)
QTRAIT(4)=XX(4)*QINDUS(3,2)
QCOUT=QTRAIT(3)+QTRAIT(4)
TYPSSYS=6
```

```
C
C
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC CALL COUITS C
C
C
C
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
```

```
CALL COUITS(TYPSSYS, QCOUT, COUT)
GG(1)=GG(1)+COUT
```

```
C
C --- COMPOSANTE 3
C
```

```
CHARS(1,3)=( XX(5)*QINDUS(3,1)*DBOIND(3,1)*(1.-EFFIC(1,7))
1      +XX(6)*QINDUS(3,2)*DBOIND(3,2)*(1.-EFFIC(1,7)) )/1000.
CHARS(2,3)=( XX(5)*QINDUS(3,1)*PHOIND(3,1)*(1.-EFFIC(2,7))
1      +XX(6)*QINDUS(3,2)*PHOIND(3,2)*(1.-EFFIC(2,7)) )/1000.
QTRAIT(5)=XX(5)*QINDUS(3,1)
QTRAIT(6)=XX(6)*QINDUS(3,2)
QCOUT=QTRAIT(5)+QTRAIT(6)
TYPSSYS=7
```

```
C
C
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC CALL COUITS C
C
C
C
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
```

```
CALL COUITS(TYPSSYS, QCOUT, COUT)
```

```

GG(1)=GG(1)+COUT
C
C --- COMPOSANTE 4
C
CHARES(1,4)=( XX(7)*QINDUS(3,1)*DBOIND(3,1)*(1.-EFFIC(1,5))
1             +XX(8)*QINDUS(3,2)*DBOIND(3,2)*(1.-EFFIC(1,5)) )/1000.
CHARES(2,4)=( XX(7)*QINDUS(3,1)*PHOIND(3,1)*(1.-EFFIC(2,5))
1             +XX(8)*QINDUS(3,2)*PHOIND(3,2)*(1.-EFFIC(2,5)) )/1000.
QTRAIT(7)=XX(7)*QINDUS(3,1)
QTRAIT(8)=XX(8)*QINDUS(3,2)
QCCOUT=QTRAIT(7)+QTRAIT(8)
TYPSSYS=5

C
C
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC CALL COUTS C
C
C
C
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
CALL COUTS(TYPSSYS,QCOUT,COUT)
GG(1)=GG(1)+COUT
GOTO 9000
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
C
C
C
C
C
TRONCON 4
C
C
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
C ON PREND LE SYSTEME D'OPTIONS CORRESPONDANT AU POINT DE REJET
4000 IF(IREJET.EQ.1) GOTO 4100
C EN CAS D'ERREUR...
WRITE(6,*) 'ERREUR DANS LA ROUTINE "OPTION" , *** IREJET=',IREJET
STOP
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
C
C
C
SYSTEME D'OPTIONS AU POINT DE REJET 1 (T4.R1) C
C (i VILLE + i INDUSTRIE) C
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
C
C --- COMPOSANTE 1
C
4100 CHARES(1,1)=
1 (XX(1)*(QINDUS(1,2)*DBOIND(1,2)+QINDUS(1,1)*DBOIND(1,1))
1 *(1.-EFFIC(1,3)))/1000.
CHARES(2,1)=
1 (XX(1)*(QINDUS(1,2)*PHOIND(1,2)+QINDUS(1,1)*PHOIND(1,1))
1 *(1.-EFFIC(2,3)))/1000.
QTRAIT(1)=XX(1)*QINDUS(1,2)
QTRAIT(2)=XX(1)*QINDUS(1,1)
QCCOUT=QTRAIT(1)+QTRAIT(2)
TYPSSYS=6

C
C
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
C
C

```

```
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC CALL COUTS  C
C                                                                                                     C
C                                                                                                     C
C                                                                                                     C
```

```
CALL COUTS(TYP SYS, QCOU T, COU T)
GG(1)=GG(1)+COU T
```

```
C
C --- COMPOSANTE 2
C
```

```
CHAR ES(1,2)=
1 (XX(2)*(QIND US(1,2)*DBOIND(1,2)+QIND US(1,1)*DROIND(1,1))
1 *(1.-EFFIC(1,5)))/1000.
```

```
CHAR ES(2,2)=
1 (XX(2)*(QIND US(1,2)*PHOIND(1,2)+QIND US(1,1)*PHOIND(1,1))
1 *(1.-EFFIC(2,5)))/1000.
```

```
QTRAIT(3)=XX(2)*QIND US(1,2)
QTRAIT(4)=XX(2)*QIND US(1,1)
QCOU T=QTRAIT(3)+QTRAIT(4)
TYP SYS=5
```

```
C
C                                                                                                     C
C                                                                                                     C
C                                                                                                     C
C                                                                                                     C
C                                                                                                     C
C                                                                                                     C
C                                                                                                     C
C                                                                                                     C
C                                                                                                     C
```

```
CALL COUTS(TYP SYS, QCOU T, COU T)
GG(1)=GG(1)+COU T
GOTO 9000
```

```
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
C
C
C
C
C
```

TRONCON 5

C ON PREND LE SYSTEME D'OPTIONS CORRESPONDANT AU POINT DE REJET

```
5000 IF(IREJET,EQ.1) GOTO 5100
```

C EN CAS D'ERREUR...

```
WRITE(6,*) 'ERREUR DANS LA ROUTINE "OPTION" , *** IREJET=° ,IREJET
STOP
```

```
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
C
C
C
C
C
C
C
C
C
```

SYSTEME D'OPTIONS AU POINT DE REJET 1 (T5.R1)
(1 VILLE + 2 INDUSTRIES)

```
C --- COMPOSANTE 1
C
```

```
5100 CHAR ES(1,1)=( XX(1)*QIND US(1,3)*DBOIND(1,3)*(1.-EFFIC(1,4))
1 +XX(2)*QIND US(1,2)*DBOIND(1,2)*(1.-EFFIC(1,4)) )/1000.
```

```
CHAR ES(2,1)=( XX(1)*QIND US(1,3)*PHOIND(1,3)*(1.-EFFIC(2,4))
1 +XX(2)*QIND US(1,2)*PHOIND(1,2)*(1.-EFFIC(2,4)) )/1000.
```

```
QTRAIT(1)=XX(1)*QIND US(1,3)
QTRAIT(2)=XX(2)*QIND US(1,2)
```

```

QCOUT=QTRAIT(1)+QTRAIT(2)
TYP SYS=1
C
C                                CCCCCCCCCCCCCCCCCC
C                                C                                C
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC CALL COUNTS C
C                                C                                C
C                                CCCCCCCCCCCCCCCCCC
      CALL COUNTS(TYP SYS,QCOUT,COUT)
      GG(1)=GG(1)+COUT

```

```

C
C --- COMPOSANTE 2
C
      CHARES(1,2)=( XX(3)*QINDUS(1,3)*DBOIND(1,3)*(1.-EFFIC(1,3))
1              +XX(4)*QINDUS(1,2)*DBOIND(1,2)*(1.-EFFIC(1,3)) )/1000.
      CHARES(2,2)=( XX(3)*QINDUS(1,3)*PHOIND(1,3)*(1.-EFFIC(2,3))
1              +XX(4)*QINDUS(1,2)*PHOIND(1,2)*(1.-EFFIC(2,3)) )/1000.
      QTRAIT(3)=XX(3)*QINDUS(1,3)
      QTRAIT(4)=XX(4)*QINDUS(1,2)
      QCOUT=QTRAIT(3)+QTRAIT(4)
      TYP SYS=2

```

```

C
C                                CCCCCCCCCCCCCCCCCC
C                                C                                C
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC CALL COUNTS C
C                                C                                C
C                                CCCCCCCCCCCCCCCCCC
      CALL COUNTS(TYP SYS,QCOUT,COUT)
      GG(1)=GG(1)+COUT

```

```

C
C --- COMPOSANTE 3
C
      CHARES(1,3)=( XX(5)*QINDUS(1,3)*DBOIND(1,3)*(1.-EFFIC(1,2))
1              +XX(6)*QINDUS(1,2)*DBOIND(1,2)*(1.-EFFIC(1,2)) )/1000.
      CHARES(2,3)=( XX(5)*QINDUS(1,3)*PHOIND(1,3)*(1.-EFFIC(2,2))
1              +XX(6)*QINDUS(1,2)*PHOIND(1,2)*(1.-EFFIC(2,2)) )/1000.
      QTRAIT(5)=XX(5)*QINDUS(1,3)
      QTRAIT(6)=XX(6)*QINDUS(1,2)
      QCOUT=QTRAIT(5)+QTRAIT(6)
      TYP SYS=3

```

```

C
C                                CCCCCCCCCCCCCCCCCC
C                                C                                C
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC CALL COUNTS C
C                                C                                C
C                                CCCCCCCCCCCCCCCCCC
      CALL COUNTS(TYP SYS,QCOUT,COUT)
      GG(1)=GG(1)+COUT

```

```

C
C --- COMPOSANTE 4
C
      CHARES(1,4)=( XX(7)*QINDUS(1,3)*DBOIND(1,3)*(1.-EFFIC(1,1))
1              +XX(8)*QINDUS(1,1)*DBOIND(1,1)*(1.-EFFIC(1,1)) )/1000.

```

```

SUBROUTINE CONTR(ITRON, IREJET, ICONST, QTRAIT, GG)
C -----
C CONTRAINTES POUR LE TRAITEMENT OBLIGATOIRE COMPLET
C -----
C ENTREES : ITRON : NUMERO DU TRONCON
C ----- IREJET : NUMERO DU POINT DE REJET
C          ICONST : I EME CONTRAINTE
C          QTRAIT : DEBITS RESULTANT DE LA SOUS-ROUTINE "OPTION"
C
C SORTIES : G      : VECTEURS DES CONTRAINTES
C -----
C
C          INTEGER ITRON, IREJET, ICONST
C          REAL QTRAIT(8), GG(65)
C
C DEPENDANT DU TRONCON
C          GOTO(1000, 2000, 3000, 4000, 5000) ITRON
C EN CAS D'ERREUR...
C          WRITE(6,*) 'ERREUR DANS "CONTR", ITRON=', ITRON
C          STOP
C
C
C
C          TRONCON 1
C
C
C          1000 IF(IREJET.EQ.1) GOTO 1100
C EN CAS D'ERREUR...
C          WRITE(6,*) '*** ERREUR DANS "CONTR", IREJET=', IREJET
C          STOP
C
C          CONTRAINTE AU POINT DE REJET 1      (T1.R1)
C          (1 VILLE + 2 INDUSTRIES)
C
C
C          INDUSTRIE TEXTILE
C -----
C          1100 ICONST=ICONST+1
C              GG(ICONST)=QTRAIT(1)+QTRAIT(3)+QTRAIT(5)+QTRAIT(7)
C -----
C          INDUSTRIE LAITERIE
C -----
C              ICONST=ICONST+1
C              GG(ICONST)=QTRAIT(2)+QTRAIT(4)+QTRAIT(6)
C -----
C          INDUSTRIE URBAINE (VILLE)
C -----
C              ICONST=ICONST+1
C              GG(ICONST)=QTRAIT(8)
C              GOTO 9000
C
C

```

```
CHARES(2,4)=( XX(7)*QINDUS(1,3)*PHOIND(1,3)*(1.-EFFIC(2,1))
1           +XX(8)*QINDUS(1,1)*PHOIND(1,1)*(1.-EFFIC(2,1)) )/1000.
QTRAIT(7)=XX(7)*QINDUS(1,3)
QTRAIT(8)=XX(8)*QINDUS(1,1)
QCOUT=QTRAIT(7)+QTRAIT(8)
TYP SYS=4
```

```
C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C
C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C
C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C
C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C
C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C
C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C
```

```
CALL COUNTS(TYP SYS, QCOUT, COUT)
GG(1)=GG(1)+COUT
GOTO 9000
```

```
C
C
9000 RETURN
END
```

```

C
C          TRONCON 2
C
C
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
2000 IF(IREJET.EQ.1) GOTO 2100
C  EN CAS D'ERREUR...
      WRITE(6,*) '*** ERREUR DANS "CONTR", IREJET=',IREJET
      STOP
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
C          CONTRAINTE AU POINT DE REJET 1          (T2.R1)
C          (1 VILLE + 1 INDUSTRIE)
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
C --- LA VILLE
2100 ICONST=ICONST+1
      GG(ICONST)=QTRAIT(1)+QTRAIT(3)+QTRAIT(5)+QTRAIT(7)
C --- L°INDUSTRIE
      ICONST=ICONST+1
      GG(ICONST)=QTRAIT(2)+QTRAIT(4)+QTRAIT(6)+QTRAIT(8)
      GOTO 9000
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
C
C          TRONCON 3
C
C
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
3000 GOTO(3100,3200,3300) IREJET
C  EN CAS D'ERREUR...
      WRITE(6,*) '*** ERREUR DANS "CONTR", IREJET=',IREJET
      STOP
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
C          CONTRAINTE AU POINT DE REJET 1          (T3.R1)
C          (1 VILLE + 1 INDUSTRIE)
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
C --- L°INDUSTRIE
3100 ICONST=ICONST+1
      GG(ICONST)=QTRAIT(1)+QTRAIT(2)+QTRAIT(4)+QTRAIT(6)
C --- LA VILLE
      ICONST=ICONST+1
      GG(ICONST)=QTRAIT(3)+QTRAIT(5)+QTRAIT(7)
      GOTO 9000
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
C          CONTRAINTE AU POINT DE REJET 2          (T3.R2)
C          (1 VILLE + 1 INDUSTRIE)
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
C --- LA VILLE ET L°INDUSTRIE(GROUPEES)
3200 ICONST=ICONST+1
      GG(ICONST)=QTRAIT(1)+QTRAIT(2)+QTRAIT(3)+QTRAIT(4)
      GOTO 9000
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
C          CONTRAINTE AU POINT DE REJET 3          (T3.R3)
C          (1 VILLE + 1 INDUSTRIE)

```



```

CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
C --- LA VILLE
  3300 ICONST=ICONST+1
      GG(ICONST)=QTRAIT(1)+QTRAIT(3)+QTRAIT(5)+QTRAIT(7)
C --- L°INDUSTRIE
      ICONST=ICONST+1
      GG(ICONST)=QTRAIT(2)+QTRAIT(4)+QTRAIT(6)+QTRAIT(8)
      GOTO 9000
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
C
C                               TRONCON 4
C
C
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
  4000 IF(IREJET.EQ.1) GOTO 4100
C EN CAS D'ERREUR...
      WRITE(6,*) '*** ERREUR DANS "CONTR", IREJET=',IREJET
      STOP
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
C                               CONTRAINTE AU POINT DE REJET 1           (T4.R1)
C                               (1 VILLE + 1 INDUSTRIE)
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
C --- LA VILLE ET L'INDUSTRIE (GROUPEES)
  4100 ICONST=ICONST+1
      GG(ICONST)=QTRAIT(1)+QTRAIT(2)+QTRAIT(3)+QTRAIT(4)
      GOTO 9000
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
C
C                               TRONCON 5
C
C
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
  5000 IF(IREJET.EQ.1) GOTO 5100
C EN CAS D'ERREUR...
      WRITE(6,*) '*** ERREUR DANS "CONTR", IREJET=',IREJET
      STOP
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
C                               CONTRAINTE AU POINT DE REJET 1           (T5.R1)
C                               (1 VILLE + 2 INDUSTRIES)
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
C --- L°INDUSTRIE 3
  5100 ICONST=ICONST+1
      GG(ICONST)=QTRAIT(1)+QTRAIT(3)+QTRAIT(5)+QTRAIT(7)
C --- L°INDUSTRIE 2
      ICONST=ICONST+1
      GG(ICONST)=QTRAIT(2)+QTRAIT(4)+QTRAIT(6)
C --- LA VILLE
      ICONST=ICONST+1
      GG(ICONST)=QTRAIT(8)
      GOTO 9000
C
  9000 RETURN

```

END

SUBROUTINE DCHARG(ITRON, IREJET, QINDUS, DBOIND, PHOIND, QTRAIT, CHARES
1, CHALIB, CHAPTR, QLIBT)

C *****
C
C SOUS-ROUTINE QUI FERME LE BILAN AU POINT DE REJET "IREJET"
C
C ENTREES : ITRON : NUMERO DU TRONCON
C ----- IREJET : NUMERO DU POINT DE REJET
C QINDUS : MATRICE DES DEBITS DES INDUSTRIES PAR PT DE REJET
C CHARES : CHARGE RESIDUELLE ASSOCIEE AU SYSTEME D'OPTIONS
C AU POINT DE REJET "IREJET"
C QTRAIT : VECTEUR DES DEBITS RESULTANT DE LA SUBROUTINE OPTION
C
C SORTIES : CHALIB CHARGE LIBRE AU POINT DE REJET
C ----- CHAPTR : CHARGE APRES TRAITEMENT
C QLIBT : DEBIT LIBRE TOTAL AU POINT DE REJET "IREJET"
C

INTEGER ITRON, IREJET
REAL QINDUS(3,3), CHARES(2,4), QTRAIT(8), CHALIB(2,3), CHAPTR(2,3)
REAL QLIBT(3), DBOIND(3,3), PHOIND(3,3), DBOMOY, PHOMOY, QLIB(3)

C
C DEPENDANT DU TRONCON
C GOTO(1000,2000,3000,4000,5000) ITRON
C EN CAS D'ERREUR...
C WRITE(6,*) 'ERREUR DANS "DCHARG", ITRON=', ITRON
C STOP

C
CC

C TRONCON 1 C

C
CC

1000 IF(IREJET.EQ.1) GOTO 1100
C EN CAS D'ERREUR...
C WRITE(6,*) '*** ERREUR DANS "DCHARG", IREJET=', IREJET
C STOP

C
CC

C BILAN AU POINT DE REJET 1 (T1.R1) C

C
CC

1100 QLIB(1)=QINDUS(IREJET,1)-QTRAIT(8)
QLIB(2)=QINDUS(IREJET,2)-(QTRAIT(2)+QTRAIT(4)+QTRAIT(6))
QLIB(3)=QINDUS(IREJET,3)-(QTRAIT(1)+QTRAIT(3)+QTRAIT(5)+QTRAIT(7))
CHALIB(1,IREJET)=0.
CHALIB(2,IREJET)=0.
QLIBT(IREJET)=QLIB(1)+QLIB(2)+QLIB(3)
IF(QLIBT(IREJET).LE.0.) GOTO 1150
DBOMOY= DBOIND(IREJET,1)*QLIB(1)/QLIBT(IREJET)


```

CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
3000 GOTO(3100,3200,3300) IREJET
C EN CAS D'ERREUR...
WRITE(6,*) '*** ERREUR DANS "DCHARG", IREJET=',IREJET
STOP

```

```

C
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
C
C           BILAN AU POINT DE REJET 1           (T3.R1)           C
C

```

```

CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
3100 QLIB(1)=QINDUS(IREJET,1)-(QTRAIT(3)+QTRAIT(5)+QTRAIT(7))
QLIB(2)=QINDUS(IREJET,2)-(QTRAIT(1)+QTRAIT(2)+QTRAIT(4)+QTRAIT(6))
CHALIB(1,IREJET)=0.
CHALIB(2,IREJET)=0.
QLIBT(IREJET)=QLIB(1)+QLIB(2)
IF(QLIBT(IREJET).LE.0.) GOTO 3150
DBOMOY= DBOIND(IREJET,1)*QLIB(1)/QLIBT(IREJET)
1 +DBOIND(IREJET,2)*QLIB(2)/QLIBT(IREJET)
PHOMOY= PHOIND(IREJET,1)*QLIB(1)/QLIBT(IREJET)
1 +PHOIND(IREJET,2)*QLIB(2)/QLIBT(IREJET)
CHALIB(1,IREJET)=DBOMOY*QLIBT(IREJET)/1000.
CHALIB(2,IREJET)=PHOMOY*QLIBT(IREJET)/1000.

```

```

C
3150 CHAPTR(1,IREJET)= CHARES(1,1)+CHARES(1,2)+CHARES(1,3)+CHARES(1,4)
1 +CHALIB(1,IREJET)
CHAPTR(2,IREJET)= CHARES(2,1)+CHARES(2,2)+CHARES(2,3)+CHARES(2,4)
1 +CHALIB(2,IREJET)
GOTO 9000

```

```

CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
C
C           BILAN AU POINT DE REJET 2           (T3.R2)           C
C

```

```

CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
3200 QLIB(1)=QINDUS(IREJET,1)-(QTRAIT(2)+QTRAIT(4))
QLIB(2)=QINDUS(IREJET,2)-(QTRAIT(1)+QTRAIT(3))
CHALIB(1,IREJET)=0.
CHALIB(2,IREJET)=0.
QLIBT(IREJET)=QLIB(1)+QLIB(2)
IF(QLIBT(IREJET).LE.0.) GOTO 3250
DBOMOY= DBOIND(IREJET,1)*QLIB(1)/QLIBT(IREJET)
1 +DBOIND(IREJET,2)*QLIB(2)/QLIBT(IREJET)
PHOMOY= PHOIND(IREJET,1)*QLIB(1)/QLIBT(IREJET)
1 +PHOIND(IREJET,2)*QLIB(2)/QLIBT(IREJET)
CHALIB(1,IREJET)=DBOMOY*QLIBT(IREJET)/1000.
CHALIB(2,IREJET)=PHOMOY*QLIBT(IREJET)/1000.

```

```

C
3250 CHAPTR(1,IREJET)= CHARES(1,1)+CHARES(1,2)
1 +CHALIB(1,IREJET)
CHAPTR(2,IREJET)= CHARES(2,1)+CHARES(2,2)

```

```

1          +CHALIB(2, IREJET)
GOTO 9000
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
C
C          BILAN AU POINT DE REJET 3          (T3.R3)          C
C
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
3300 QLIB(1)=QINDUS(IREJET,1)-(QTRAIT(1)+QTRAIT(3)+QTRAIT(5)+QTRAIT(7))
      QLIB(2)=QINDUS(IREJET,2)-(QTRAIT(2)+QTRAIT(4)+QTRAIT(6)+QTRAIT(8))
      CHALIB(1, IREJET)=0.
      CHALIB(2, IREJET)=0.
      QLIBT(IREJET)=QLIB(1)+QLIB(2)
      IF(QLIBT(IREJET).LE.0.) GOTO 3350
      DBOMOY= DBOIND(IREJET,1)*QLIB(1)/QLIBT(IREJET)
1          +DBOIND(IREJET,2)*QLIB(2)/QLIBT(IREJET)
      PHOMOY= PHOIND(IREJET,1)*QLIB(1)/QLIBT(IREJET)
1          +PHOIND(IREJET,2)*QLIB(2)/QLIBT(IREJET)
      CHALIB(1, IREJET)=DBOMOY*QLIBT(IREJET)/1000.
      CHALIB(2, IREJET)=PHOMOY*QLIBT(IREJET)/1000.
3350 CHAPTR(1, IREJET)=CHARES(1,1)+CHARES(1,2)+CHARES(1,3)+CHARES(1,4)
1          +CHALIB(1, IREJET)
      CHAPTR(2, IREJET)=CHARES(2,1)+CHARES(2,2)+CHARES(2,3)+CHARES(2,4)
1          +CHALIB(2, IREJET)
GOTO 9000

```

```

CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
C
C          TRONCON 4          C
C
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
4000 IF(IREJET.EQ.1) GOTO 4100
C EN CAS D'ERREUR...
      WRITE(6,*) '*** ERREUR DANS "DCHARG", IREJET=', IREJET
      STOP

```

```

C
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
C
C          BILAN AU POINT DE REJET 1          (T4.R1)          C
C
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
4100 QLIB(1)=QINDUS(IREJET,1)-(QTRAIT(2)+QTRAIT(4))
      QLIB(2)=QINDUS(IREJET,2)-(QTRAIT(1)+QTRAIT(3))
      CHALIB(1, IREJET)=0.
      CHALIB(2, IREJET)=0.
      QLIBT(IREJET)=QLIB(1)+QLIB(2)
      IF(QLIBT(IREJET).LE.0.) GOTO 4150
      DBOMOY= DBOIND(IREJET,1)*QLIB(1)/QLIBT(IREJET)
1          +DBOIND(IREJET,2)*QLIB(2)/QLIBT(IREJET)
      PHOMOY= PHOIND(IREJET,1)*QLIB(1)/QLIBT(IREJET)
1          +PHOIND(IREJET,2)*QLIB(2)/QLIBT(IREJET)
      CHALIB(1, IREJET)=DBOMOY*QLIBT(IREJET)/1000.

```

```

      CHALIB(2,IREJET)=PHOMOY*QLIBT(IREJET)/1000.
C
4150 CHAPTR(1,IREJET)= CHARES(1,1)+CHARES(1,2)
      1          +CHALIB(1,IREJET)
      CHAPTR(2,IREJET)= CHARES(2,1)+CHARES(2,2)
      1          +CHALIB(2,IREJET)
      GOTO 9000
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
C
C          TRONCON 5
C
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
5000 IF(IREJET.EQ.1) GOTO 5100
C EN CAS D'ERREUR...
      WRITE(6,*) '*** ERREUR DANS "DCHARG", IREJET=',IREJET
      STOP
C
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
C
C          BILAN AU POINT DE REJET 1          (T5.R1)
C
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
5100 QLIB(1)=QINDUS(IREJET,1)-QTRAIT(8)
      QLIB(2)=QINDUS(IREJET,2)-(QTRAIT(2)+QTRAIT(4)+QTRAIT(6))
      QLIB(3)=QINDUS(IREJET,3)-(QTRAIT(1)+QTRAIT(3)+QTRAIT(5)+QTRAIT(7))
      CHALIB(1,IREJET)=0.
      CHALIB(2,IREJET)=0.
      QLIBT(IREJET)=QLIB(1)+QLIB(2)+QLIB(3)
      IF(QLIBT(IREJET).LE.0.) GOTO 5150
      DBOMOY= DBOIND(IREJET,1)*QLIB(1)/QLIBT(IREJET)
      1          +DBOIND(IREJET,2)*QLIB(2)/QLIBT(IREJET)
      1          +DBOIND(IREJET,3)*QLIB(3)/QLIBT(IREJET)
      PHOMOY= PHOIND(IREJET,1)*QLIB(1)/QLIBT(IREJET)
      1          +PHOIND(IREJET,2)*QLIB(2)/QLIBT(IREJET)
      1          +PHOIND(IREJET,3)*QLIB(3)/QLIBT(IREJET)
      CHALIB(1,IREJET)=DBOMOY*QLIBT(IREJET)/1000.
      CHALIB(2,IREJET)=PHOMOY*QLIBT(IREJET)/1000.
C
5150 CHAPTR(1,IREJET)= CHARES(1,1)+CHARES(1,2)+CHARES(1,3)+CHARES(1,4)
      1          +CHALIB(1,IREJET)
      CHAPTR(2,IREJET)= CHARES(2,1)+CHARES(2,2)+CHARES(2,3)+CHARES(2,4)
      1          +CHALIB(2,IREJET)
      GOTO 9000
C
C
9000 RETURN
      END

```

```

SUBROUTINE RIVER(LONCOU,IDX,DX,VELO,QRIVI,
1          REAK,  TRANSK,  DECAYK  ,
1          CHARNI,ODSAT,
1          CO,XLOAD,QUALOD,QUALP,QUALBO)

```

```

C
C SOUS-ROUTINE QUI CALCULE LA QUALITE EN OXYGENE DISSOUS ET
C EN PHOSPHORE AINSI QUE LA CHARGE POLLUANTE, ET CE,
C AU POINT "IDX" DU COURS D'EAU

```

```

C
C ENTREES : LONCOU : DISTANCE COURANTE DU COURS D'EAU(EN KM)
C -----  IDX   : DISTANCE A PARTIR DU POINT DE REJET PRECEDANT(EN KM)
C          DX    : LONGUEUR D'UNE UNITE DE DISTANCE (EN KM)
C          QRIVI : DEBIT EN RIVIERE AU TRONCON COURANT
C          CO    : CONCENTRATION EN OXYGENE DISSOUS AU POINT DE
C                REJET COURANT.
C          ODSAT : CONCENTRATION D'OXYGENE DISSOUS A SATURATION.(LU)
C          DECAYK : CONSTANTE DE BIODEGRADATION EN RIVIERE (EN 1/JOUR)
C          REAK  : CONSTANTE DE REAERATION EN RIVIERE POUR LE TRONCON
C                COURANT (EN 1/JOUR).
C          TRANSK : COEFFICIENT DE TRANSPORT DU PHOSPHORE EN RIVIERE
C                POUR LE TRONCON COURANT (EN 1/JOUR)
C          CHARNI : CHARGE INITIALE POUR L'INTER-REJET
C                (FIXEE DURANT TOUT L'INTER-REJET)
C
C SORTIES : CO      : CONCENTRATION EN OXYGENE DISSOUS AU POINT DE REJET
C -----  COUPANT.(FIXEE DURANT TOUT L'INTER-REJET)
C          XLOAD  : CHARGE POLLUANTE AU POINT "IDX (EN KG)
C          QUALOD : CONCENTRATION EN OXYGENE DISSOUS AU POINT IDX (EN MG/L)
C          QUALP  : CONCENTRATION EN ELEMENTS NUTRITIFS AU POINT IDX
C                ( EN MG-P/L)
C          QUALBO : CONCENTRATION EN DBO EN RIVIERE(EN MG/L)

```

```

REAL LONCOU,IDX,DX,VELO,QRIVI,REAK,DECAYK,TRANSK,CO,XLOAD(2)
REAL QUALOD,CHARNI(2),ODSAT
REAL UNITS,EXP1,EXP2,EXP3,TERM1,TERM2,TERM3,TERM4
REAL MORG,QUALP,QUALBO,CONCEN
INTEGER TYPOL

```

```

C
C -----
C -          QUALITE EN DBO          -
C -----

```

```

UNITS=1000./(24.*3600.)
MORG=CHARNI(1)/(QRIVI*86.4)
EXP1=DECAYK*(IDX/VELO)*UNITS
QUALBO=MORG/EXP(EXP1)
XLOAD(1)=QUALBO*QRIVI*86.4

```

```

C -----
C -          QUALITE *** NH3 ***          -
C -----
CONCEN=CHARNI(2)/(QRIVI*86.4)

```



```
PHOS=CONCEN
EXP3=TRANSK*(IDX/VELO)*UNITS
QUALP=PHOS/EXP(EXP3)
XLOAD(2)=QUALP*QRIVI*86.4
```

```
C -----
C -                QUALITE EN OXYGENE DISSOUS                -
C -----
```

```
EXP2=REAK*(IDX/VELO)*UNITS
TERM1=CO/EXP(EXP2)
TERM2=ODSAT-ODSAT/EXP(EXP2)
TERM3=((MORG*DECAYK)/(REAK-DECAYK))/EXP(EXP2)
TERM4=((MCRG*DECAYK)/(REAK-DECAYK))/EXP(EXP1)
TERM5=((CONCEN*TRANSK)/(REAK-TRANSK))/EXP(EXP2)
TERM6=((CONCEN*TRANSK)/(REAK-TRANSK))/EXP(EXP3)
QUALOD=TERM1+TERM2+TERM3-TERM4+TERM5-TERM6
```

```
C
RETURN
END
```

SUBROUTINE MINI(GVEC,N,XMIN)

C
C SOUS-ROUTINE QUI PLACE DANS XMIN LE MINIMUM DU VECTEUR GCOMP
C
C ENTREES : GVEC : VECTEUR DE VALEURS NUMERIQUES
C ----- N : NOMBRE D'ELEMENTS DU VECTEUR
C
C SORTIES : XMIN : LA VALEUR MINIMUM DE GVEC
C -----
C

```
      INTEGER N
      REAL GVEC(N),XMIN
      XMIN=GVEC(1)
      DO 10 I=2,N
      IF(GVEC(I).LT.XMIN) XMIN=GVEC(I)
10 CONTINUE
      RETURN
      END
```

```

SUBROUTINE COUTS(TYPSYS,QCOUT,COUT)
C
C SOUS-ROUTINE QUI CALCULE LE COUT (CAPITAL+OPERATION) DU
C SYSTEME DE TRAITEMENT DE TYPE "TYPSYS".
C
C ENTREES : TYPSYS : TYPE DE SYSTEME DE TRAITEMENT
C ----- QCOUT : DEBIT A TRAITER PAR LE SYSTEME "TYPSYS"
C              (SI NEGATIF INDIQUE UNE PENALITE
C              POUR L'OPTIMISATEUR)
C
C SORTIES : COUT : COUT TOTAL(CAPITAL+OPERATION) EN $ CANADIENS
C -----
C
C      INTEGER TYPSYS
C      REAL QCOUT,COUT
C
C      IF(QCOUT.GE.0.) GOTO 50
C
C PENALITE POUR L'OPTIMISATEUR (EN CAS DE QCOUT NEGATIF)
C      COUT=1.E8
C      GOTO 9999
C
C -----
C CONVERSION DES DEBITS EN MGUSD
C -----
C      50 QCOUT=QCOUT*0.0002642
C -----
C      IF(TYPSYS.EQ.1) GOTO 100
C      IF(TYPSYS.EQ.2) GOTO 200
C      IF(TYPSYS.EQ.3) GOTO 300
C      IF(TYPSYS.EQ.4) GOTO 400
C      IF(TYPSYS.EQ.5) GOTO 500
C      IF(TYPSYS.EQ.6) GOTO 600
C      IF(TYPSYS.EQ.7) GOTO 700
C      IF(TYPSYS.EQ.8) GOTO 800
C EN CAS D'ERREUR...
C      WRITE(6,*) 'ERREUR, DANS "COUTS", TYPSYS=',TYPSYS
C      STOP
C*****
C      TECHNOLOGIES APPLICABLES POUR LE CONTROLE
C      DE LA DBO5 ET N-NH3
C*****
C -----
C ----- SYSTEME 1 (COMPLE-NITRI) -----
C -----
C      100 COUT=1.4916*QCOUT**.1617+.2043*QCOUT**.2858+1.1473*QCOUT
C      CCOUT=COUT*1.E6
C      GOTO 9999
C -----
C ----- SYSTEME 2 (COMPLE/FILTRA) -----
C -----

```

```
200 COUT=1.4916*QCOUT** .1617+(.0777*QCOUT** .1098)+1.1154*QCOUT
    COUT=COUT*1.E6
    GOTO 9999
```

```
C -----
C ----- SYSTEME 2 (COMPLE-FILTRA) -----
C -----
```

```
C     COUT1=1.4916*QCOUT** .1617+1.007*QCOUT
C     COUT2=.000234*QCOUT**3-.00839*QCOUT**2+.1923*QCOUT
C     COUT=COUT1+COUT2
C     COUT=COUT*1.E6
C     GOTO 9999
```

```
C -----
C -----
C ----- SYSTEME 3 -(COMPLE)- -----
C -----
```

```
300 COUT=1.4916*QCOUT** .1617+1.007*QCOUT
    COUT=COUT*1.E6
    GOTO 9999
```

```
C -----
C ----- SYSTEME 4 (PRIMARY PLANT)- -----
C -----
```

```
400 COUT=.6346*QCOUT** .2952+.2024*QCOUT
    COUT=COUT*1.E6
    GOTO 9999
```

```
C -----
C ----- SYSTEME 5 (AERA)- -----
C -----
```

```
500 COUT=.5946*QCOUT** .3733+.4717*QCOUT
    COUT=COUT*1.E6
    GOTO 9999
```

```
C -----
C -----
C ----- SYSTEME 7 (OXIDAT) -----
C -----
```

```
700 COUT=1.41*QCOUT** .5477+.4024*QCOUT
    COUT=COUT*1.E6
    GOTO 9999
```

```
C -----
C ----- SYSTEME 6 (OXIDAT-FILTRA) -----
C -----
```

```
600 COUT=1.41*QCOUT** .5477+(.0777*QCOUT** .1098)+.5103*QCOUT
    COUT=COUT*1.E6
    GOTO 9999
```

```
C -----
C -----
C ----- SYSTEME 8 (TRICKLING FILT.) -----
C -----
```

```
C 800 COUT=1.23*QCOUT** .3214+.765*QCOUT
C     COUT=COUT*1.E6
```

C GOTO 9999

C

C

C

C

9999 RETURN

END

```

SUBROUTINE SORREJ(IREJET,NINDUS,QINDUS,DBOIND,PHOIND,XX,CHARIV,
1          CHAPTR,QRIV,ISEC,CO)
C *****
C SOUS-ROUTINE DONNANT LES PRINCIPALES SORTIES AU POINT DE
C REJET "IREJET"
C
C ENTREES : IREJET : LLLL
C ----- : NINDUS : NOMBRE D°INDUSTRIES (VILLE,TEXTILE,LAITERIE,ETC..)
C          :          : A CHAQUE POINT DE REJET
C ----- : QINDUS : LLLL
C          : DBOIND : LLLL
C          : X       : LLLL
C          : CHAPTR : LLLL
C          : QRIV   : LLLL
C          : ISEC   : LLLL
C          : CO     : LLLL
C
C SORTIES (PAPIER) : MEMES QUE ENTREES + :
C -----
C                      (DBO EN KG/JOUR)
C                      BODINI : CONCENTRATION INITIALE EN DBO AU POINT
C                      DE REJET "IREJET" (EN MG/L)
C
C
C INTEGER IREJET,ISEC,NINDUS(IREJET)
C REAL QINDUS(3,3),DBOIND(3,3),PHOIND(3,3),XX(17),CHARIV(2)
C REAL CHAPTR(2,3),QRIV(1),CO,CHARAV(2,3),BODINI(3),PHOINI(3)
C
C WRITE(6,6001) IREJET
6001 FORMAT(1H1,19X,°*****°/
1          20X,°POINT DE REJET°,I3/
1          20X,°*****°//)
C CHARAV(1,IREJET)=0.
C DO 100 J=1,NINDUS(IREJET)
C CHARAV(1,IREJET)=CHARAV(1,IREJET)
1          +QINDUS(IREJET,J)*DBOIND(IREJET,J)
100 CONTINUE
C CHARAV(1,IREJET)=CHARAV(1,IREJET)/1000.
C WRITE(6,6002) CHARAV(1,IREJET)
6002 FORMAT(1X,°CHARGE POLLUANTE TOTALE AVANT TRAITEMENT°/
1          1X,°D°°ORIGINE INDUSTRIELLE ET URBAINE :°,
1          F10.4,° (DBO EN KG/JOUR)°//)
C
C CHARAV(2,IREJET)=0.
C DO 200 J=1,NINDUS(IREJET)
C CHARAV(2,IREJET)=CHARAV(2,IREJET)
1          +QINDUS(IREJET,J)*PHOIND(IREJET,J)
200 CONTINUE
C CHARAV(2,IREJET)=CHARAV(2,IREJET)/1000.
C WRITE(6,6102) CHARAV(2,IREJET)
6102 FORMAT(1X,°CHARGE POLLUANTE TOTALE AVANT TRAITEMENT°/

```

```

1      1X,°D°ORIGINE INDUSTRIELLE ET URBAINE      :°,
1      F10.4,° (PHOSPHORE EN KG/JOUR)°//)
C
      WRITE(6,6004) CHAPTR(1,IREJET)
6004  FORMAT(° CHARGE POLLUANTE DEVERSEE EN RIVIERE APRES TRAITEMENT:°,
1      F10.4,° (DBO EN KG/JOUR)°//)
C
      WRITE(6,6104) CHAPTR(2,IREJET)
6104  FORMAT(° CHARGE POLLUANTE DEVERSEE EN RIVIERE APRES TRAITEMENT:°,
1      F10.4,° (PHOSPHORE EN KG/JOUR)°//)
C
      BODINI(IREJET)=(CHAPTR(1,IREJET)+CHARIV(1))/(QRIV(ISEC)*86.4)
      WRITE(6,6005) BODINI(IREJET)
6005  FORMAT(° CONCENTRATION INITIALE EN DBO AU POINT DE REJET:°,
1      F10.4,° (EN MG/L)°//)
      PHOINI(IREJET)=(CHAPTR(2,IREJET)+CHARIV(2))/(QRIV(ISEC)*86.4)
      WRITE(6,6105) PHOINI(IREJET)
6105  FORMAT(° CONCENTRATION INITIALE EN PHOSPHORE AU POINT DE REJET:°,
1      F10.4,° (EN MG/L)°//)
C
      WRITE(6,6006) CO
C (AU POINT DE REJET MOINS DX)
6006  FORMAT(° CONCENTRATION INITIALE EN OXYGENE DISSOUS EN RIVIERE:°,
1      F10.4,° (EN MG/L)°//)
C
      RETURN
      END

```

```

SUBROUTINE SORRIV(IDX,LONCOU,QUALBO,QUALOD,QUALP,CHARIV)
C
C SOUS-ROUTINE QUI IMPRIME LES SORTIES DE "RIVER" A CHAQUE PAS.
C ( IMPRIME LONCOU,QUALBO,QUALOD,QUALP,CHARIV)
C
REAL IDX,LONCOU,QUALBO,QUALOD,CHARIV(2)
C
IF(IDX.NE.1.) GOTO 200
C LES ENTETES
WRITE(6,6001)
6001 FORMAT(
1 49H1 DISTANCE DBO OXYGENE DISSOUS ,
1 50H PHOSPHORE CHARGE POLLUANTE CHARGE POLLUANTE/
1 49H (KM) (MG/L) (MG/L) ,
1 50H (MG/L) RESIDUELLE EN RESIDUELLE EN /49X,
1 50H RIVIERE (KG) RIVIERE (KG) /40X,
1 50H (DBO) (PHOSPHORE) //)
C
200 WRITE(6,6002) LONCOU,QUALBO,QUALOD,QUALP,CHARIV(1),CHARIV(2)
6002 FORMAT(6(3X,F10.4,3X))
C
RETURN
END

```


SUBROUTINE SORMIN(QUAMIN)

C
C SOUS-ROUTINE QUI IMPRIME LES VALEURS MINIMALES DE DBO, OXYGENE DISSOUS ET
C PHOSPHORE POUR TOUS LES PAS D'UN INTER-REJET.
C

INTEGER TYPOL
REAL QUAMIN(3)

C
WRITE(6,6001) QUAMIN(1),QUAMIN(2),QUAMIN(3)
6001 FORMAT(///° -----°/° LES MINIMA°/° -----°/
1 ° MIN DE GQUABO :°,F10.4,
1 3X,°(QUALITE MINIMUM EN DBO)°/
1 ° MIN DE GQUACD :°,F10.4,
1 3X,°(QUALITE MINIMUM EN OXYGENE DISSOUS)°/
1 ° MIN DE GQUAPO :°,F10.4,
1 3X,°(QUALITE MINIMUM EN PHOSPHORE)°)
RETURN
END

```

SUBROUTINE SORTIE(QTRAIT,QINDUS,QLIBT,CHARES,CHALIB,CHAPTR,GG)
C
C SOUS-ROUTINE QUI IMPRIME LES SORTIES FINALES DU PROGRAMME
C
REAL GG(65),QTRAIT(19),QINDUS(3,3),QLIBT(3),CHARES(2,10)
REAL CHALIB(2,3),CHAPTR(2,3)
REAL QTOT
C
WRITE(6,6001) GG(1)
6001 FORMAT( 1*****°/
i          ° * °/
i          ° * COUT TOTAL DE CONSTRUCTION : °, F10.0, 5X, °*°/
i          ° * °/
i          ° *****°//)
C
CC** --- SAUT TEMPORAIRE POUR EVITER LES VARIABLES INDEFINIES...
IF(1.EQ.1) GOTO 999
CC**
WRITE(6,6002)
6002 FORMAT(///° *** VERIFICATION DES BILANS DE DEBITS ***°/
i          ° -----°//)
WRITE(6,6003)
6003 FORMAT(° POINT DE REJET 1°/
i          ° -----°//)
C
WRITE(6,6004) (I,QTRAIT(I),I=1,8)
6004 FORMAT(° QTRAIT(°, I2, °) = °, F10.4)
WRITE(6,6005) QLIBT(1)
6005 FORMAT(/° QLIBT(1) = °, F10.4//)
C
QTOT=QINDUS(1,1)+QINDUS(1,2)+QINDUS(1,3)
WRITE(6,6006) QTOT
6006 FORMAT(° DEBIT TOTAL (URBAIN+INDUSTRIEL) A TRAITER EN CE POINT:°,
i          F10.4, ° ( METRES CUBES PAR JOUR)°)
C
WRITE(6,6007)
6007 FORMAT(//° POINT DE REJET 2°/
i          ° -----°//)
C
WRITE(6,6008) (I,QTRAIT(I),I=9,15)
6008 FORMAT(° QTRAIT(°, I2, °) = °, F10.4)
WRITE(6,6009) QLIBT(2)
6009 FORMAT(/° QLIBT(2) = °, F10.4//)
C
QTOT=QINDUS(2,1)+QINDUS(2,2)
WRITE(6,6010) QTOT
6010 FORMAT(° DEBIT TOTAL (URBAIN+INDUSTRIEL) A TRAITER EN CE POINT:°,
i          F10.4, ° ( METRES CUBES PAR JOUR)°)
C
WRITE(6,6011)

```

```

6011 FORMAT(//° POINT DE REJET 3°/
1          ° -----°//)
C
WRITE(6,6012) (I,QTRAIT(I),I=16,19)
6012 FORMAT(° QTRAIT(°,I2,°) = °,F10.4)
WRITE(6,6013) QLIBT(3)
6013 FORMAT(/° QLIBT(3) = °,F10.4//)
C
QTOT=QINDUS(3,1)+QINDUS(3,2)
WRITE(6,6014) QTOT
6014 FORMAT(° DEBIT TOTAL (URBAIN+INDUSTRIEL) A TRAITER EN CE POINT:°,
1          F10.4,° ( METRES CUBES PAR JOUR)°)
C
WRITE(6,6015)
6015 FORMAT(°i *** VERIFICATION DES BILANS MASSIQUES ***°/
1          ° -----°//)
C
WRITE(6,6016)
6016 FORMAT(//° POINT DE REJET 1°/
1          ° -----°//)
C
WRITE(6,6017) (I,CHARES(1,I),I=1,4)
6017 FORMAT(° CHARES(1,°,I2,°) = °,F10.4)
WRITE(6,6018) CHALIB(1,1),CHAPTR(1,1)
6018 FORMAT(/° CHALIB(1,1) = °,F10.4/° CHAPTR(1,1) = °,F10.4//)
WRITE(6,6117) (I,CHARES(2,I),I=1,4)
6117 FORMAT(° CHARES(2,°,I2,°) = °,F10.4)
WRITE(6,6118) CHALIB(2,1),CHAPTR(2,1)
6118 FORMAT(/° CHALIB(2,1) = °,F10.4/° CHAPTR(2,1) = °,F10.4//)
C
C
WRITE(6,6019)
6019 FORMAT(//° POINT DE REJET 2°/
1          ° -----°//)
C
WRITE(6,6020) (I,CHARES(1,I),I=5,8)
6020 FORMAT(° CHARES(1,°,I2,°) = °,F10.4)
WRITE(6,6021) CHALIB(1,2),CHAPTR(1,2)
6021 FORMAT(/° CHALIB(1,2) = °,F10.4/° CHAPTR(1,2) = °,F10.4//)
WRITE(6,6120) (I,CHARES(2,I),I=5,8)
6120 FORMAT(° CHARES(2,°,I2,°) = °,F10.4)
WRITE(6,6121) CHALIB(2,2),CHAPTR(2,2)
6121 FORMAT(/° CHALIB(2,2) = °,F10.4/° CHAPTR(2,2) = °,F10.4//)
C
C
WRITE(6,6022)
6022 FORMAT(//° POINT DE REJET 3°/
1          ° -----°//)
C
WRITE(6,6023) (I,CHARES(1,I),I=9,10)

```

```

6023 FORMAT(° CHARES(1,°,I2,°) = °,F10.4)
WRITE(6,6024) CHALIB(1,3),CHAPTR(1,3)
6024 FORMAT(/° CHALIB(1,3) = °,F10.4/° CHAPTR(1,3) = °,F10.4/)
WRITE(6,6123) (I,CHARS(2,I),I=9,10)
6123 FORMAT(° CHARES(2,°,I2,°) = °,F10.4)
WRITE(6,6124) CHALIB(2,3),CHAPTR(2,3)
6124 FORMAT(/° CHALIB(2,3) = °,F10.4/° CHAPTR(2,3) = °,F10.4/)
C
WRITE(6,6200) GG(1)
6200 FORMAT(° -----°/° LES CONTRAINTES°/° -----°/
1 ° GG( 1)=°,F10.4,° (LE COUT)°)
C
WRITE(6,6201) 2,GG(2)
WRITE(6,6201) 3,GG(3)
WRITE(6,6201) 4,GG(4)
C
WRITE(6,6202) 5,GG(5)
WRITE(6,6203) 6,GG(6)
C
WRITE(6,6201) 7,GG(7)
WRITE(6,6201) 8,GG(8)
C
WRITE(6,6202) 9,GG(9)
WRITE(6,6203) 10,GG(10)
C
WRITE(6,6201) 11,GG(11)
C
WRITE(6,6202) 12,GG(12)
WRITE(6,6203) 13,GG(13)
C
6201 FORMAT(° GG(°,I2,°)=°,F10.4,° (CONTRAINTE DE DEBIT)°)
6202 FORMAT(° GG(°,I2,°)=°,F10.4,° (CONTRAINTE DE QUALITE EN DBO)°)
6203 FORMAT(° GG(°,I2,°)=°,F10.4,° (CONTRAINTE DE QUALITE EN PHOSPHORE)
1 °)
C
WRITE(6,6099)
6099 FORMAT(1H1,30X,30H***** FIN DU PROGRAMME *****)
999 RETURN
END

```

```
.PROC,COUOPS.  
RETURN,LGO.  
GET,TAPE10=DATAS.  
.* POUR OPTIMISATION ENLEVER LE COMMENTAIRE DE LA PROCHAINE LIGNE  
GET,UOPTIM.  
FTN5,I=PROG,B=LGO,L=0,DB=PMD/-SB.  
LOAD,LGO.  
SATISFY,UOPTIM.  
EXECUTE.  
REVERT. UOPIN TERMINEE.
```

.DATA,TAPE5.

43 39

NAME **** UOPIN : UOPTIM AVEC "PIPIN" (5 TRONCONS) 9 JUILLET '84

ROW

O	1		
E	2	2	5110.
E	3	3	3975.
E	4	4	40100.
N	5	5	
G	6	6	4.
N	7	7	
E	8	8	10114.
E	9	9	4592.
N	10	10	
G	11	11	4.
N	12	12	
E	13	13	3615.
E	14	14	5320.
N	15	15	
G	16	16	4.
N	17	17	
E	18	18	5129.
N	19	19	
G	20	20	4.
N	21	21	
E	22	22	700.
E	23	23	2040.
N	24	24	
G	25	25	4.
N	26	26	
E	27	27	1230.
N	28	28	
G	29	29	4.
N	30	30	
N	31	31	
G	32	32	4.
N	33	33	
E	34	34	1860.
E	35	35	4260.
E	36	36	35050.
N	37	37	
G	38	38	4.
N	39	39	

END

BOUND

R 1 43 0.00000 1.00000

END

INITIAL

SEPARATE

1 1 0.7

2	2	0.7
3	3	0.7
4	4	0.7
5	5	0.7
6	6	0.7
7	7	0.7
8	8	0.7
9	9	0.7
10	10	0.7
11	11	0.7
12	12	0.7
13	13	0.7
14	14	0.7
15	15	0.7
16	16	0.7
17	17	0.7
18	18	0.7
19	19	0.7
20	20	0.7
21	21	0.7
22	22	0.7
23	23	0.7
24	24	0.7
25	25	0.7
26	26	0.7
27	27	0.7
28	28	0.7
29	29	0.7
30	30	0.7
31	31	0.7
32	32	0.7
33	33	0.7
34	34	0.7
35	35	0.7
36	36	0.7
37	37	0.7
38	38	0.7
39	39	0.7
40	40	0.7
41	41	0.7
42	42	0.7
43	43	0.7

END
METHOD
FDF
END
PRINT
PERD 5
END
GO

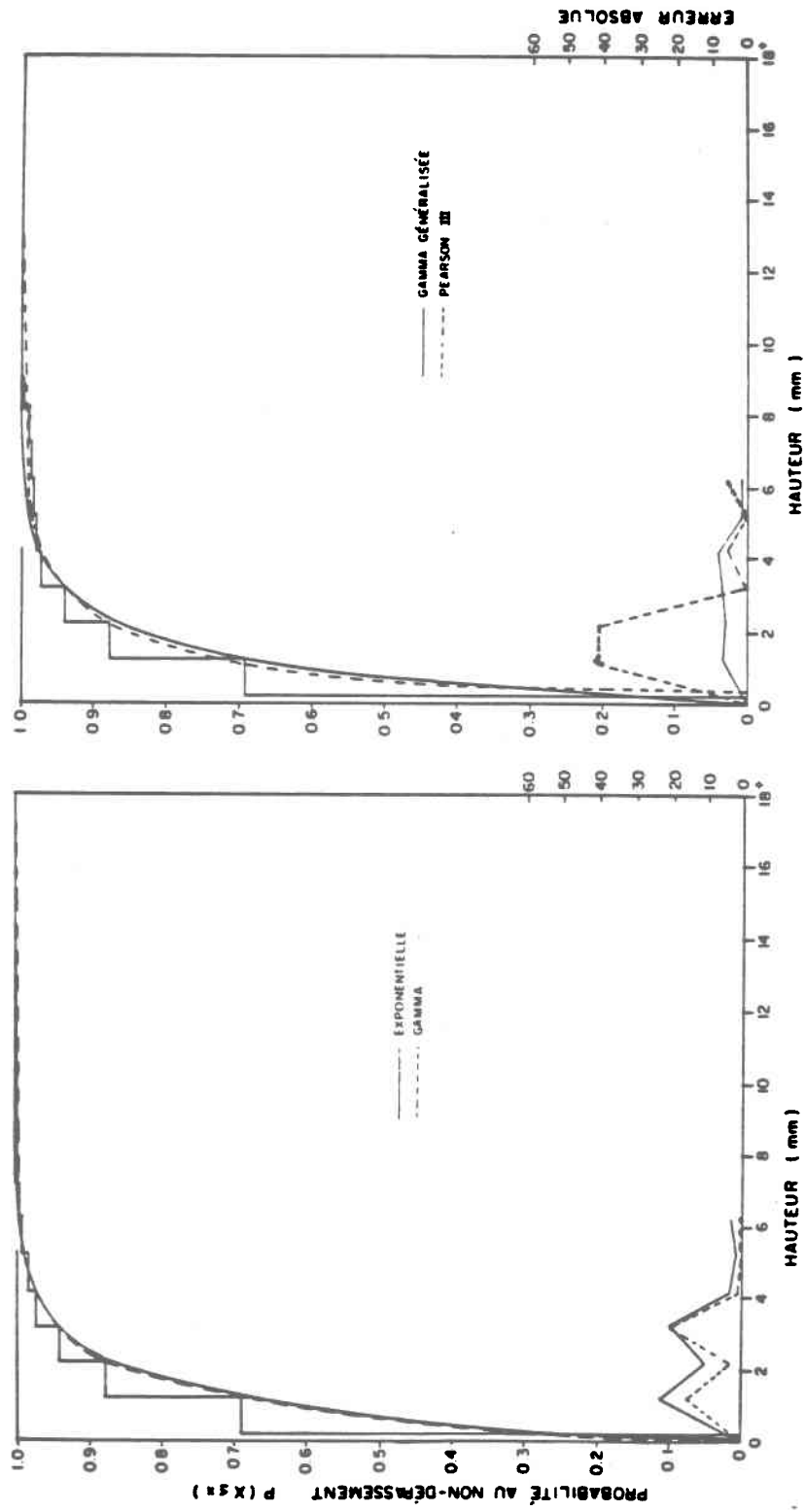
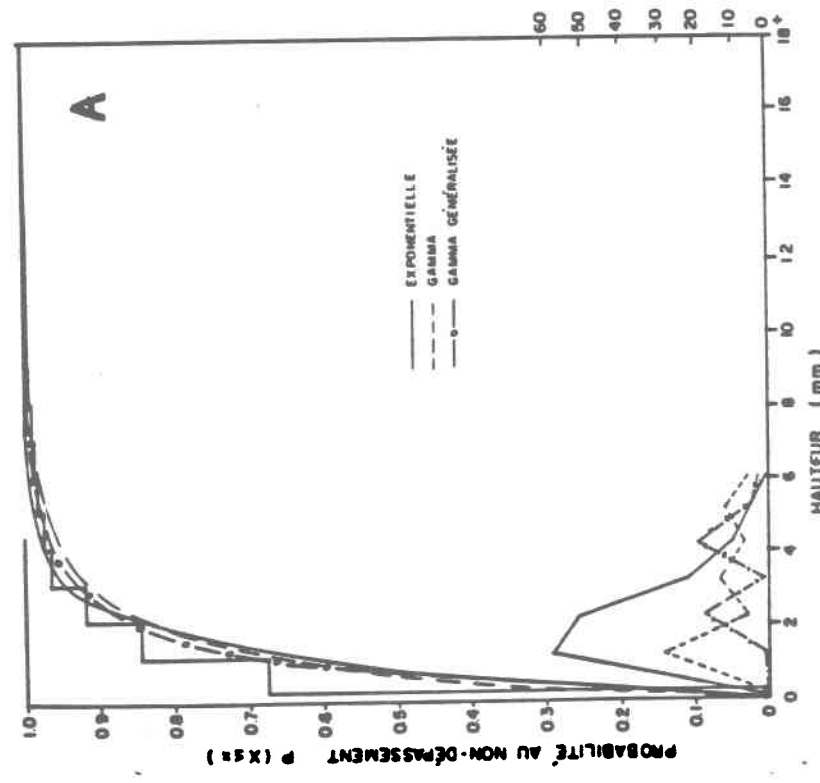
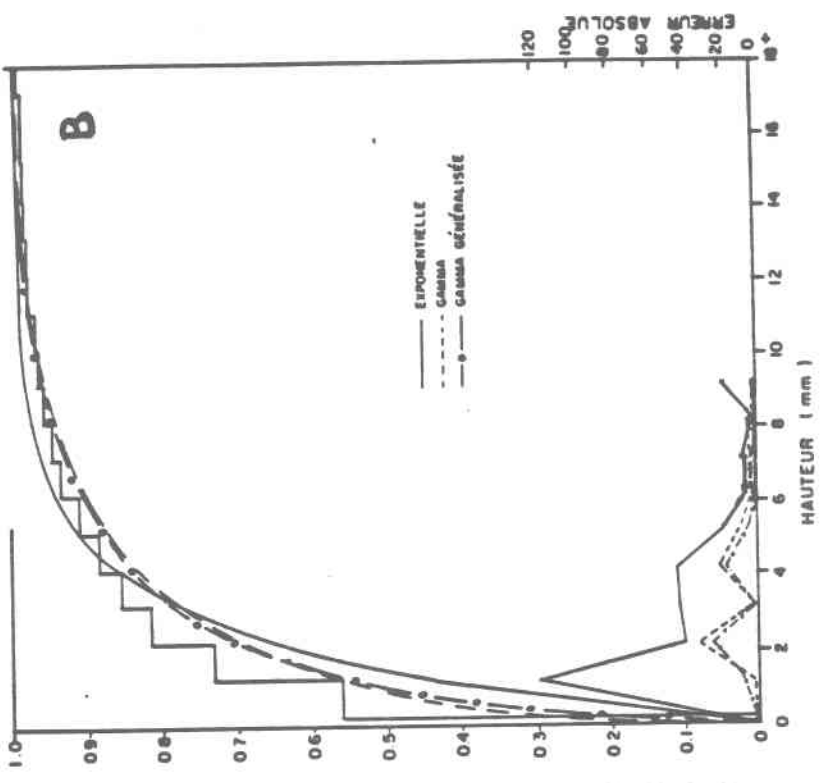
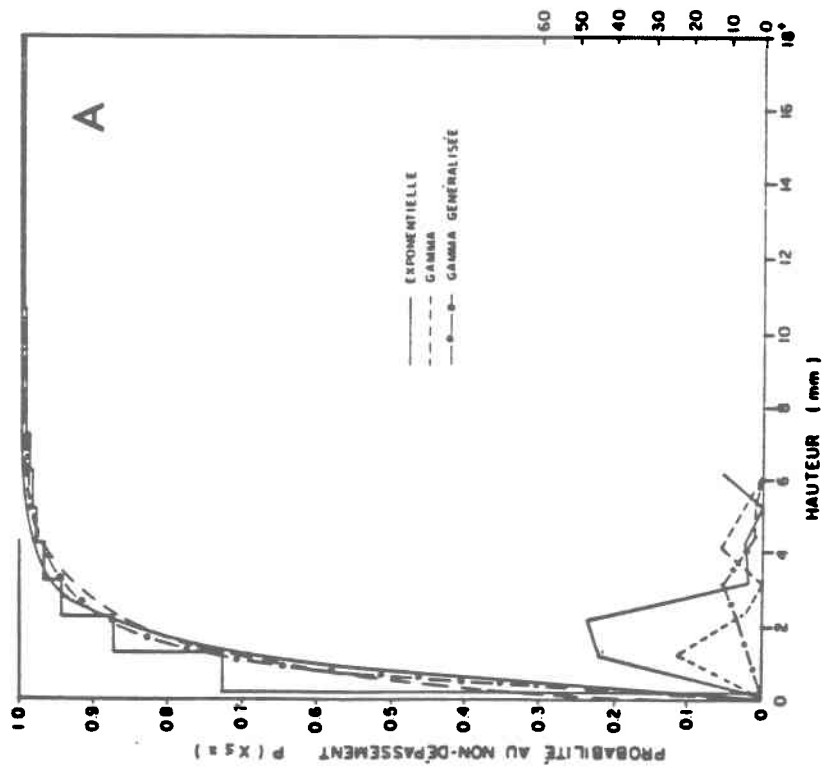
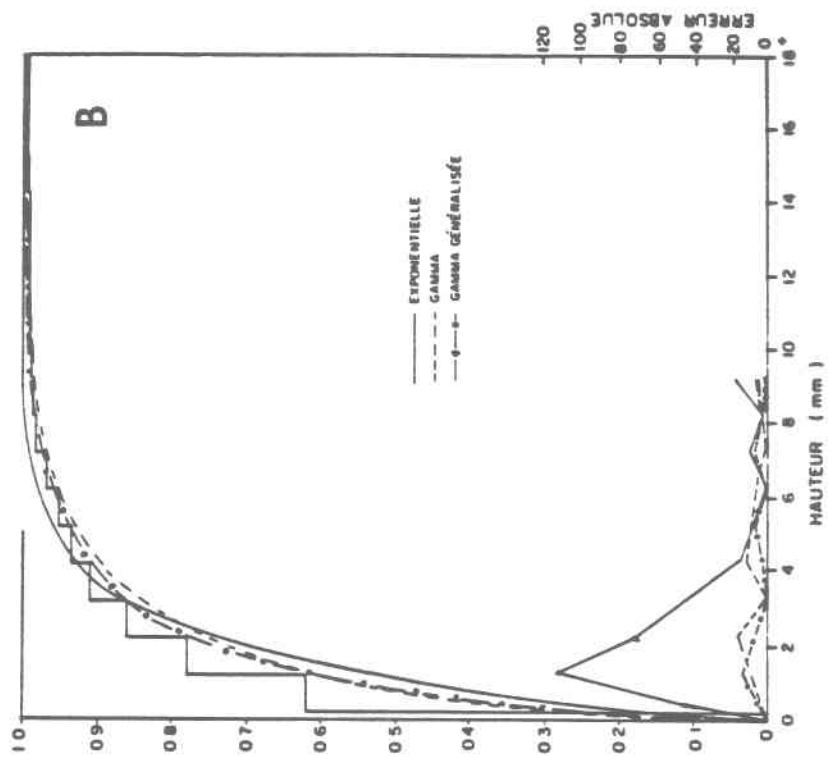
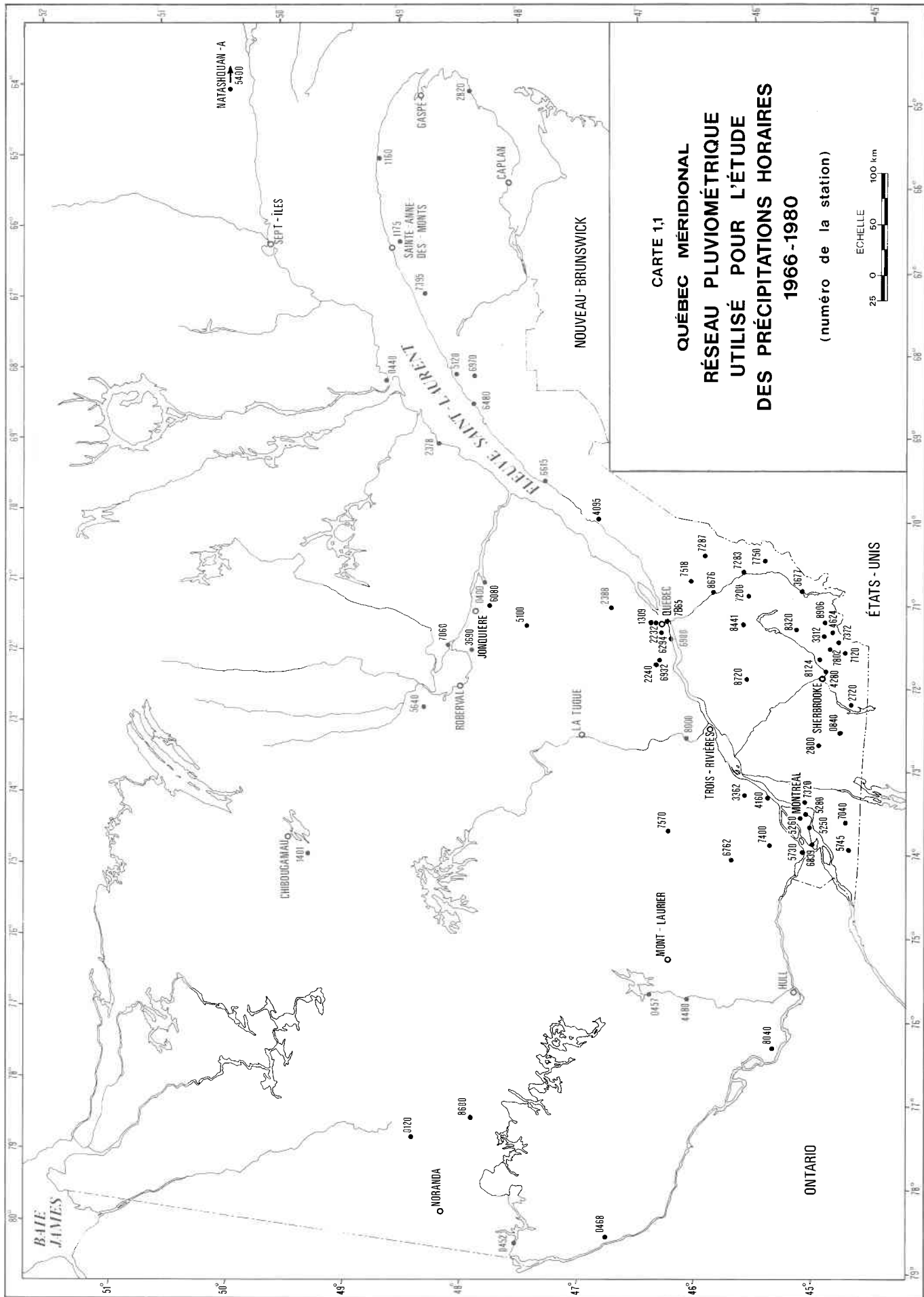
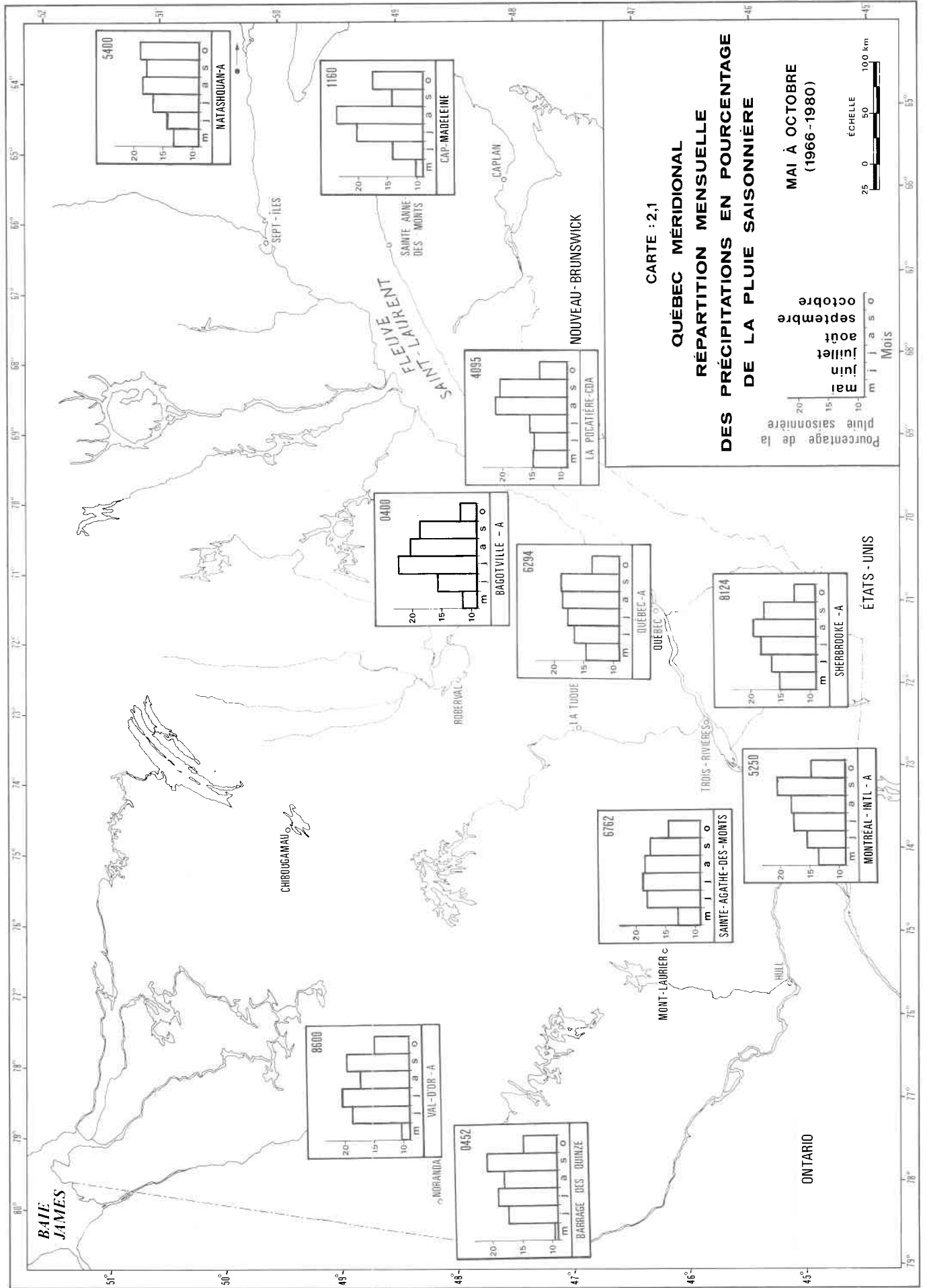


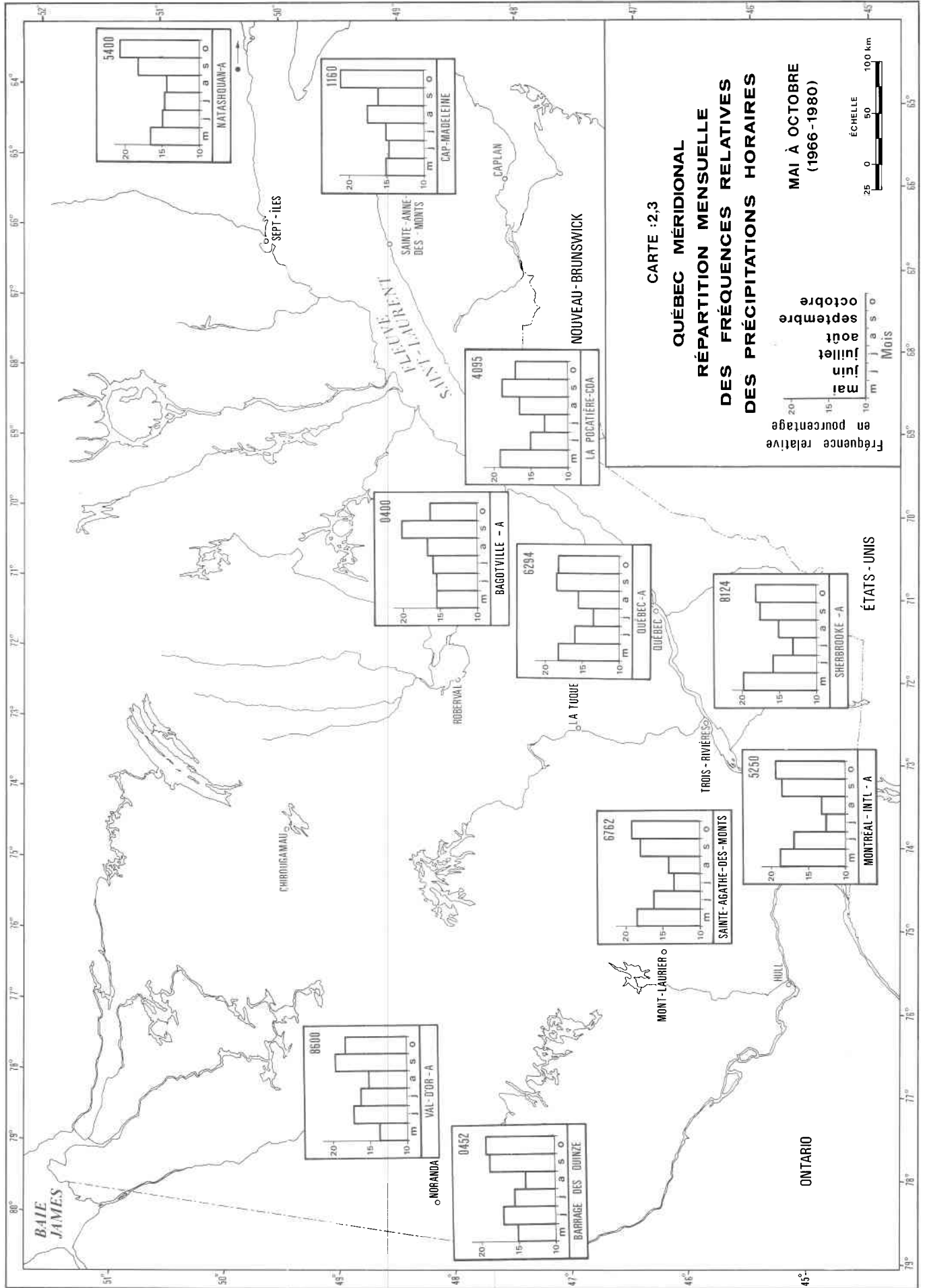
FIGURE 2.2 Ajustements de lois statistiques aux fréquences relatives cumulées des hauteurs de précipitation horaire de mai (échelle de gauche) et erreurs d'ajustements associées (échelle de droite) à la station Montréal-International-A (1961-1980).

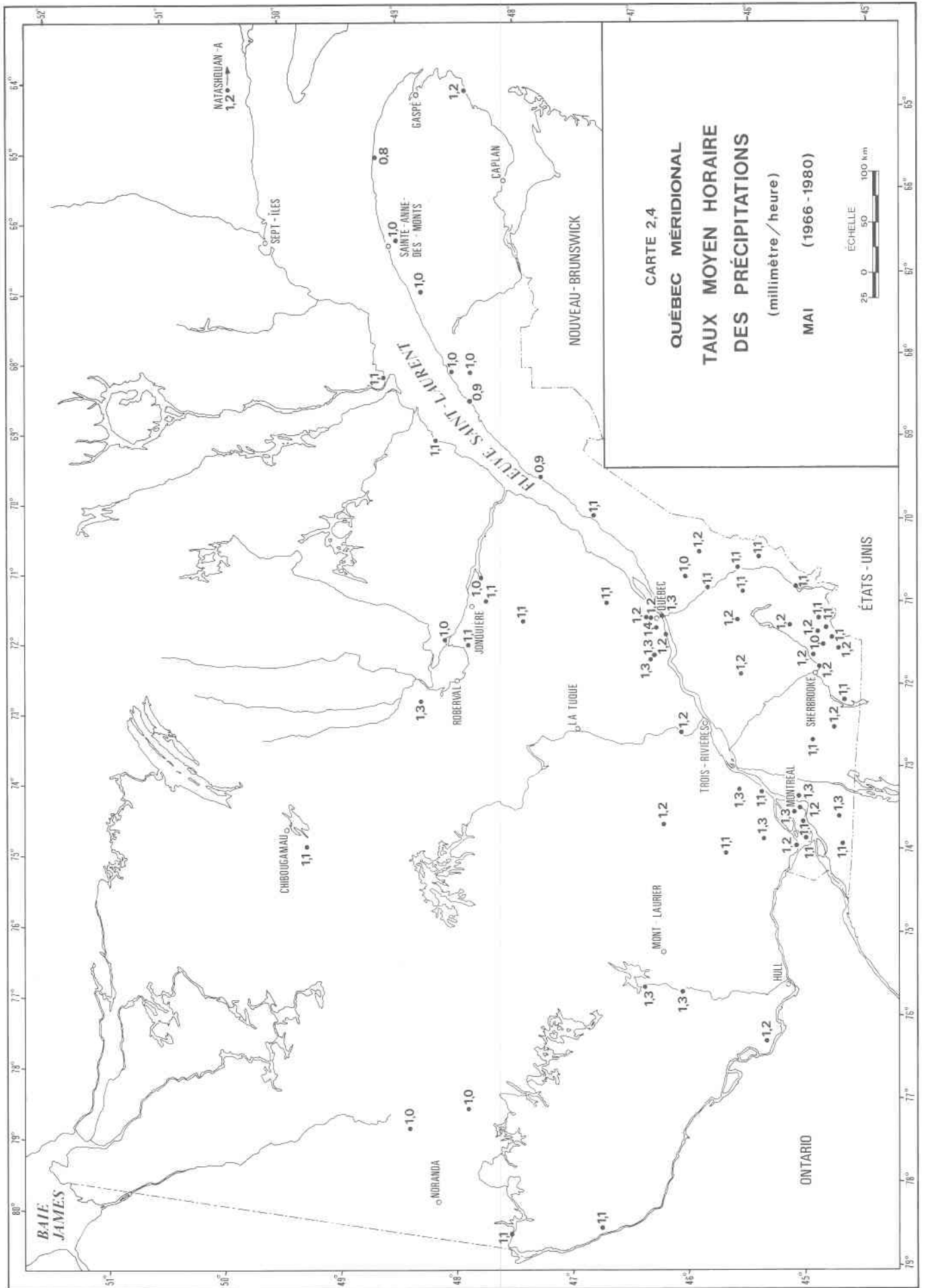


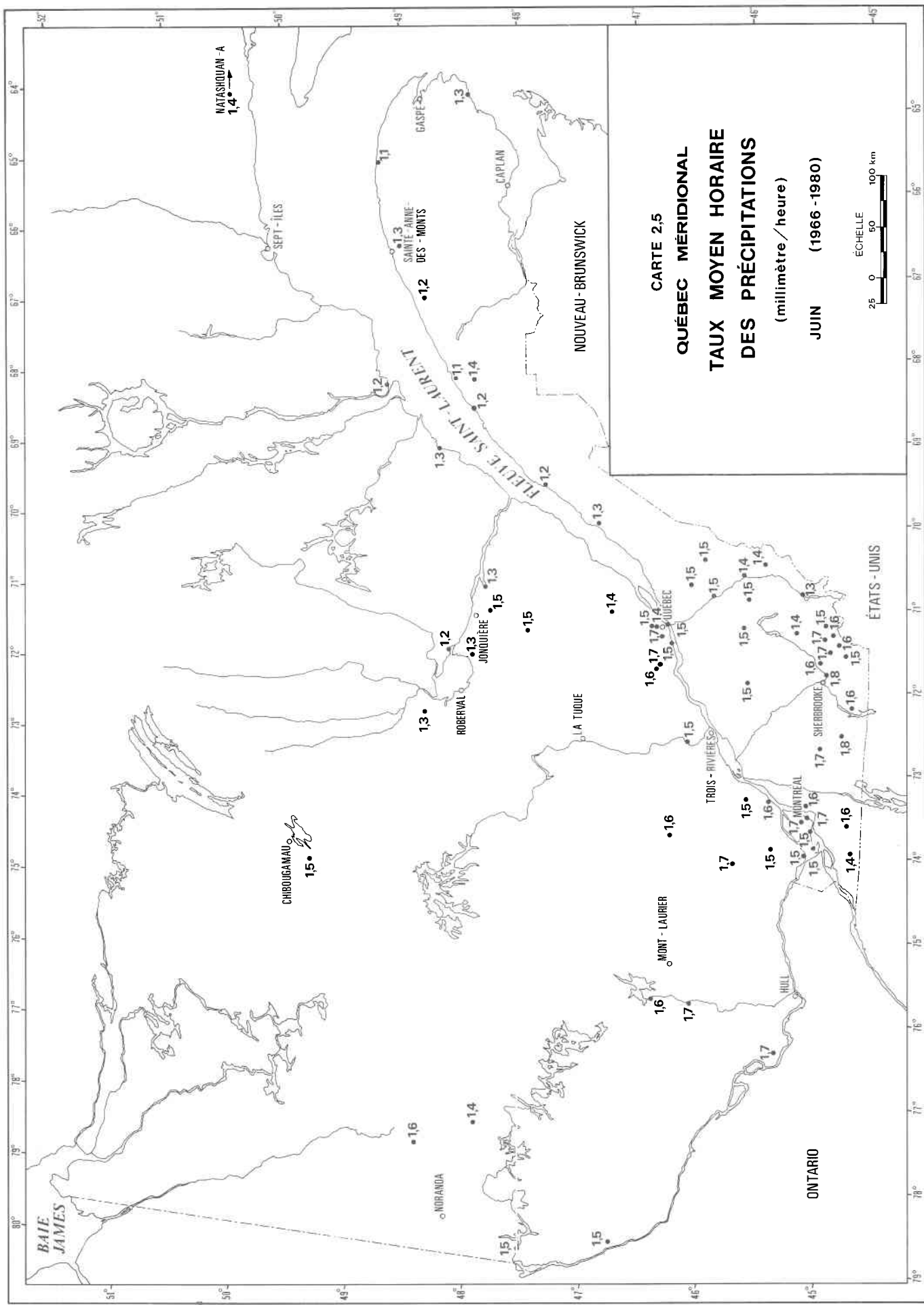
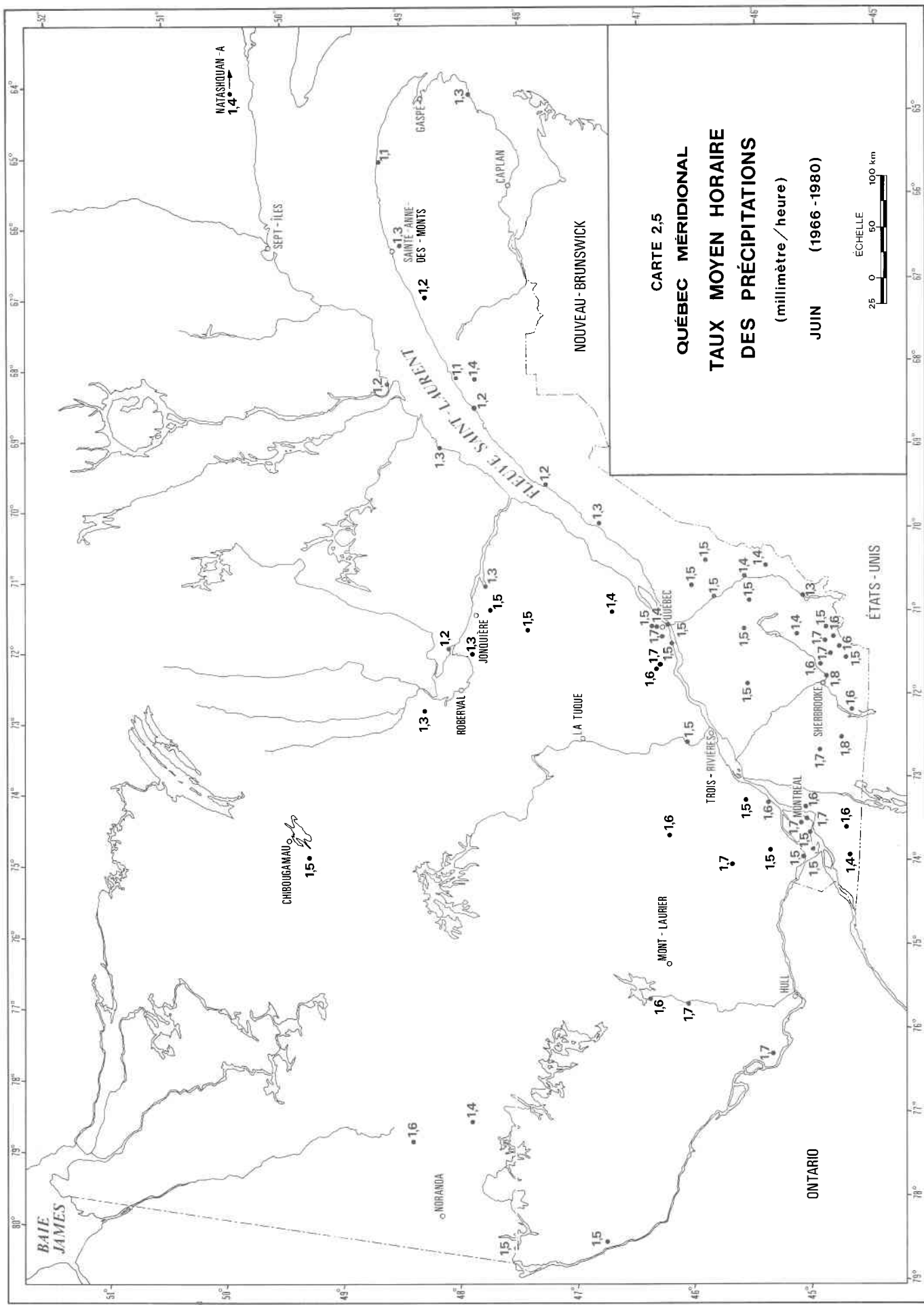


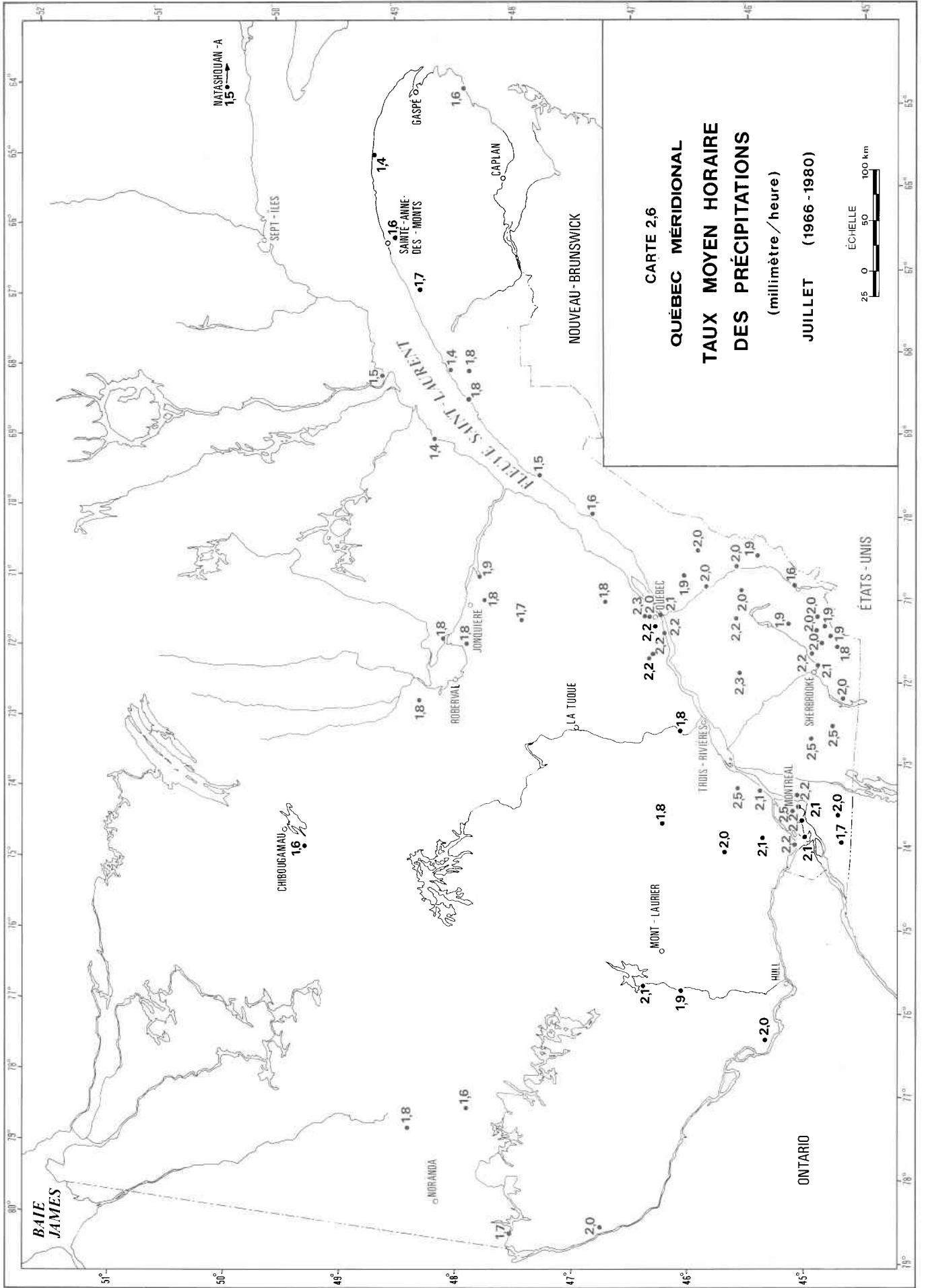


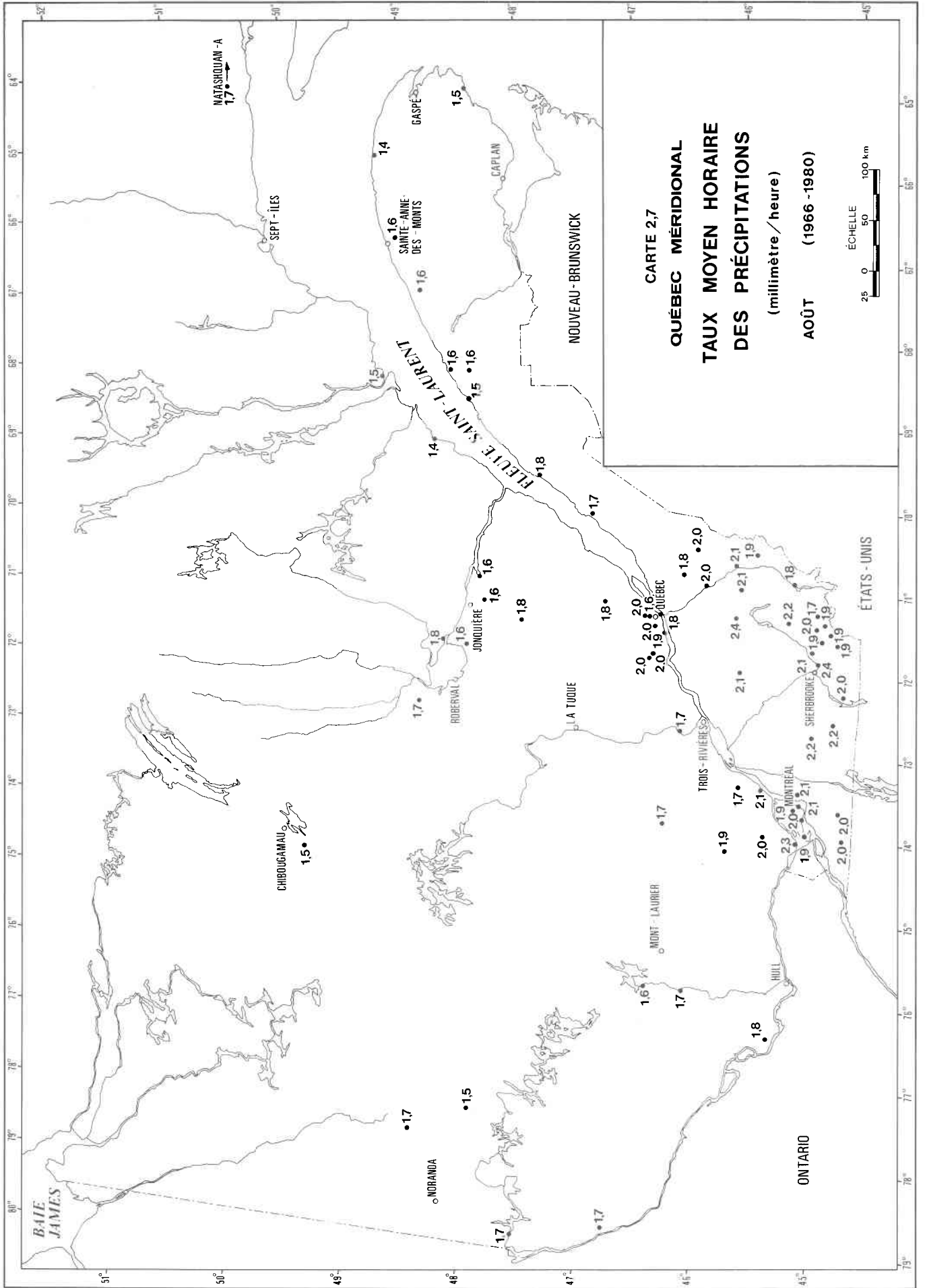


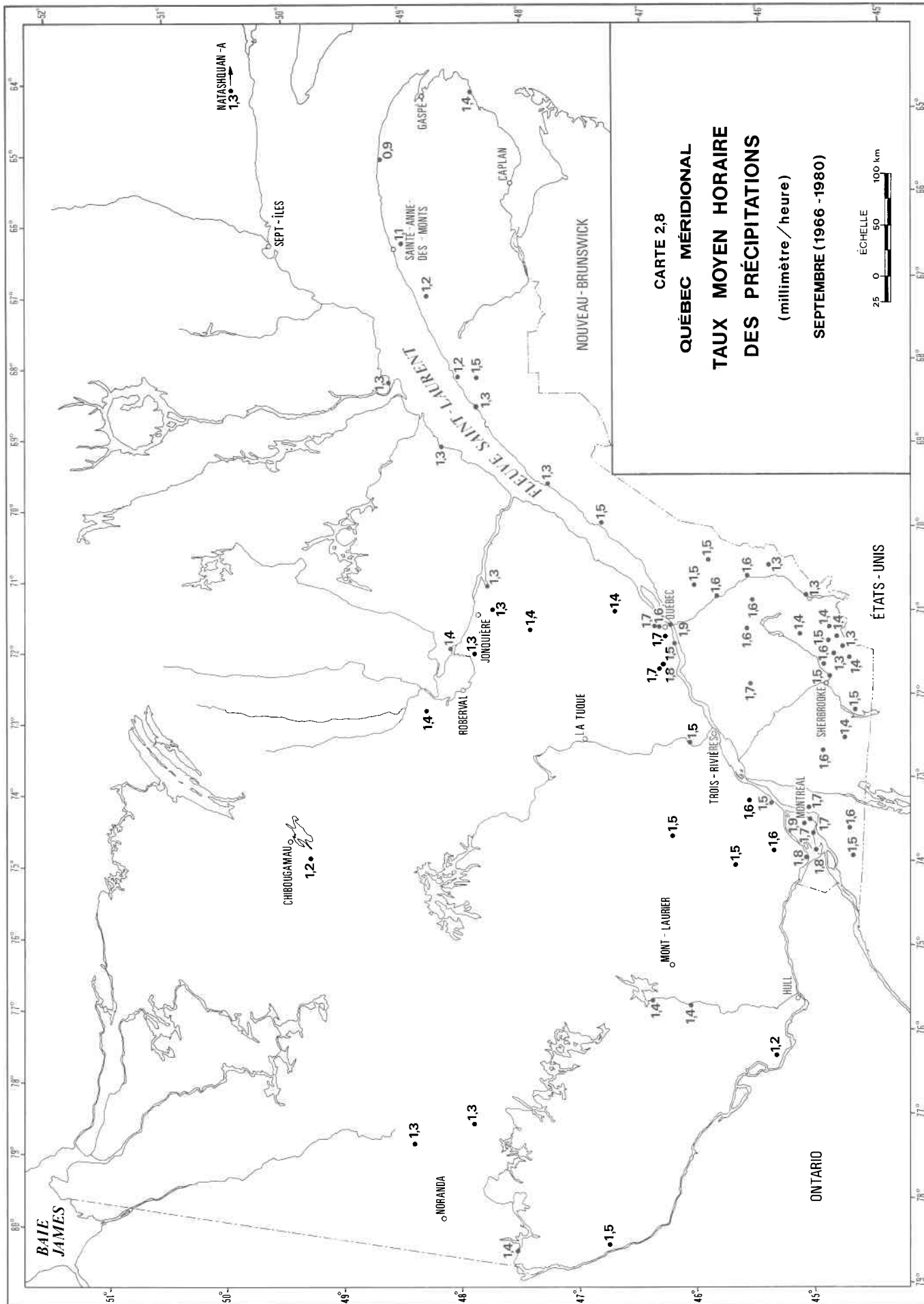


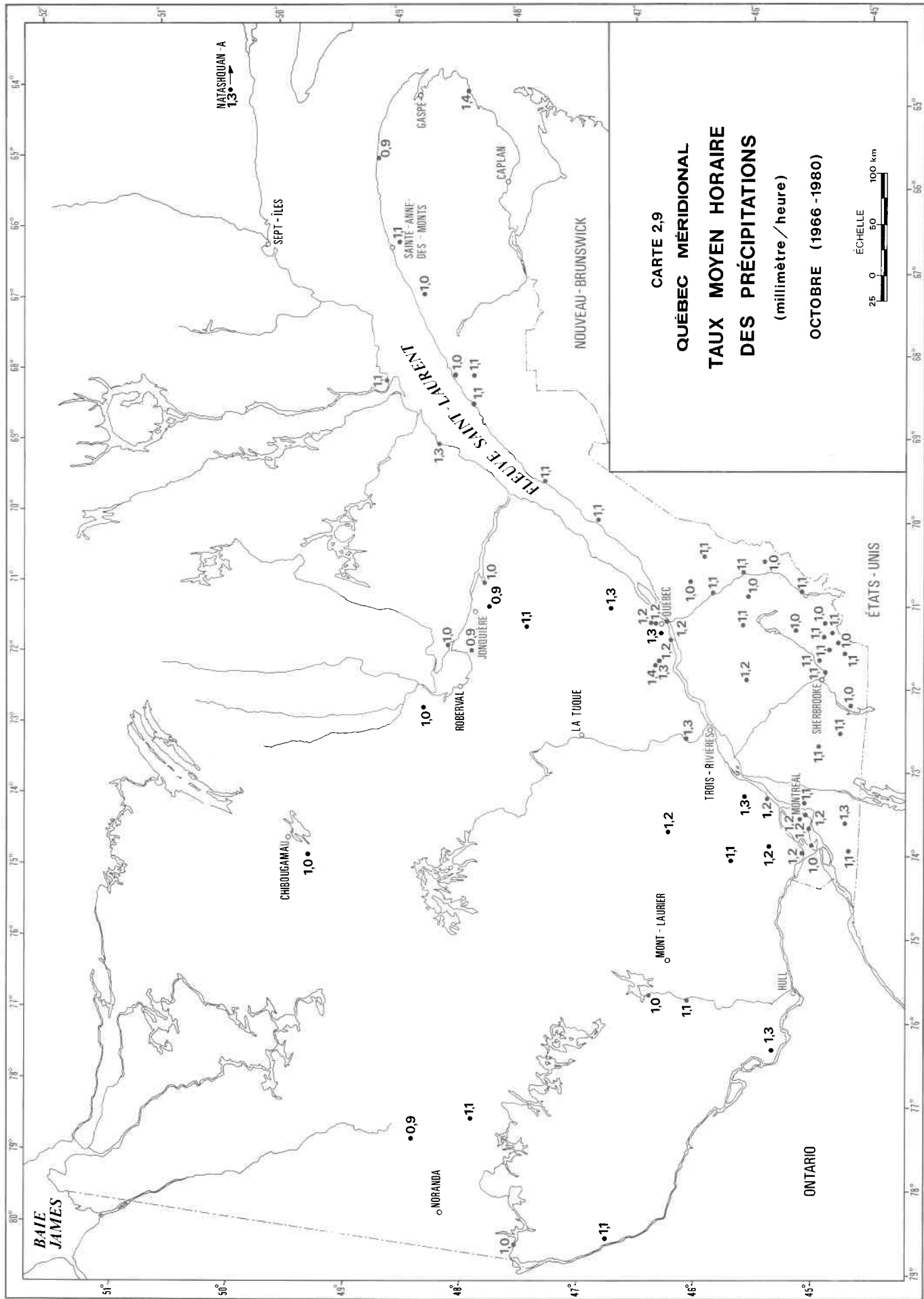


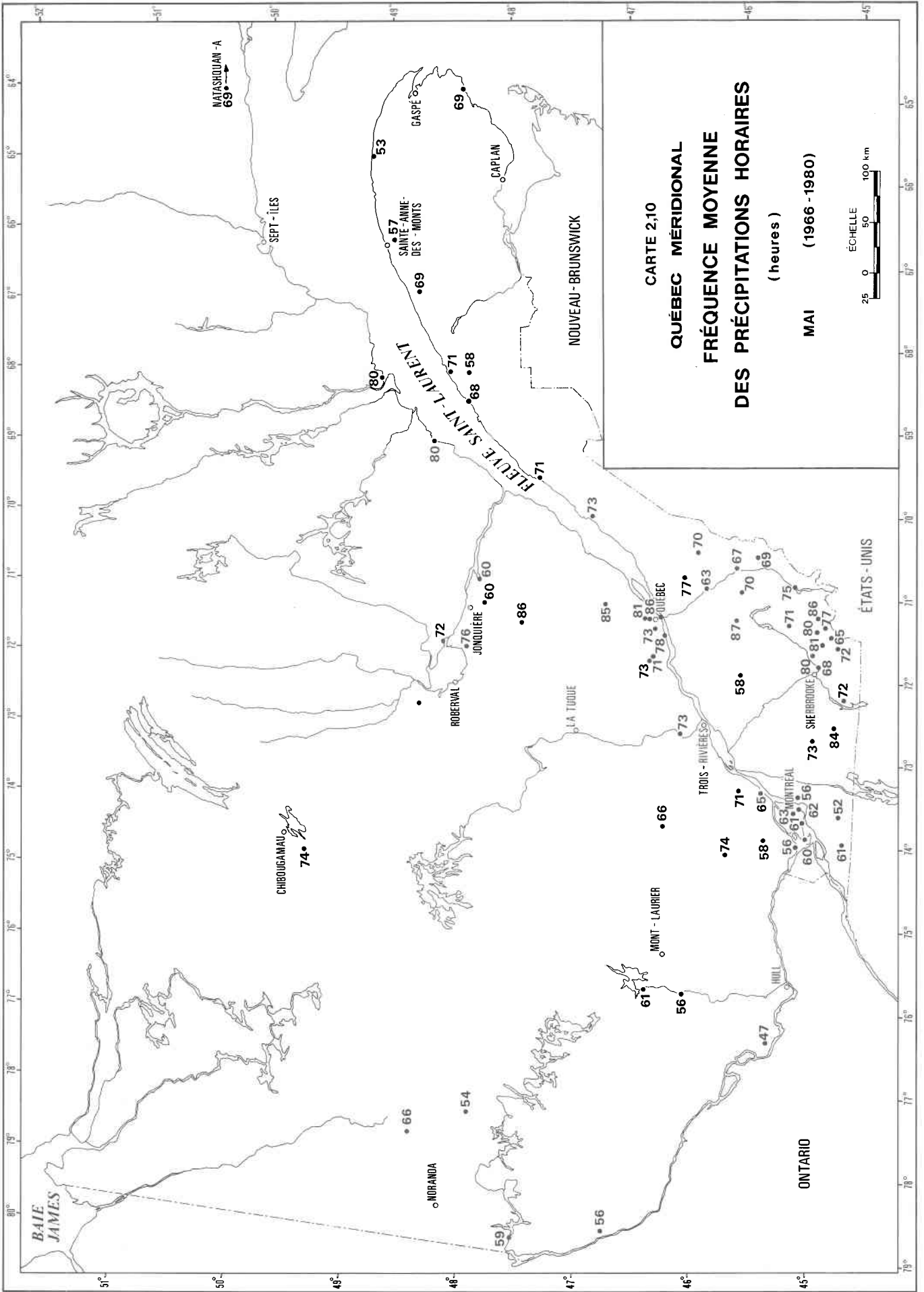












BAIE JAMES

MORANDA

CHIROUGAMAU
74

ROBERVAL

JONQUIÈRE

MONT-LAURIER

TRUIS-RIVIÈRES

MONTREAL

QUÉBEC

LA TUQUE

NOUVEAU-BRUNSWICK

SAINT-ANNE-DES-MONTS

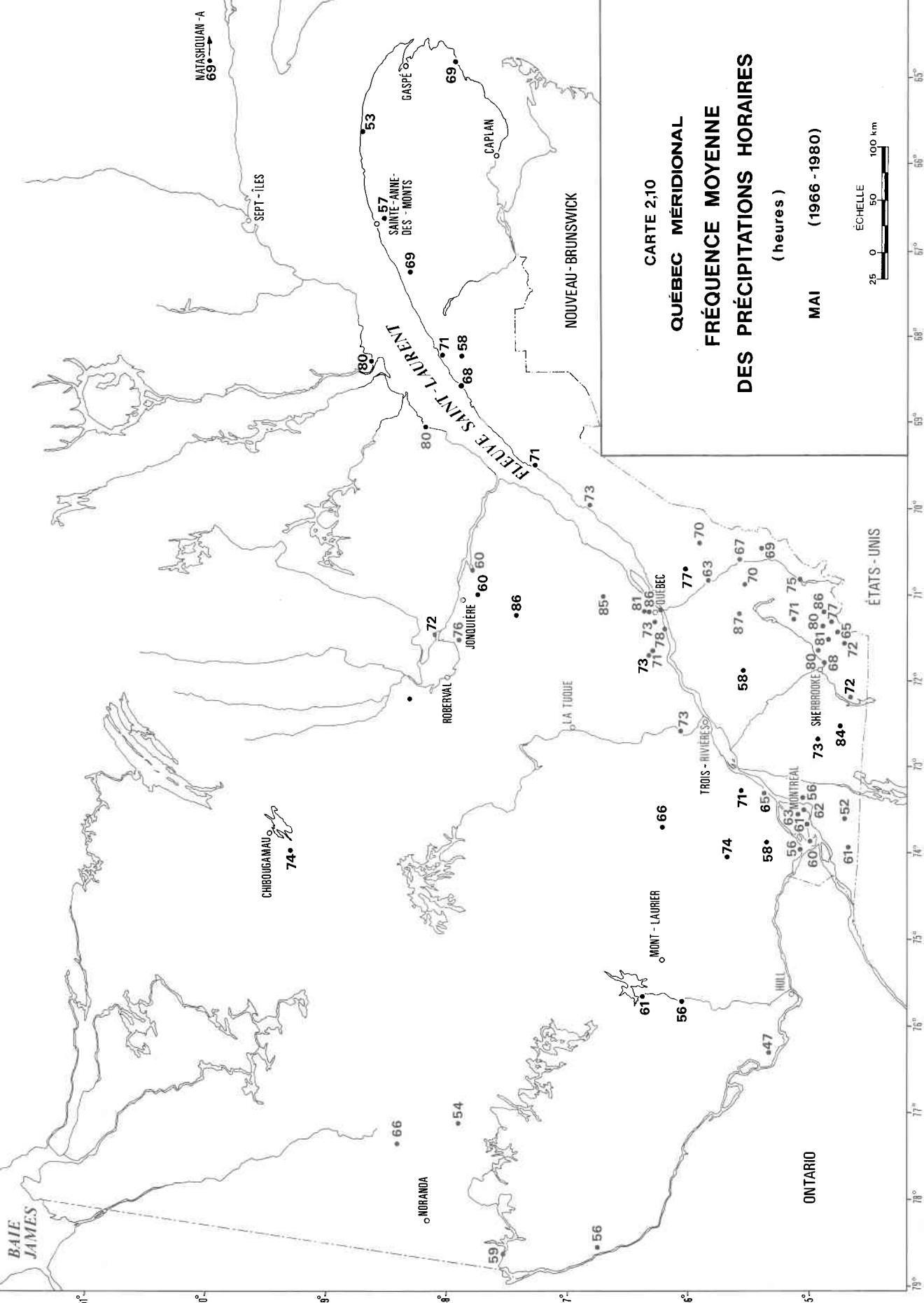
GASPÉ

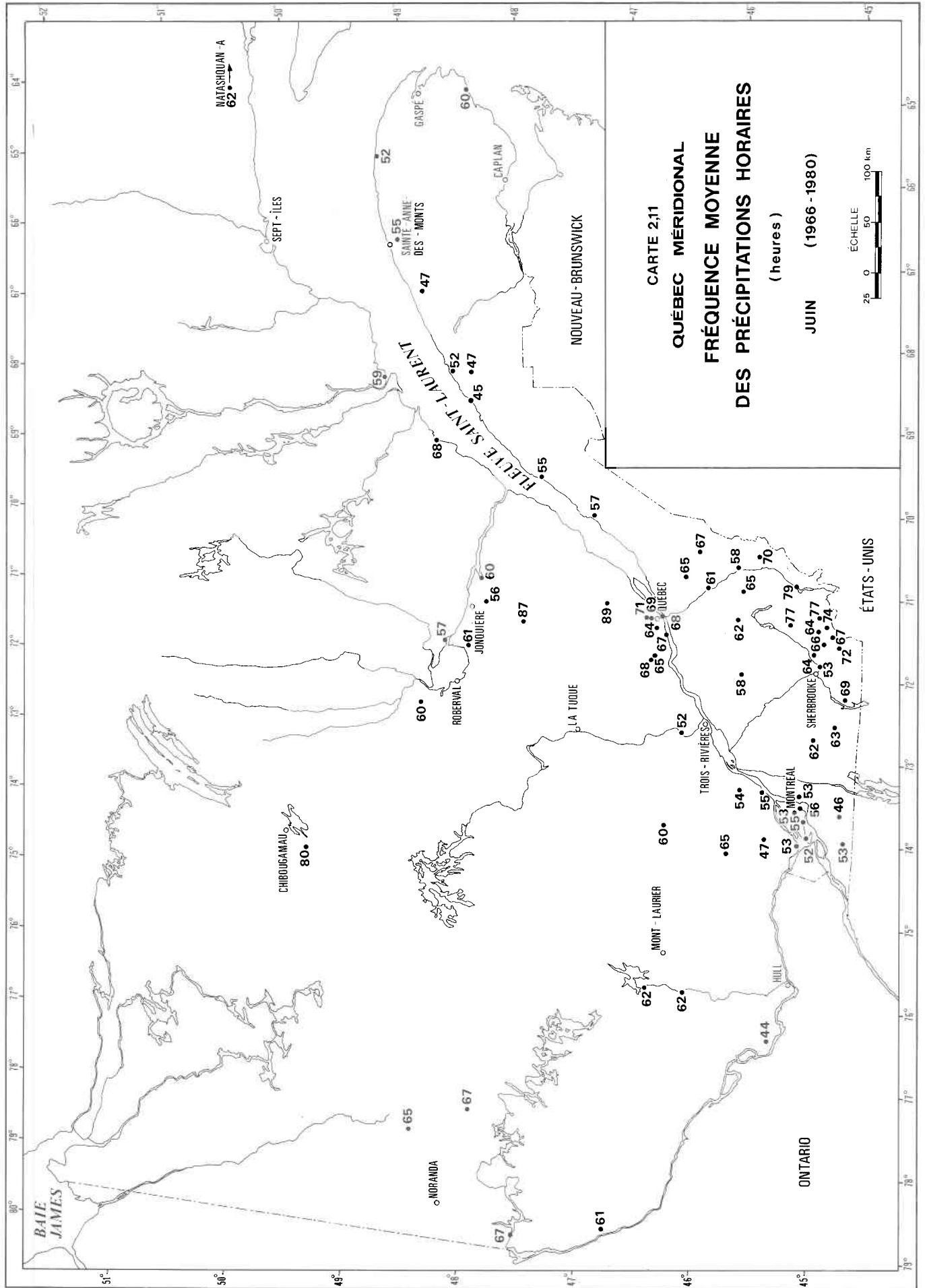
NATASHOUAN-A

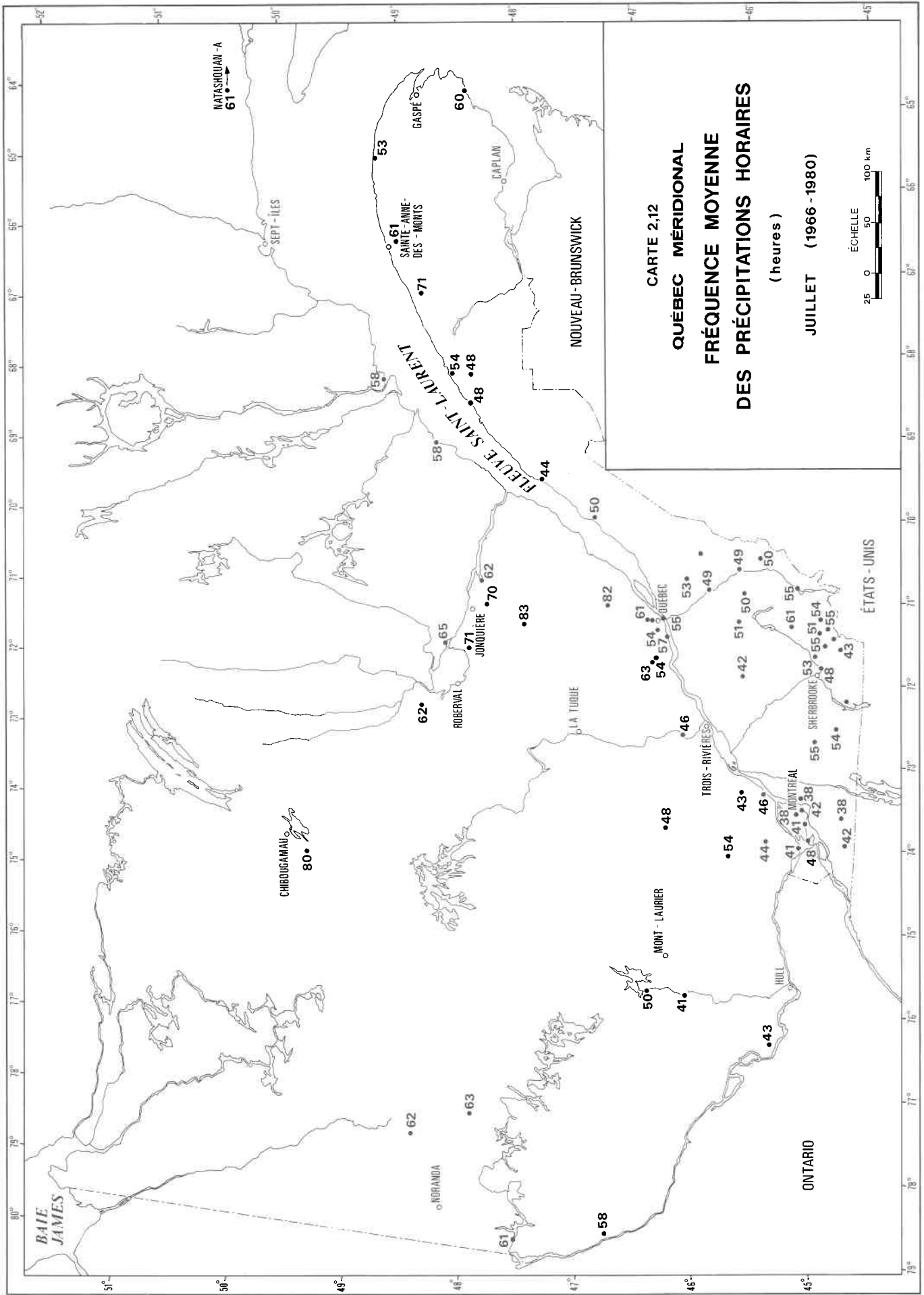
SEPT-ÎLES

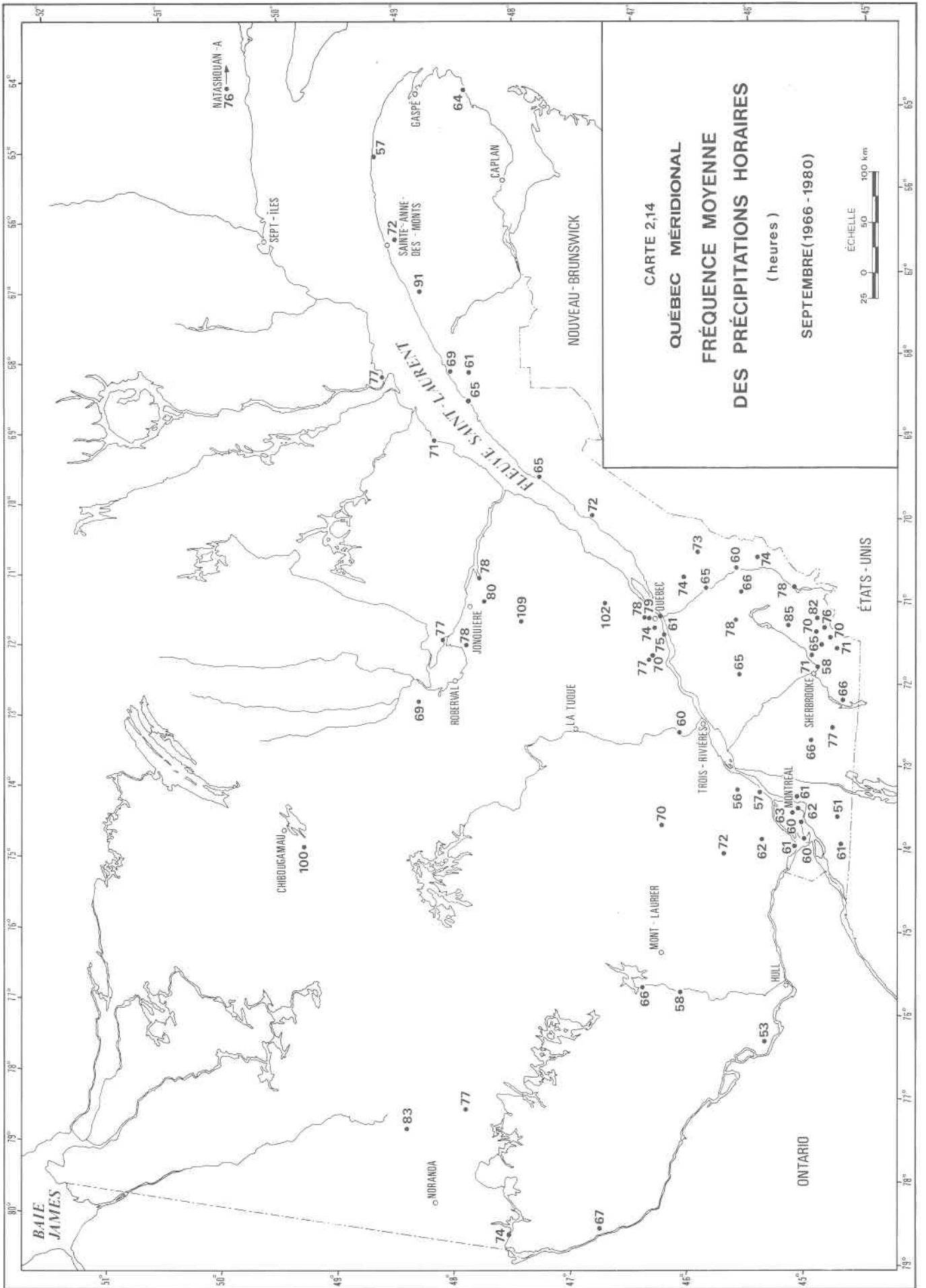
ÉTATS-UNIS

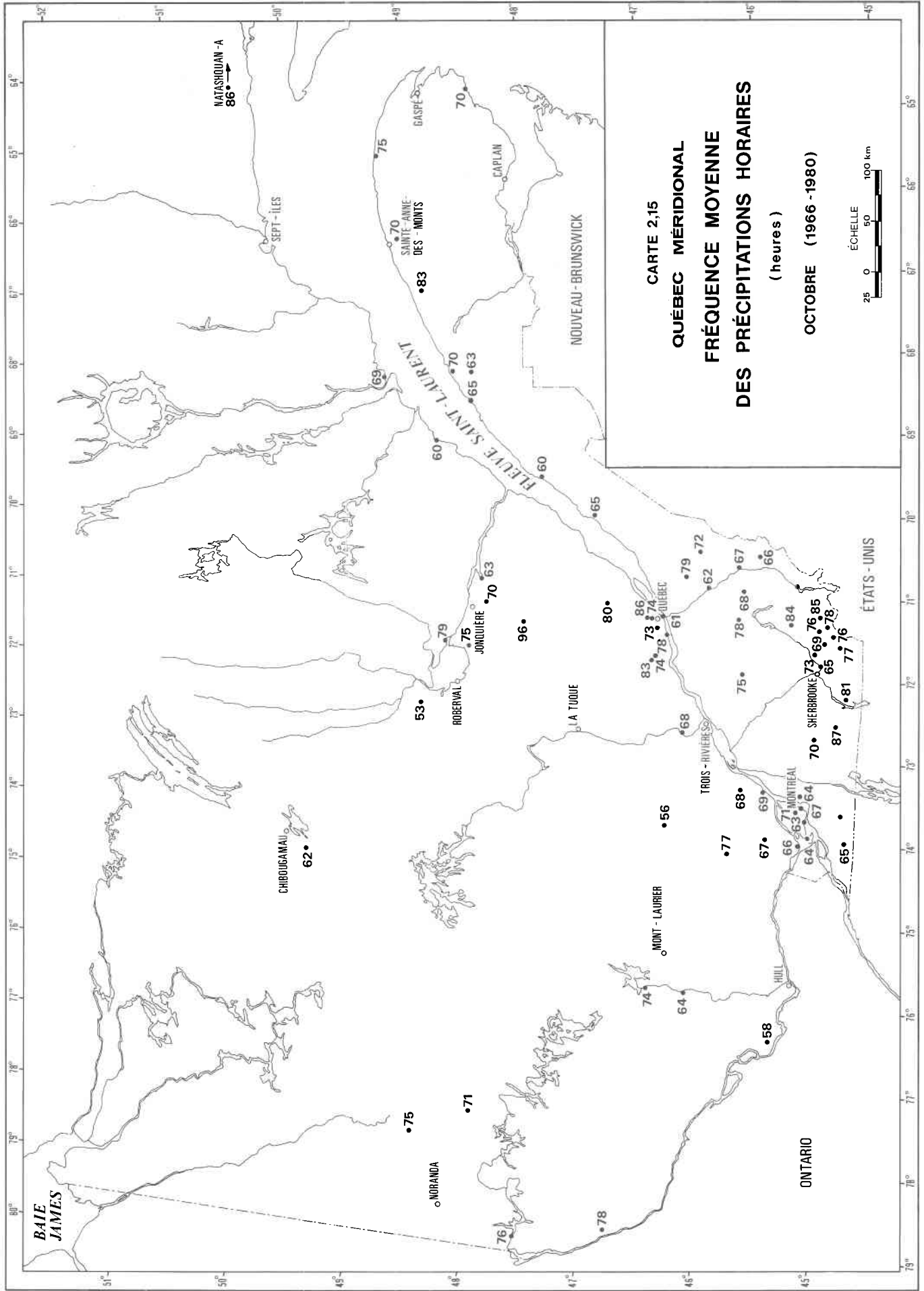
ONTARIO





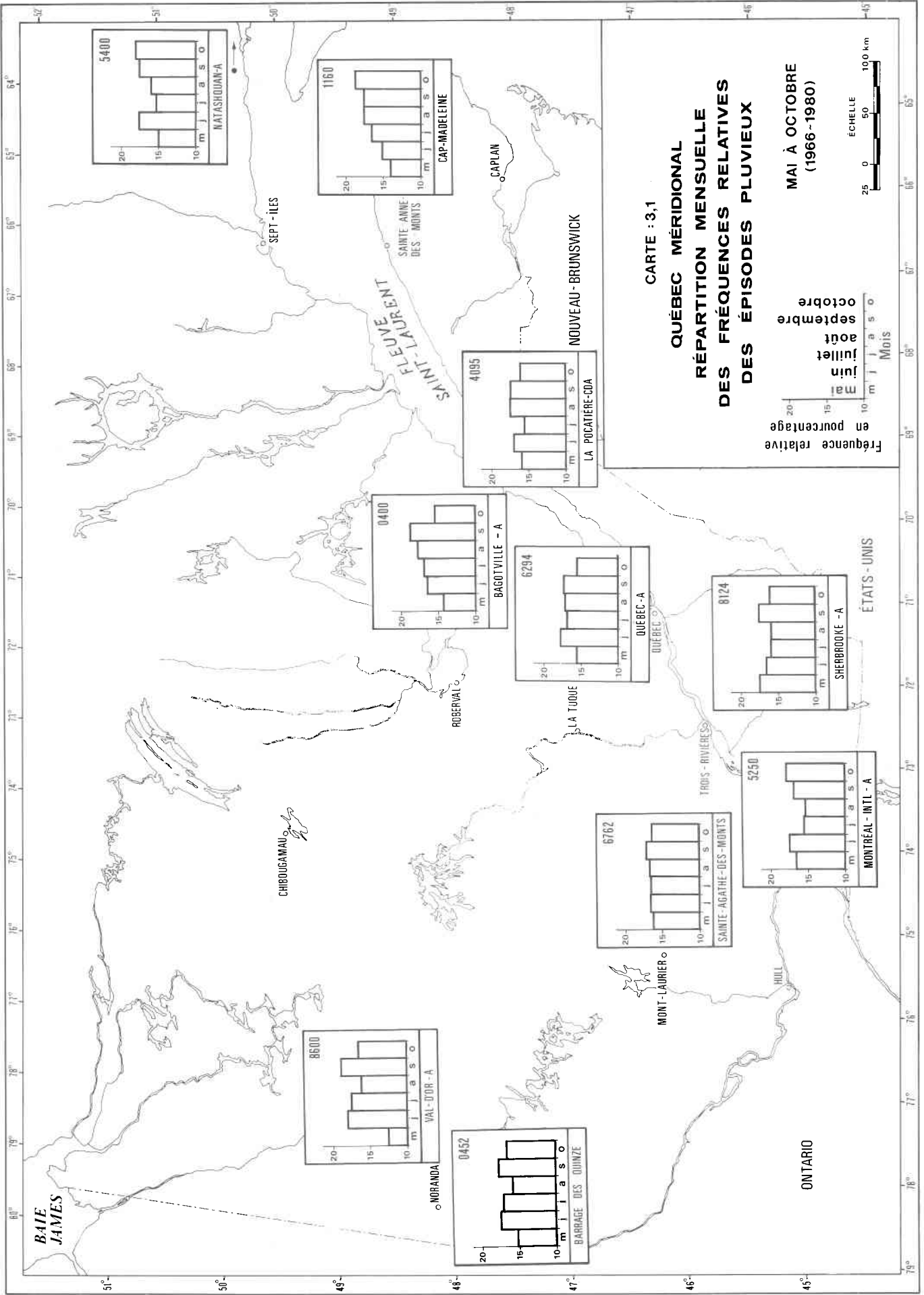


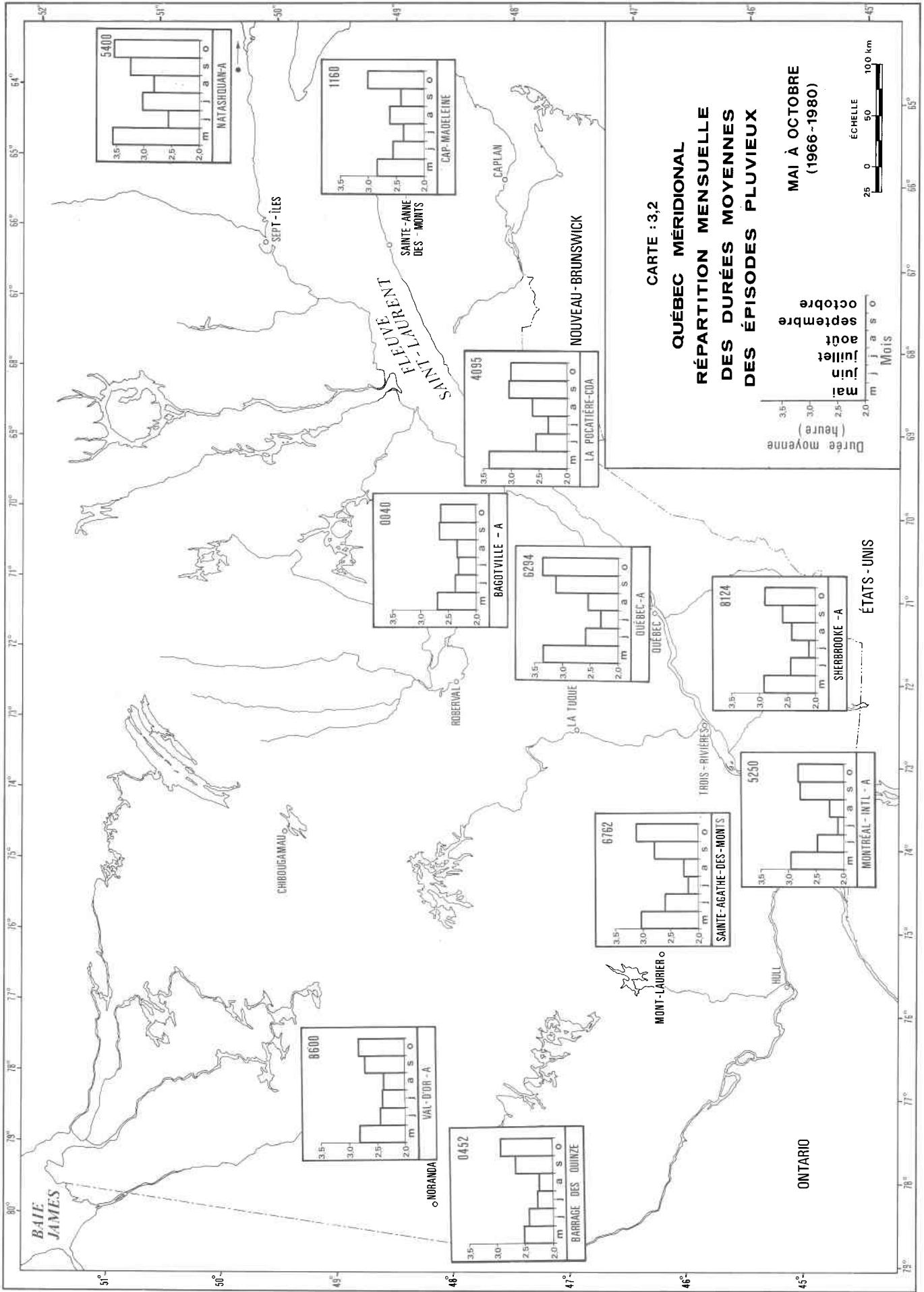


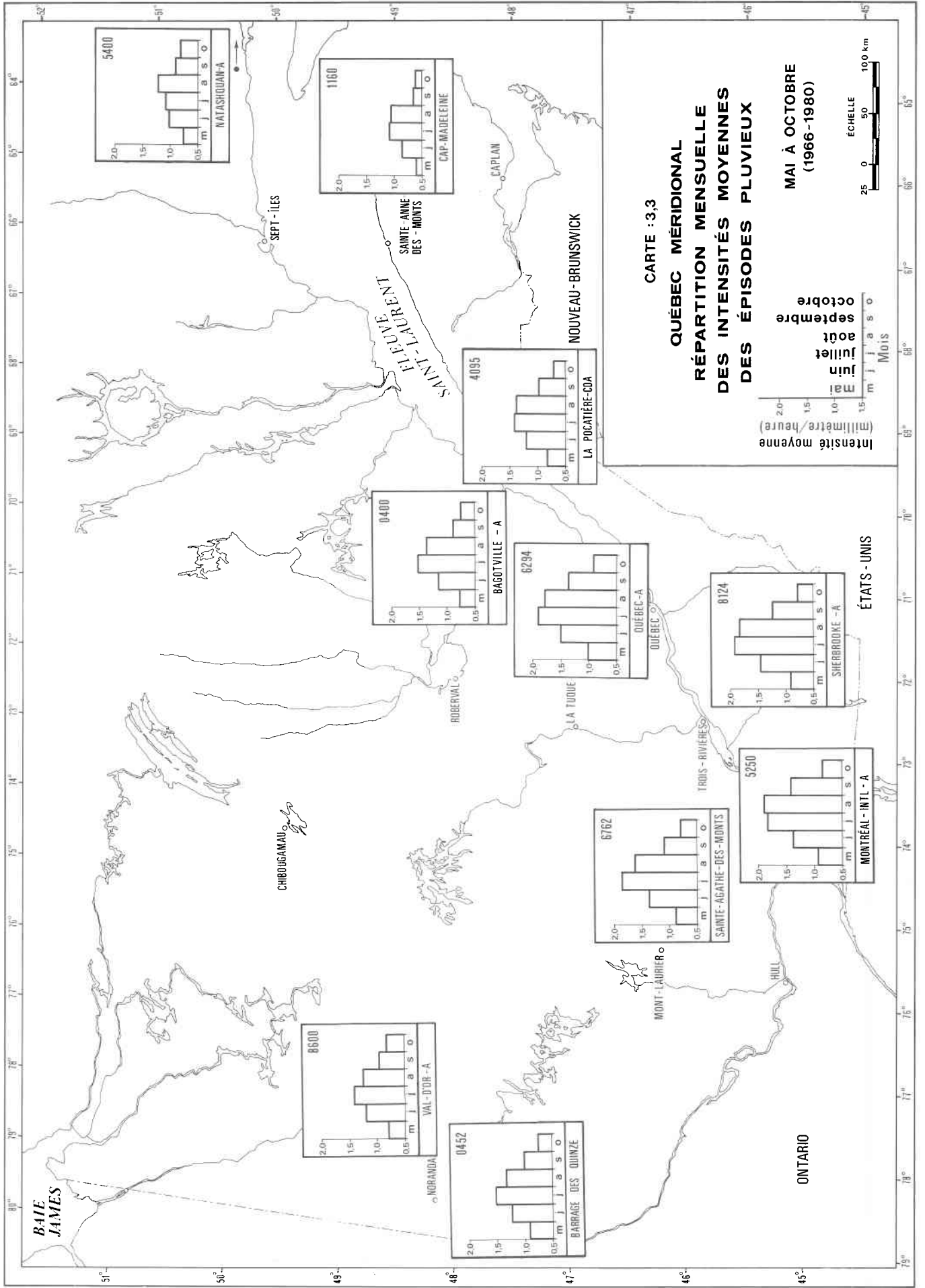


80° 79° 78° 77° 76° 75° 74° 73° 72° 71° 70° 69° 68° 67° 66° 65° 64° 63° 62° 61° 60° 59° 58° 57° 56° 55° 54° 53° 52°

79° 78° 77° 76° 75° 74° 73° 72° 71° 70° 69° 68° 67° 66° 65° 64° 63° 62° 61° 60° 59° 58° 57° 56° 55° 54° 53° 52°







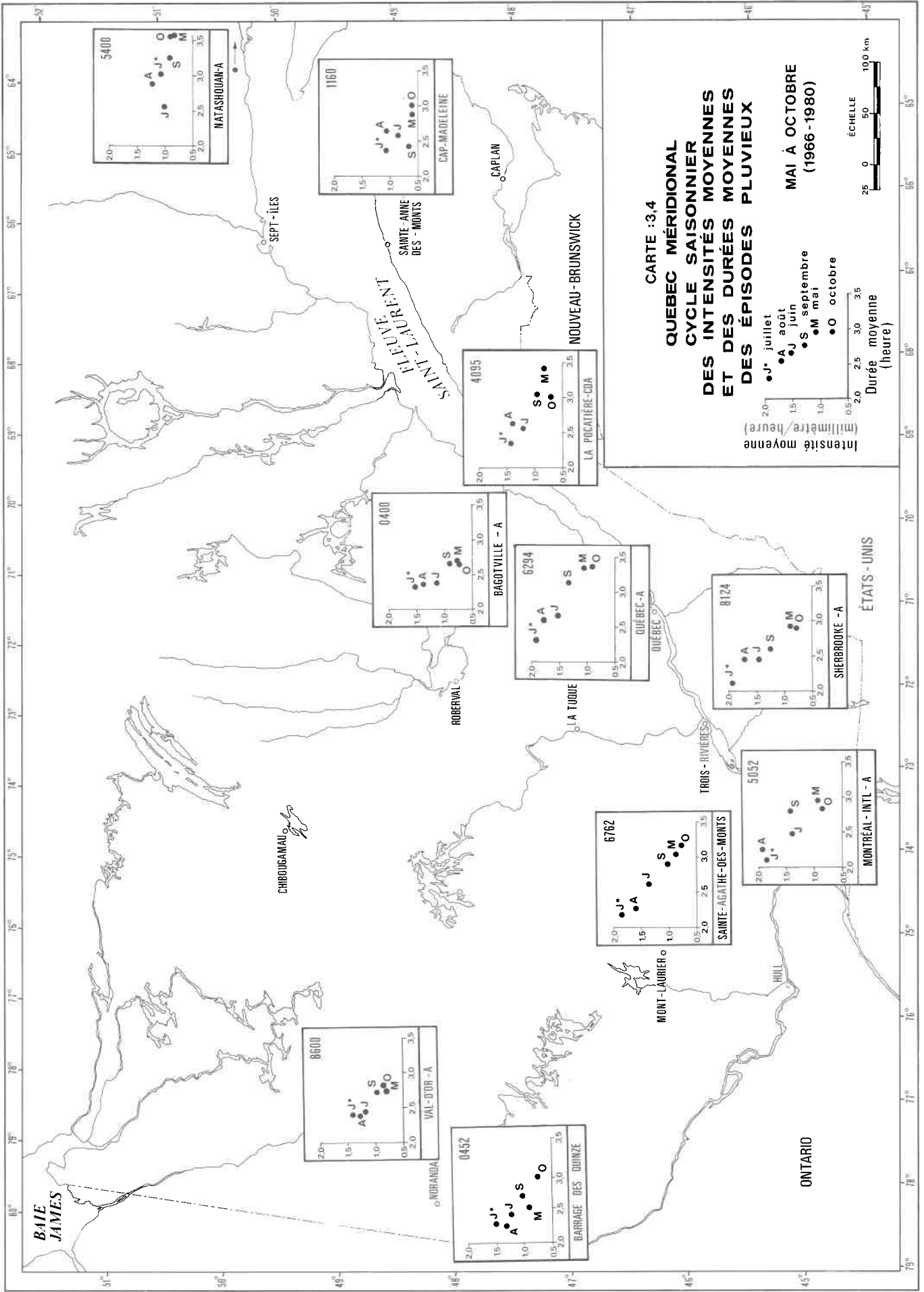


Tableau 3.3 Distribution mensuelle de la contribution à la pluie totale des épisodes pluvieux en fonction de leur durée.

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 ¹																				
Mai		8,76	13,12	10,7,39	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	
Jun		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 ² 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 ¹																				
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	
Jun		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	10,15	
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	5	
Août		7,95	6,92	13,14	7,54	3,85	10,72	3,80	8,37	5,83	3,97	2,25	10	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	5	6,70	1,77	5	5	
Période ² 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	

¹ En pourcentage de la pluie totale mensuelle.

² 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 ¹	Mai	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	5,82	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 ² 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

¹ En pourcentage de la pluie totale mensuelle.

² En pourcentage de la pluie saisonnière.

Tableau D.3 Distribution mensuelle à 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 ¹																			
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	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
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	2,79
Septembre		8,75	9,26	6,80	10,93	6,93	6,89	5,96	1,95	2,48	2,36	17,97	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	7,02	7,29	6,51	1,76	5,8,89	1,06	7,88	0,00	0,00	5,9,93
Période ² 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	5,3,3

B	Durée (heure)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18+
Mois ¹																			
Mai		8,42	8,31	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	20,33	13,56	7,94	9,61	9,26	6,69	2,56	6,58	7,38	0,81	2,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Juillet		15,55	19,43	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
Août		11,96	16,95	10,9,59	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	2,99
Septembre		9,72	12,08	17,54	12,05	5,41	5,64	4,54	2,77	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	8,45	8,28	9,17	3,75	5,17	11,33	0,82	7,68	2,66	3,54	4,36	1,88	4,76	0,00	2,58
Période ² 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

¹ En pourcentage de la pluie totale mensuelle.

² En pourcentage de la pluie saisonnière.

Tableau D.3 Distribution mensuelle à 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 ¹	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	
	Jun	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	5	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	6,39	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	5,94	3,93	1,21	3,81	4,45	1,77	4,34	0,00	1,35	
Période ² 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 ¹	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
	Jun	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	5	4,69	5,38	3,86	3,25	4,85	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	5
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 ² 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

1 En pourcentage de la pluie totale mensuelle.
 2 En pourcentage de la pluie saisonnière.

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

E	Durée (heure)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18+
Mois ¹																			
Mai		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	0,04
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	10,56
Période ² 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)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18+
Mois ¹																			
Mai		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	20,15	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	10,11,90	2,80	1,83	5,05	0,00	0,00	0,00	0,00
Période ² 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

1 En pourcentage de la pluie totale mensuelle.
 2 En pourcentage de la pluie saisonnière.

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

G	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18+
Durée (heure) Mois ¹																		
Mai	7,96 10	19,54	15,14	5,90	11,91 10	7,58	6,52	6,64	3,49	0,00	3,88	5,12	1,94	0,00	0,00	0,00	0,00	4,38
Juin	10,58	21,52	12,75	12,01	7,22	6,64	4,85	6,63	3,50	3,56	5,56	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,18
Juillet	12,82	20,72	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	21,03	10,04	10,89	3,01	9,15	1,34	0,38	6,24	7,27	1,04	0,00	3,04	0,00	0,00	0,00	0,00
Septembre	9,82	9,69	9,82	13,67	5,15	7,80	10,10	2,19	4,69	8,37	2,27	4,29	0,00	0,00	2,42	0,00	4,15	5,57
Octobre	8,74	8,06	7,92	10,33	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 ² 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

¹ En pourcentage de la pluie totale mensuelle.

² En pourcentage de la pluie saisonnière.

MOIS	DUREE (HEURES)										20 ET PL							TOTAL								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17		18	19	20 ET PL					
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	0.32	0.00	0.00	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	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	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7	45.07	25.70	15.14	9.15	1.76	1.06	1.06	0.35	0.35	0.00	0.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8	51.05	20.83	10.49	6.29	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	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9	45.54	17.52	11.78	6.37	5.41	5.41	1.59	2.23	0.64	1.91	0.32	0.00	0.32	0.32	0.00	0.32	0.00	0.32	0.00	0.32	0.00	0.32	0.00	0.32	0.00	0.32
10	45.90	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	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TOTAL	844	387	204	141	80	53	44	25	21	15	7	2	7	4	3	4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

1844

MOIS	DUREE (HEURES)										20 ET PL							TOTAL								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17		18	19	20 ET PL					
5	41.86	19.53	6.98	6.98	2.79	3.72	3.26	2.79	4.65	0.47	2.33	0.47	0.93	0.47	0.00	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47	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	0.79	1.19	0.40	0.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7	41.32	27.31	10.74	5.79	5.79	4.13	1.24	1.65	1.65	2.07	1.24	0.41	0.83	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.83
8	47.58	19.35	10.08	5.65	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	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9	42.34	17.88	8.76	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	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10	42.15	18.39	8.05	5.75	6.51	4.21	0.77	2.30	3.07	1.92	1.92	1.15	0.77	0.77	0.38	0.77	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.15
TOTAL	861	281	141	100	69	58	29	31	32	25	16	12	10	6	4	4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

1492

MOIS	DUREE (HEURES)										20 ET PL							TOTAL								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17		18	19	20 ET PL					
5	42.05	19.70	11.74	8.33	5.30	3.78	2.65	1.89	1.89	0.98	0.00	1.14	0.38	0.38	0.00	0.38	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6	48.02	20.30	11.86	7.18	4.46	2.48	0.98	1.73	0.99	0.25	0.50	0.50	0.00	0.00	0.25	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7	46.57	24.62	9.74	7.44	3.59	1.54	2.56	1.28	0.51	0.51	0.51	0.51	0.00	0.26	0.00	0.00	0.00	0.26	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8	47.66	21.76	11.85	7.44	2.75	2.20	2.20	1.65	1.10	0.55	0.00	0.00	0.28	0.28	0.00	0.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9	48.56	18.27	11.06	6.73	3.85	2.40	1.92	1.88	0.98	0.72	1.44	0.24	1.44	0.24	0.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.24
10	44.74	20.75	7.82	8.36	5.66	3.77	2.16	1.62	1.08	1.35	0.27	0.54	0.54	0.00	0.00	0.27	0.27	0.27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.27
TOTAL	1028	462	235	166	93	58	45	36	23	14	11	10	10	6	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2

2208

MOIS¹

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	66.99	24.27	5.18	2.91	0.00	0.32	0.00	0.00	0.00	0.00	0.32	
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 ²	1162	352	147	68	36	27	16	7	8	5	16	1844

MOIS¹

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	77.67	15.35	5.12	1.40	0.47	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
6	69.44	17.46	7.94	3.57	0.40	0.00	0.40	0.00	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	
8	63.31	18.95	8.47	4.44	1.61	1.21	0.81	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	
10	73.95	17.24	5.36	2.30	1.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
TOTAL ²	1056	261	99	40	18	6	4	3	3	2	1492

MOIS¹

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	17.80	5.30	1.14	0.76	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
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	71.63	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 ²	1503	407	156	62	33	18	12	3	4	3	7	2208

MOIS	DUREE (HEURES)										TOTAL									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		11	12	13	14	15	16	17	18	19
5	40.06	22.36	11.49	4.04	3.73	4.86	3.11	2.17	0.62	1.86	0.31	0.93	1.86	0.62	0.31	0.00	0.62	0.31	0.00	0.93
6	39.95	28.26	12.77	5.98	4.08	2.17	2.45	1.36	1.09	0.00	0.27	0.00	0.27	0.00	0.27	0.54	0.27	0.54	0.27	0.00
7	53.01	17.48	11.17	7.16	2.98	2.87	2.87	1.43	0.00	0.00	0.57	0.00	0.00	0.28	0.57	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8	42.13	26.12	10.96	6.74	4.21	2.83	3.09	0.84	1.69	0.56	0.00	0.56	0.00	0.00	0.28	0.00	0.00	0.28	0.00	0.00
9	43.39	21.55	9.48	6.03	4.02	3.74	2.87	0.86	0.57	0.57	3.16	0.86	0.29	0.29	0.00	0.57	0.57	0.57	0.00	0.57
10	37.26	20.70	11.46	8.28	4.46	3.80	2.55	2.55	2.23	1.59	1.59	0.32	1.27	0.32	1.27	0.00	0.00	0.32	0.00	0.32
TOTAL	879	470	231	131	79	66	58	31	21	15	20	9	12	5	8	3	5	6	1	6

MOIS	DUREE (HEURES)										TOTAL									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		11	12	13	14	15	16	17	18	19
5	47.67	18.18	7.37	7.13	5.85	4.42	1.72	1.72	0.98	0.98	0.98	0.25	0.98	0.49	0.00	0.98	0.25	0.25	0.00	0.25
6	46.51	24.03	9.82	4.91	4.85	3.36	2.07	0.78	1.81	1.55	0.26	0.26	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7	47.85	22.58	14.78	8.33	2.96	1.88	0.54	0.27	0.27	0.00	0.27	0.00	0.27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8	50.27	21.58	7.92	7.38	3.55	2.19	1.64	1.91	1.64	0.82	0.55	0.27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.27
9	48.28	21.32	12.01	4.90	2.70	2.21	2.21	1.47	1.23	0.98	0.25	0.74	0.49	0.25	0.00	0.49	0.25	0.25	0.00	0.25
10	47.59	18.18	9.09	6.95	4.85	2.94	1.07	1.87	2.94	0.27	1.87	0.53	0.53	0.53	0.27	0.53	0.00	0.27	0.00	0.27
TOTAL	1111	485	235	152	93	66	36	31	34	19	15	9	8	5	1	8	2	4	2	4

MOIS	DUREE (HEURES)										TOTAL									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		11	12	13	14	15	16	17	18	19
5	44.01	16.17	11.88	9.88	4.19	4.19	2.10	2.59	0.60	0.90	0.00	0.60	0.30	0.60	0.30	0.60	0.60	0.00	0.30	0.30
6	46.03	23.84	10.68	4.93	4.86	4.86	0.00	1.37	0.27	0.82	0.55	0.27	0.55	0.27	0.27	0.00	0.00	0.27	0.27	0.27
7	48.79	25.74	11.53	4.83	3.49	1.88	1.07	1.34	0.27	0.00	0.00	0.27	0.27	0.00	0.54	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8	53.95	20.11	10.46	5.09	3.49	2.68	1.34	1.61	0.00	0.27	0.27	0.54	0.27	0.27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.27
9	44.92	19.79	11.50	6.42	5.08	3.48	1.14	3.21	1.07	0.80	0.00	0.00	0.53	0.00	0.00	0.27	0.27	0.00	0.53	0.00
10	44.51	17.31	9.07	7.14	3.57	4.12	4.95	2.20	2.20	1.37	0.82	0.27	0.55	0.82	0.27	0.55	0.00	0.27	0.00	0.00
TOTAL	1026	449	236	138	89	76	39	45	16	15	9	7	9	7	5	5	3	2	4	3

MOIS	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	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	0.47	0.93
6	48.76	22.31	9.97	5.37	3.72	2.89	1.65	1.65	0.93	0.41	0.41	0.41	0.41	0.00	0.41	0.00	0.00	0.00	0.00	0.83
7	48.68	20.86	12.91	7.62	2.32	1.66	1.99	1.32	1.32	0.39	0.00	0.00	0.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.33
8	43.71	22.33	11.01	8.49	5.03	3.46	2.20	0.63	0.94	0.00	0.31	0.31	0.31	0.31	0.00	0.31	0.31	0.00	0.31	0.31
9	49.23	19.81	12.69	4.64	4.64	4.33	1.86	0.31	0.93	0.62	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.31	0.31	0.31	0.31
10	48.68	16.78	7.89	8.55	5.26	2.36	1.97	1.97	1.32	0.00	0.66	1.32	0.66	0.00	0.66	0.00	0.66	0.00	0.00	0.66
TOTAL	817	339	181	125	74	52	32	20	18	5	6	7	7	7	2	3	1	5	1	9

1704

MOIS	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	41.14	18.04	11.08	8.54	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	23.57	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	0.28	0.28	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	2.87	0.37	0.37	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	1.56	0.62	0.00	0.00	0.00	0.31	0.00	0.31	0.62	0.62
TOTAL	910	388	218	148	83	55	47	38	19	26	12	12	3	3	2	6	2	2	2	8

1992

MOIS	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	47.40	19.16	10.09	7.79	3.25	3.90	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	0.53	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	2.62	0.79	1.57	0.26	0.52	0.52	0.79	0.00	0.00	0.00	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00
8	47.42	24.82	12.53	3.44	3.69	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	18.71	9.99	7.43	6.47	2.88	2.40	1.44	1.20	0.00	0.00	0.96	0.48	0.00	0.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.48
10	46.73	21.43	10.42	5.95	5.06	2.08	0.89	1.19	1.48	1.48	2.08	0.30	0.30	0.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TOTAL	1070	481	242	131	95	61	35	28	20	12	14	13	4	4	2	3	1	1	1	6

2224

MOIS	DUREE (HEURES)										20 ET PL			TOTAL								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13		14	15	16	17	18	19	US	
5	46.38	23.83	11.06	3.40	5.53	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	0.00	0.43	0.00	
6	48.35	22.67	10.17	6.40	4.36	2.09	0.87	1.74	1.16	0.29	1.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.29	0.00	0.00	0.29	
7	48.85	22.13	12.64	5.75	3.45	2.59	1.72	0.57	0.86	0.54	0.57	0.00	0.00	0.29	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
8	51.57	21.37	12.54	4.27	3.13	1.42	2.28	0.57	0.28	1.42	0.87	0.28	0.00	0.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
9	49.51	18.05	10.98	6.83	2.58	2.58	3.41	0.49	1.46	1.46	0.49	0.73	0.00	0.00	0.00	0.49	0.00	0.24	0.00	0.00	0.45	
10	49.09	15.85	9.56	6.28	5.19	3.55	3.81	2.19	1.37	0.82	0.85	0.55	0.00	0.55	0.55	0.27	0.55	0.27	0.00	0.00	0.00	
TOTAL 1	1006	418	229	116	81	51	51	23	22	17	13	8	1	4	4	4	1	3	2	1	3	
TOTAL 2																						

MOIS¹

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 ²	1212	428	184	84	48	35	20	13	4	7	22	2057

MOIS¹

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 ²	1472	434	169	92	43	33	21	19	9	2	20	2314

MOIS¹

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 ²	1415	385	178	87	38	24	18	8	14	4	12	2183

MOIS¹

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 ²	1344	227	68	30	12	8	7	4	2	2	1704

MOIS¹

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	75.00	17.72	4.75	1.27	0.95	0.00	0.32	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	
7	57.01	20.06	12.10	5.10	1.91	0.64	0.32	1.59	0.64	0.32	
8	61.65	19.32	7.10	4.55	2.84	0.57	1.70	0.57	0.57	0.28	
9	71.14	16.00	8.29	2.57	0.86	0.86	0.00	0.00	0.29	0.00	
10	79.44	14.64	4.05	1.56	0.31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
TOTAL ²	1368	348	140	61	31	10	10	8	8	3	1992

MOIS¹

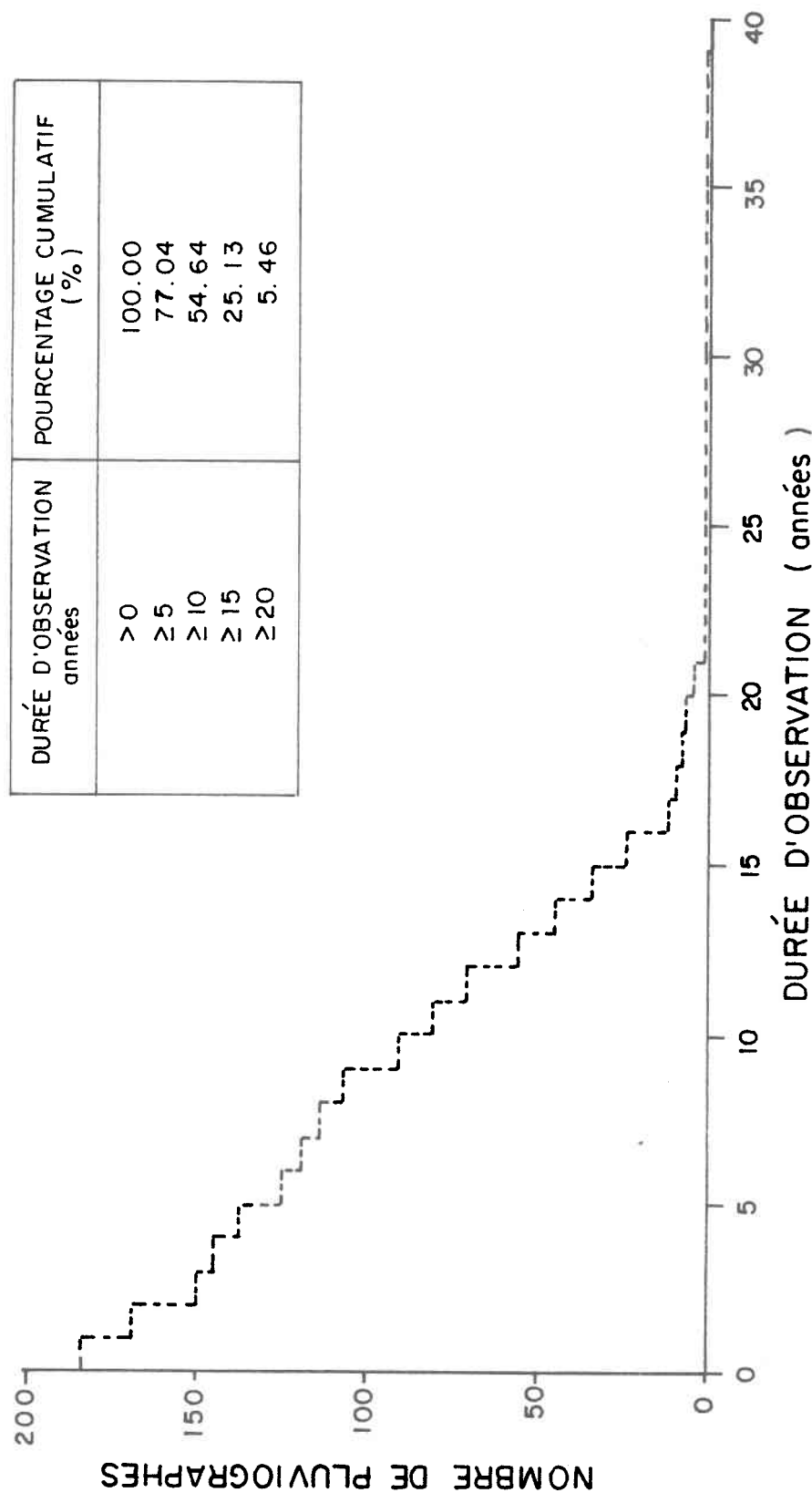
INTENSITE MOYENNE (MM/H)

	> 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	75.32	18.83	5.19	0.65	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	
7	55.76	24.08	8.12	4.71	2.09	1.05	1.05	0.79	0.26	1.31	
8	58.48	21.13	10.07	4.42	2.95	0.49	0.74	0.00	0.25	0.49	
9	71.94	18.71	6.00	2.16	0.96	0.24	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	
TOTAL ²	1486	453	158	54	31	10	9	3	3	7	2224

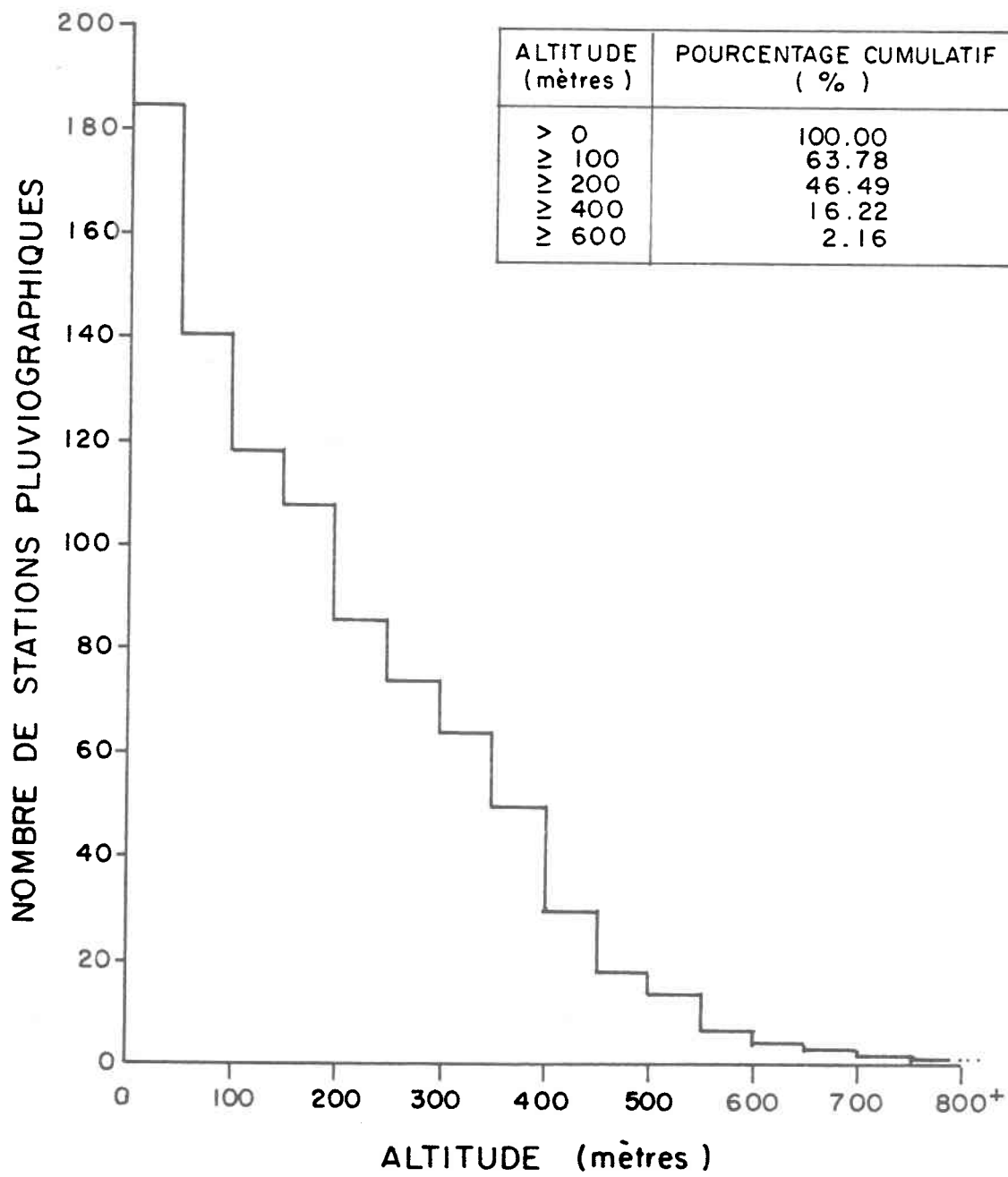
MOIS 1

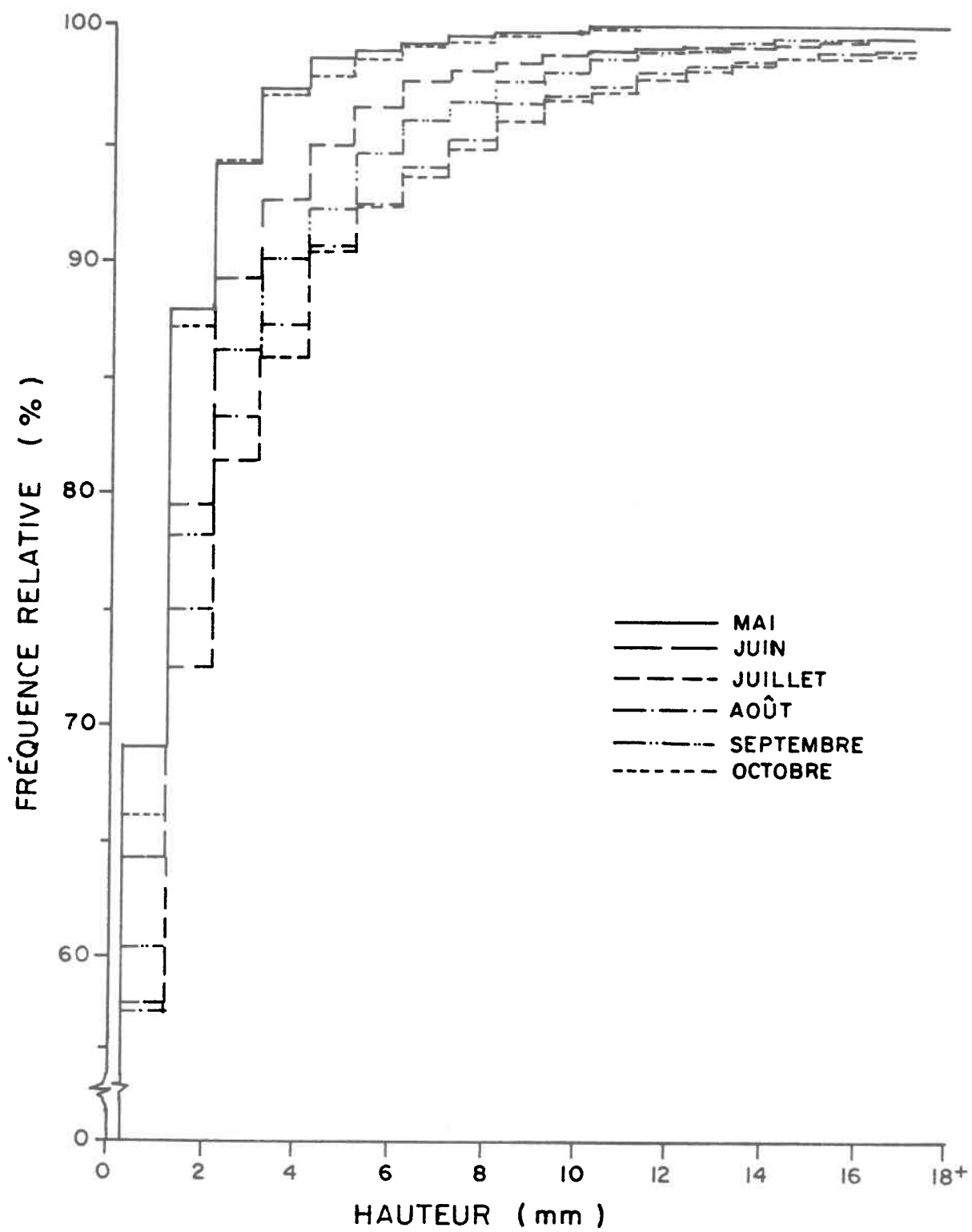
INTENSITE MOYENNE (MM/H)

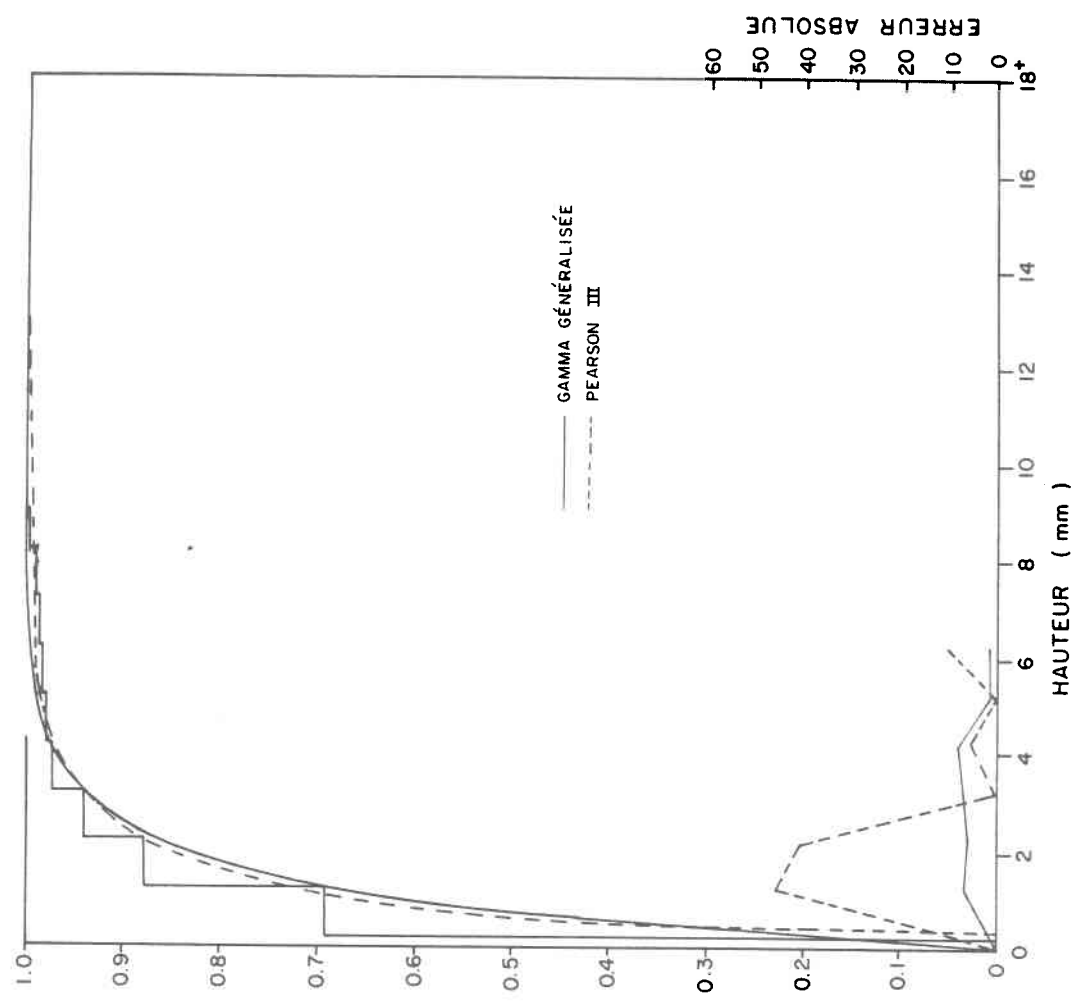
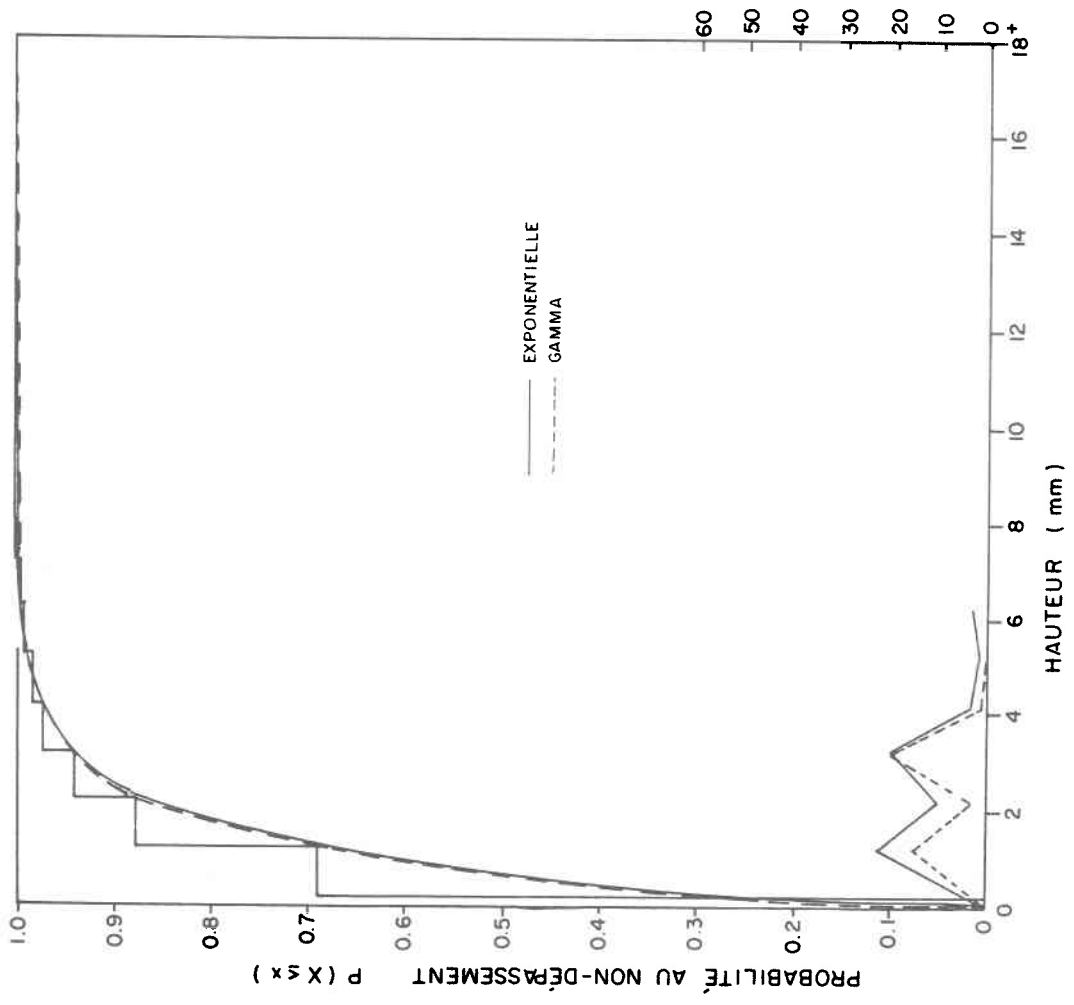
	> 0 A <= 1,0	> 1,0 A <= 2,0	> 2,0 A <= 3,0	> 3,0 A <= 4,0	> 4,0 A <= 5,0	> 5,0 A <= 6,0	> 6,0 A <= 7,0	> 7,0 A <= 8,0	> 8,0 A <= 9,0	> 9,0 A <= 10,0	10,0 ET PLUS	TOTAL
5	76.60	14.47	3.40	2.55	1.28	0.85	0.00	0.00	0.00	0.85	0.00	
6	66.57	16.57	7.27	4.07	2.91	0.29	0.87	0.58	0.29	0.00	0.58	
7	59.77	18.10	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 2	1412	343	131	73	39	20	9	12	3	4	8	2054

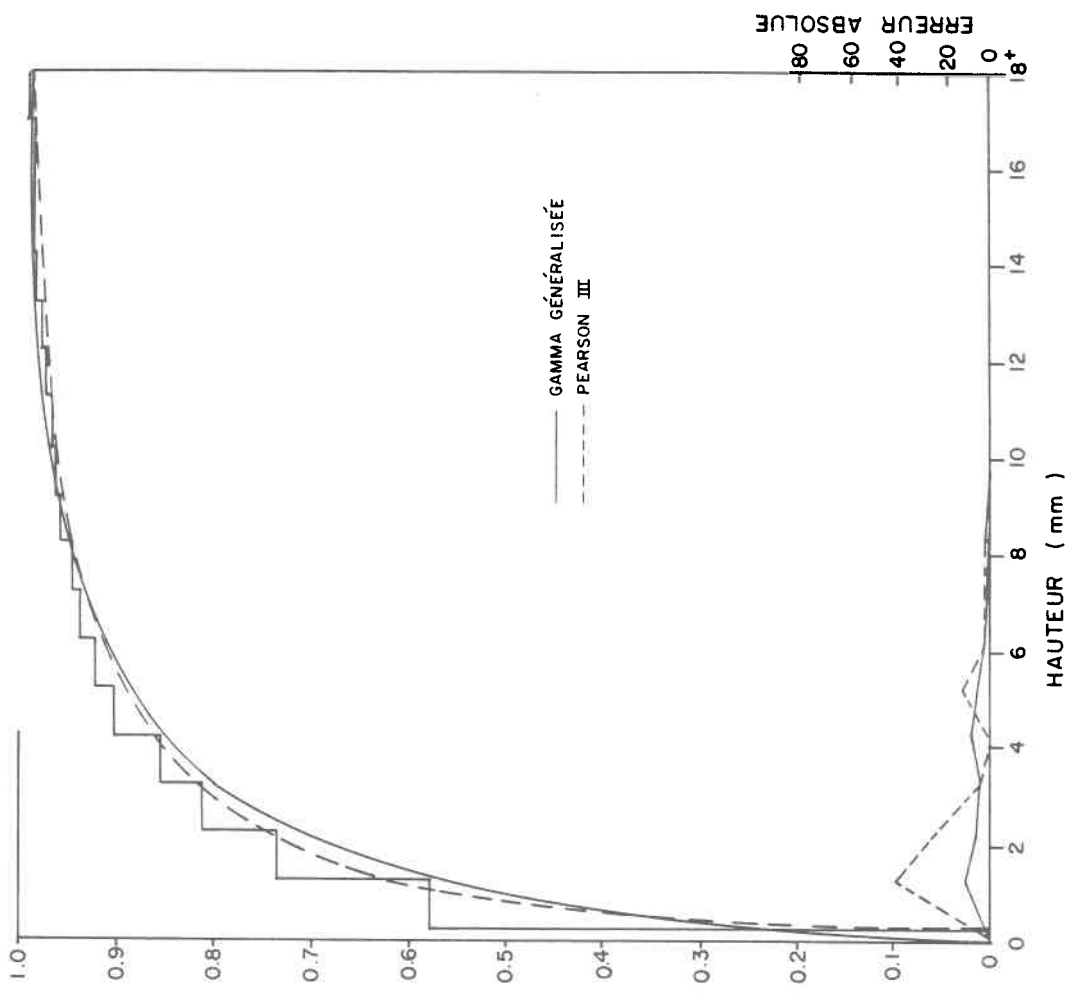
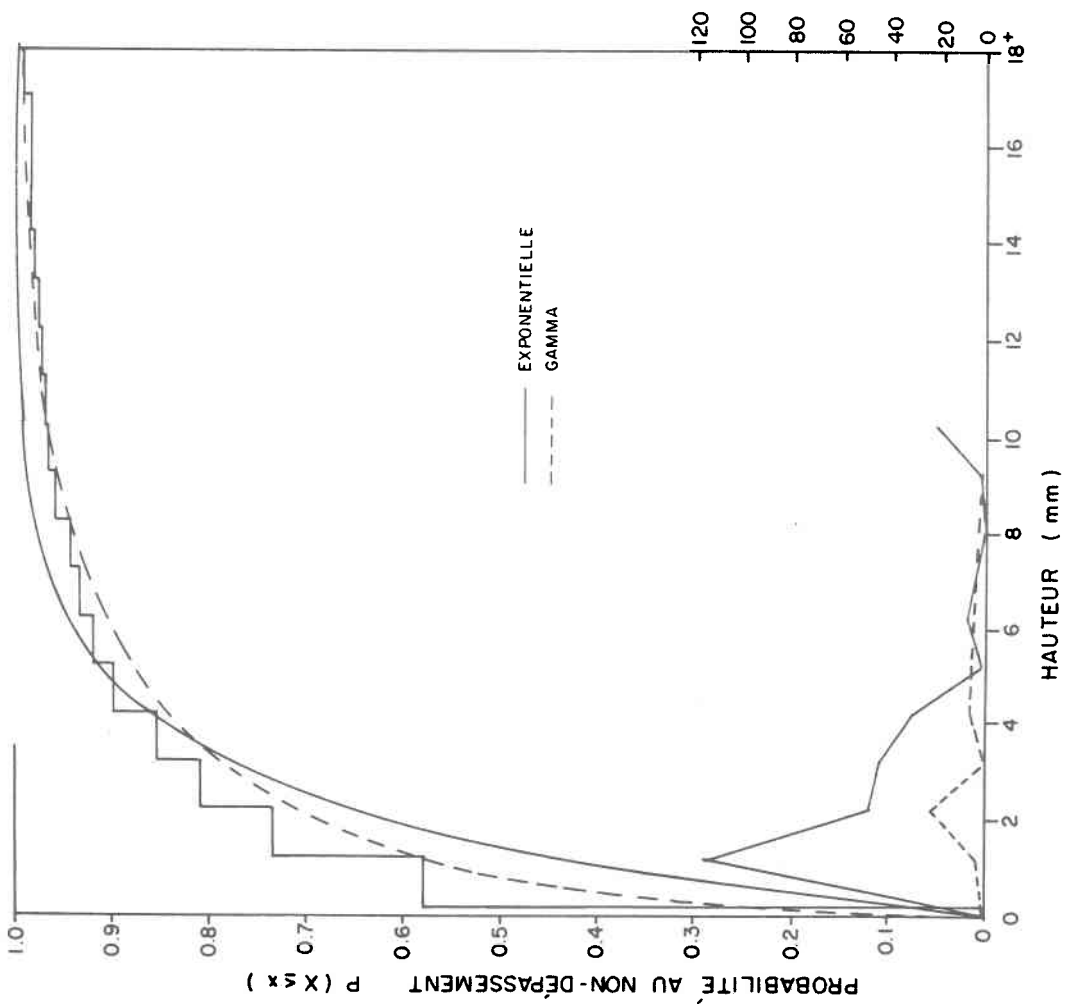


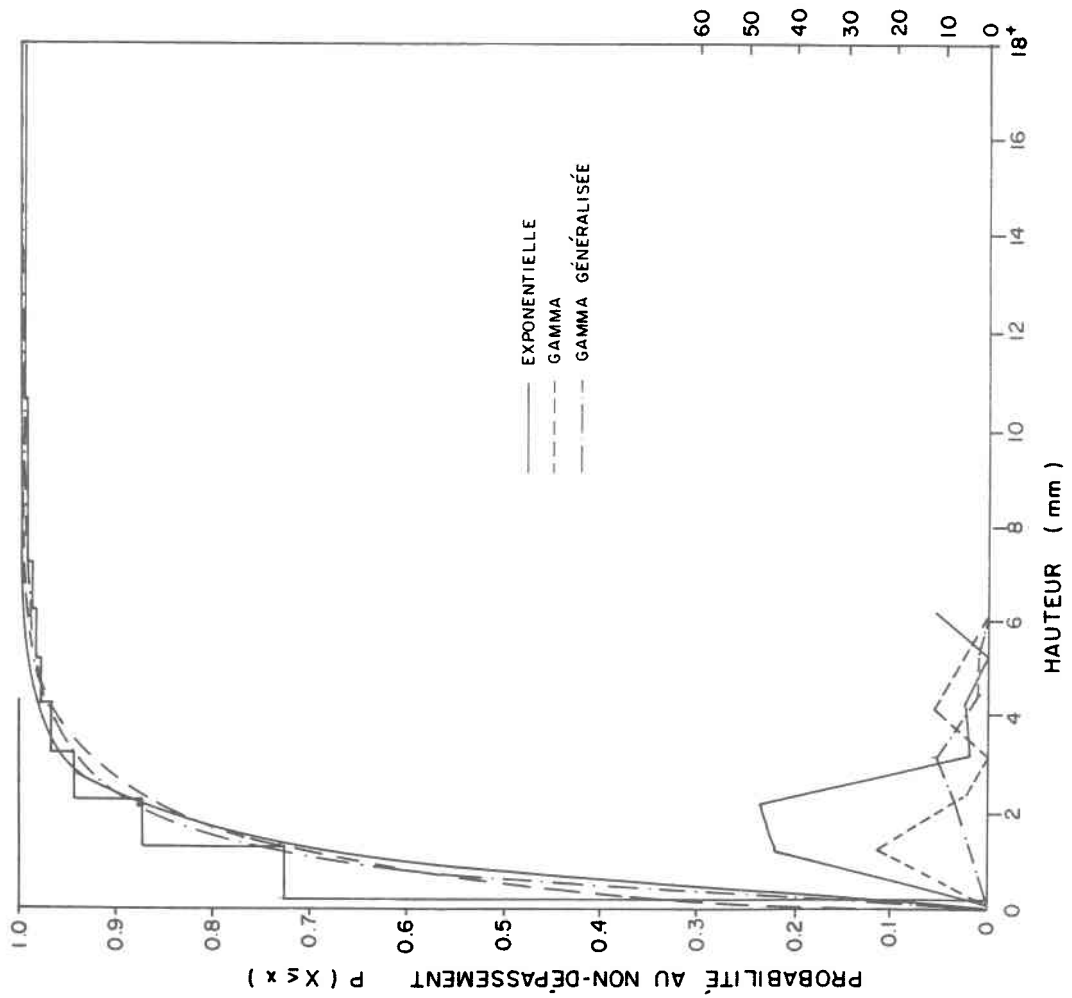
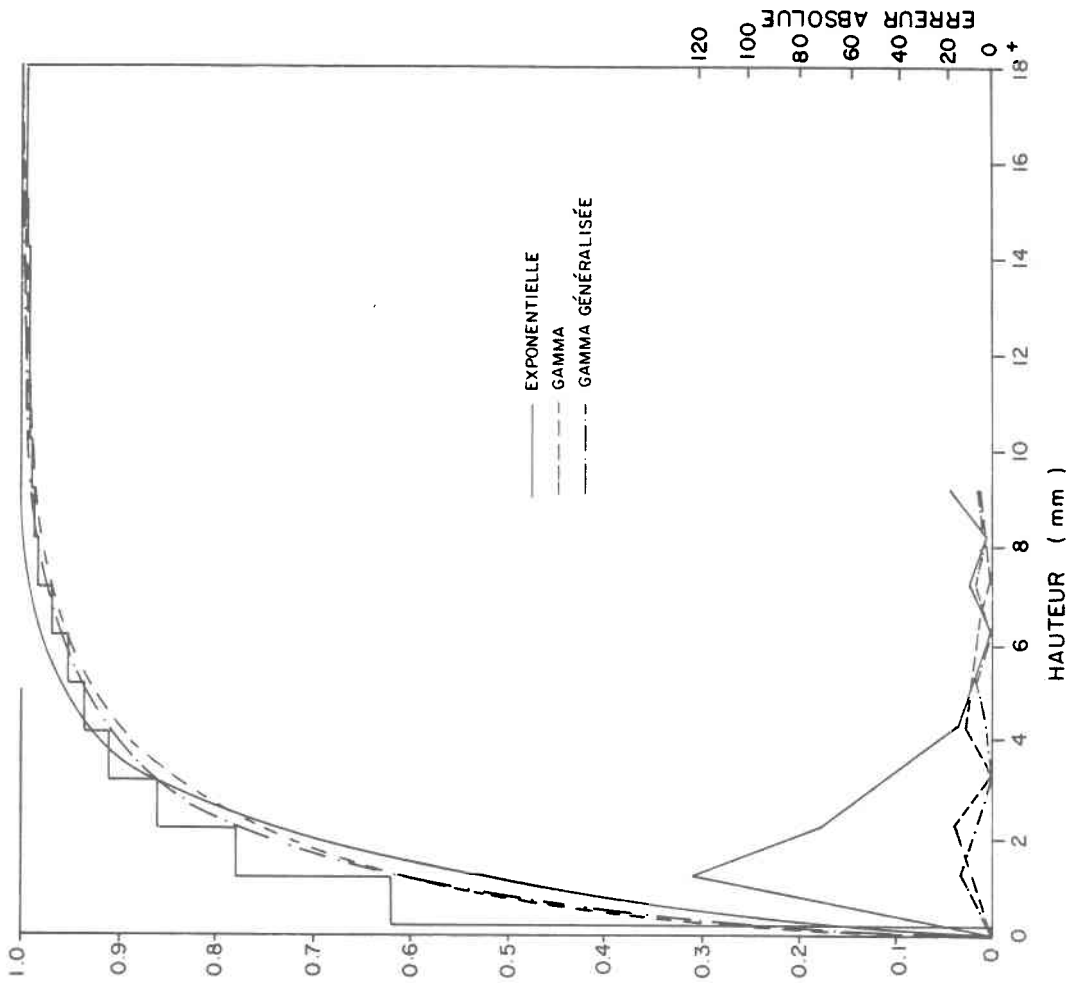
DURÉE D'OBSERVATION années	POURCENTAGE CUMULATIF (%)
> 0	100.00
≥ 5	77.04
≥ 10	54.64
≥ 15	25.13
≥ 20	5.46

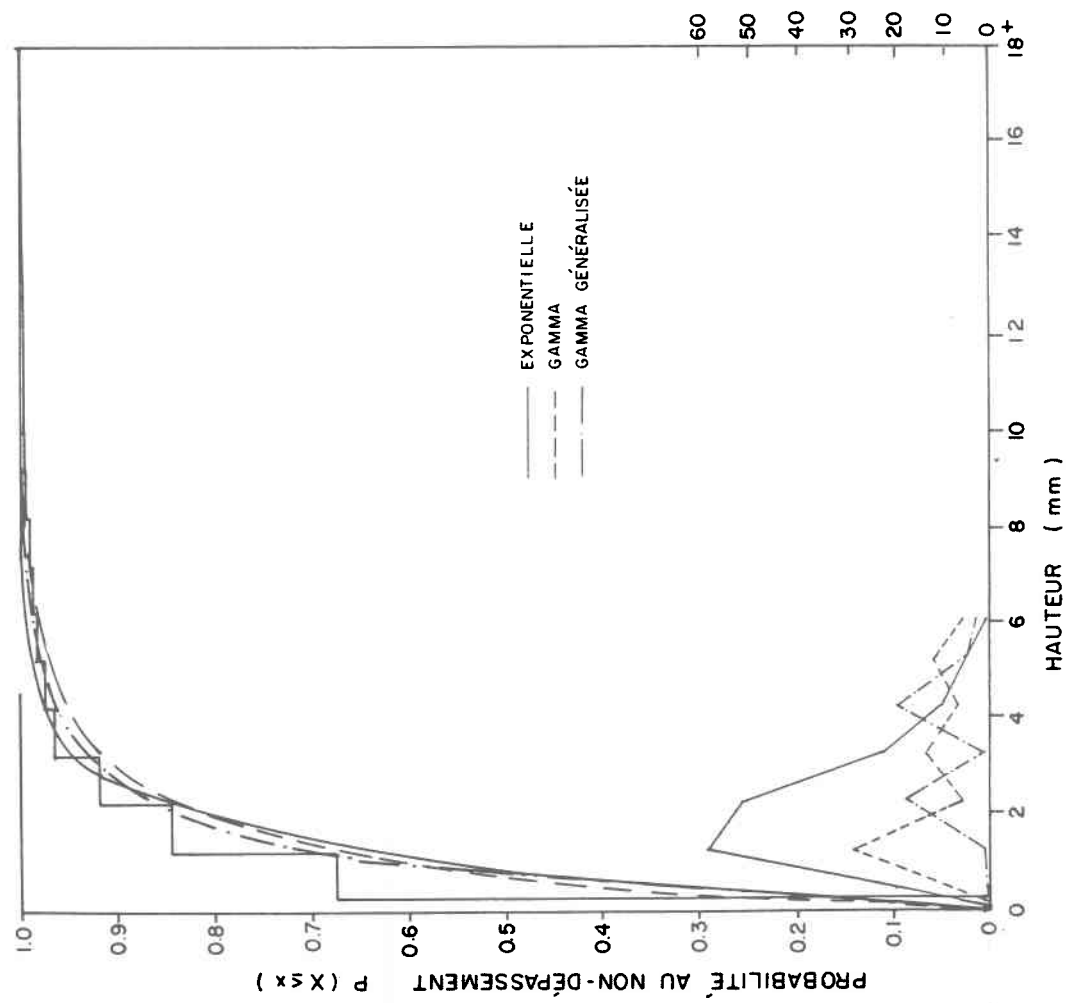
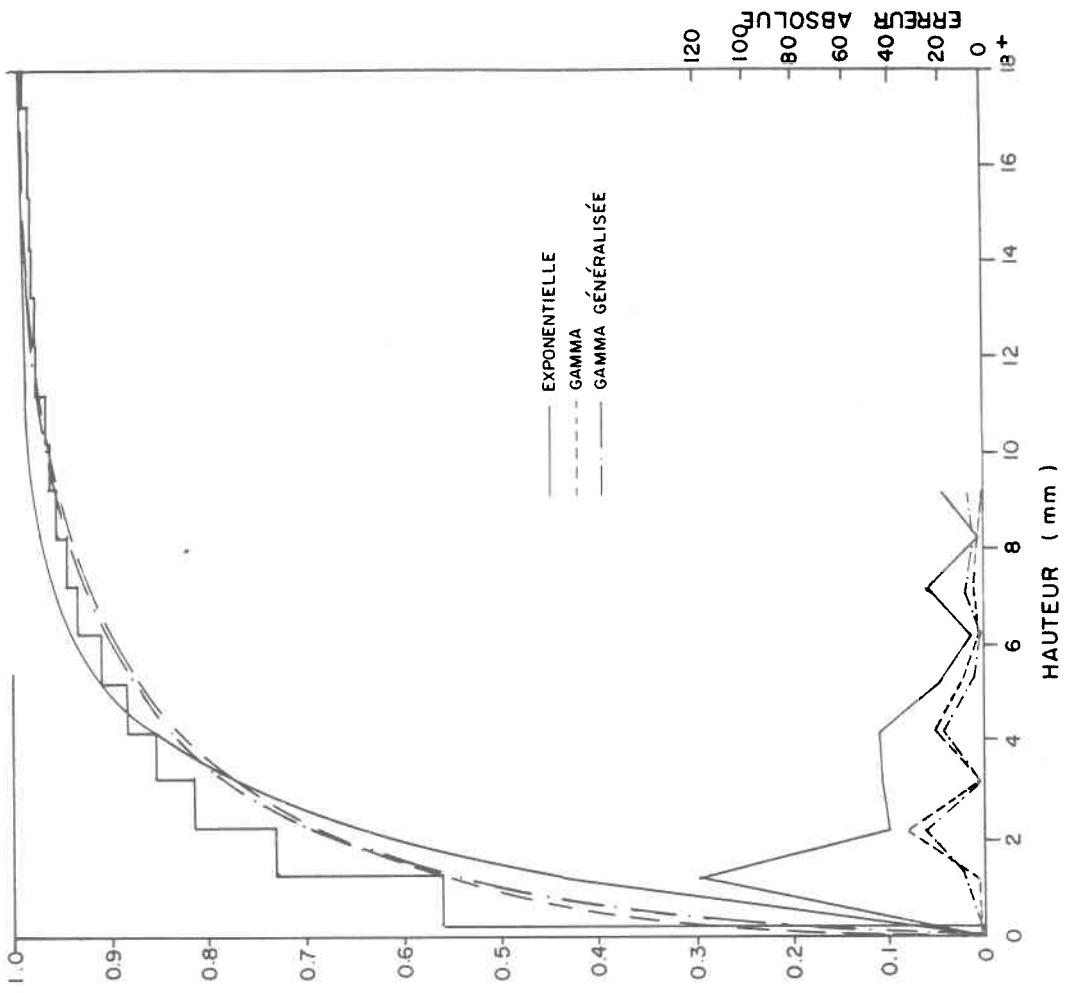


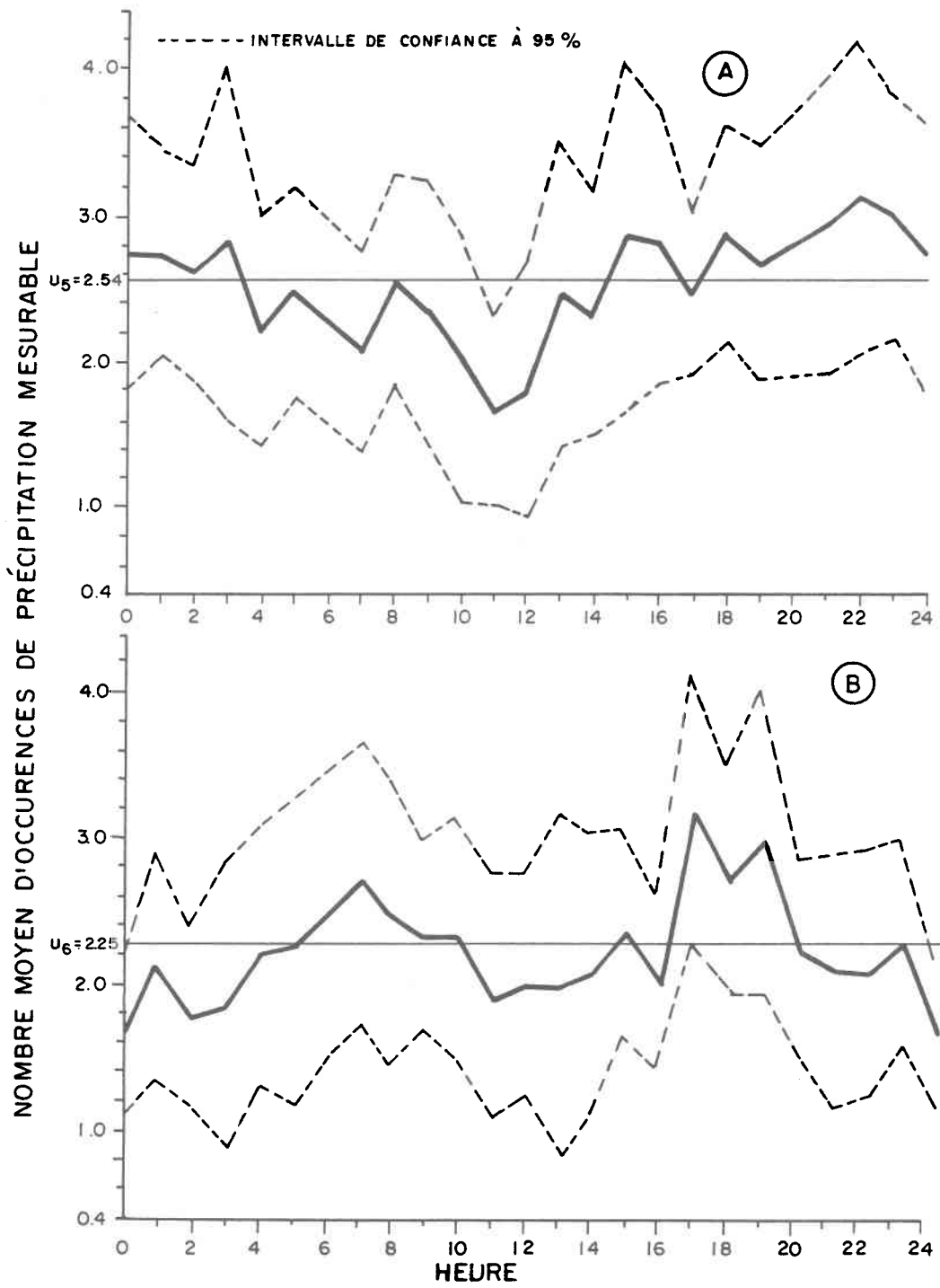


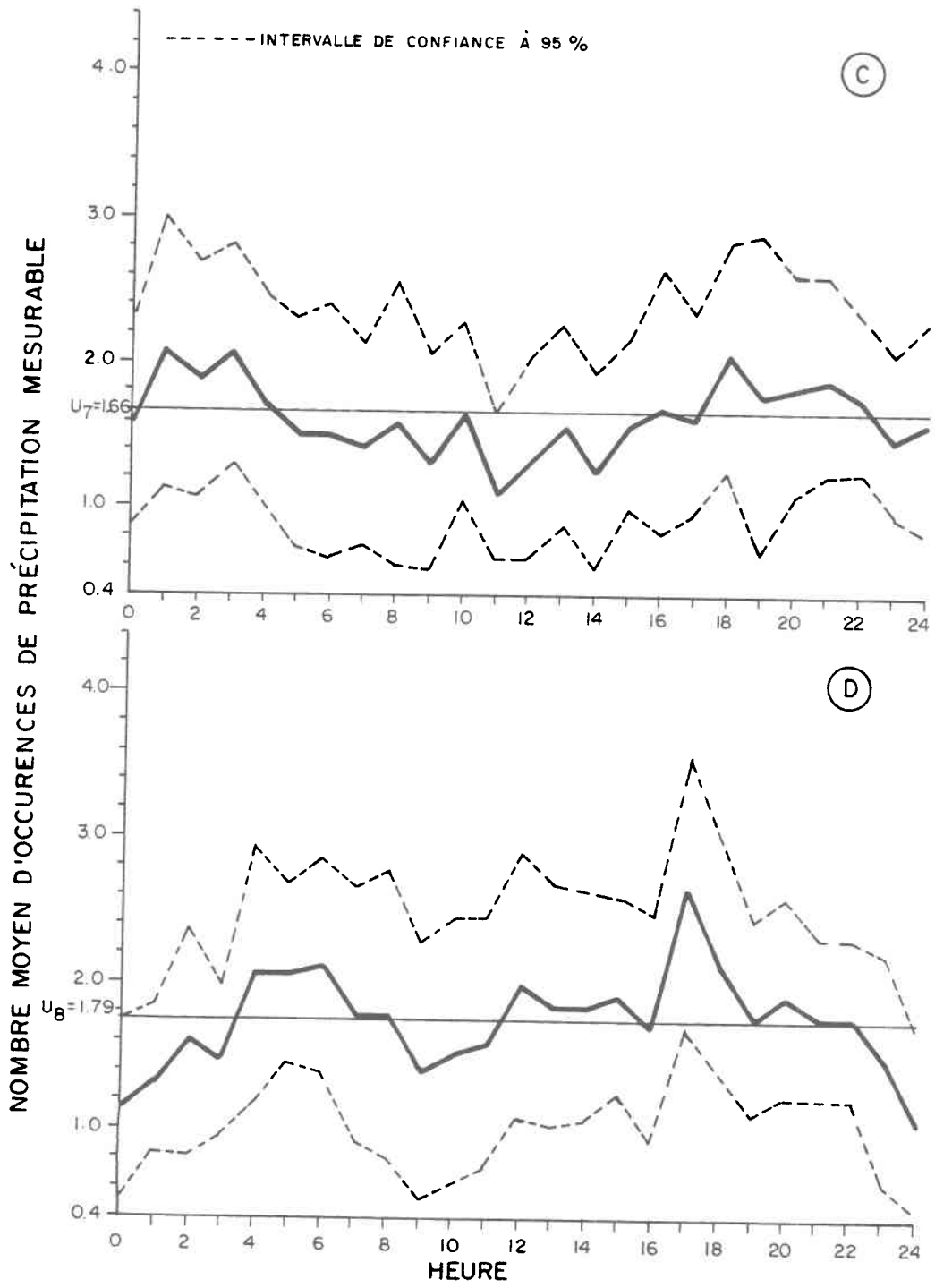


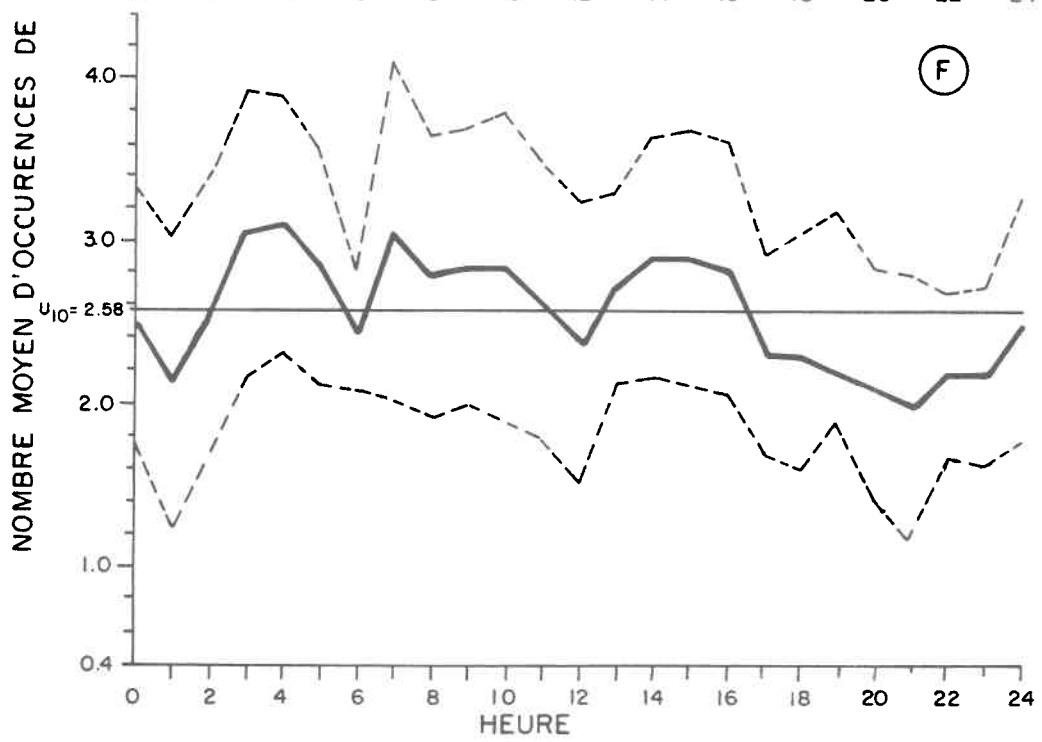
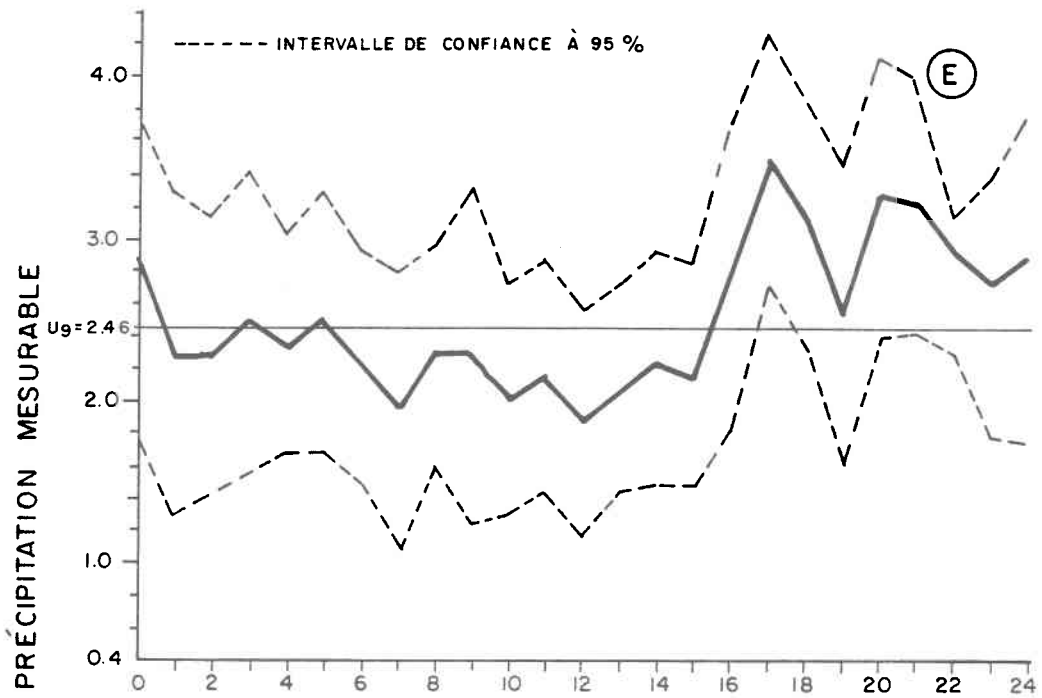


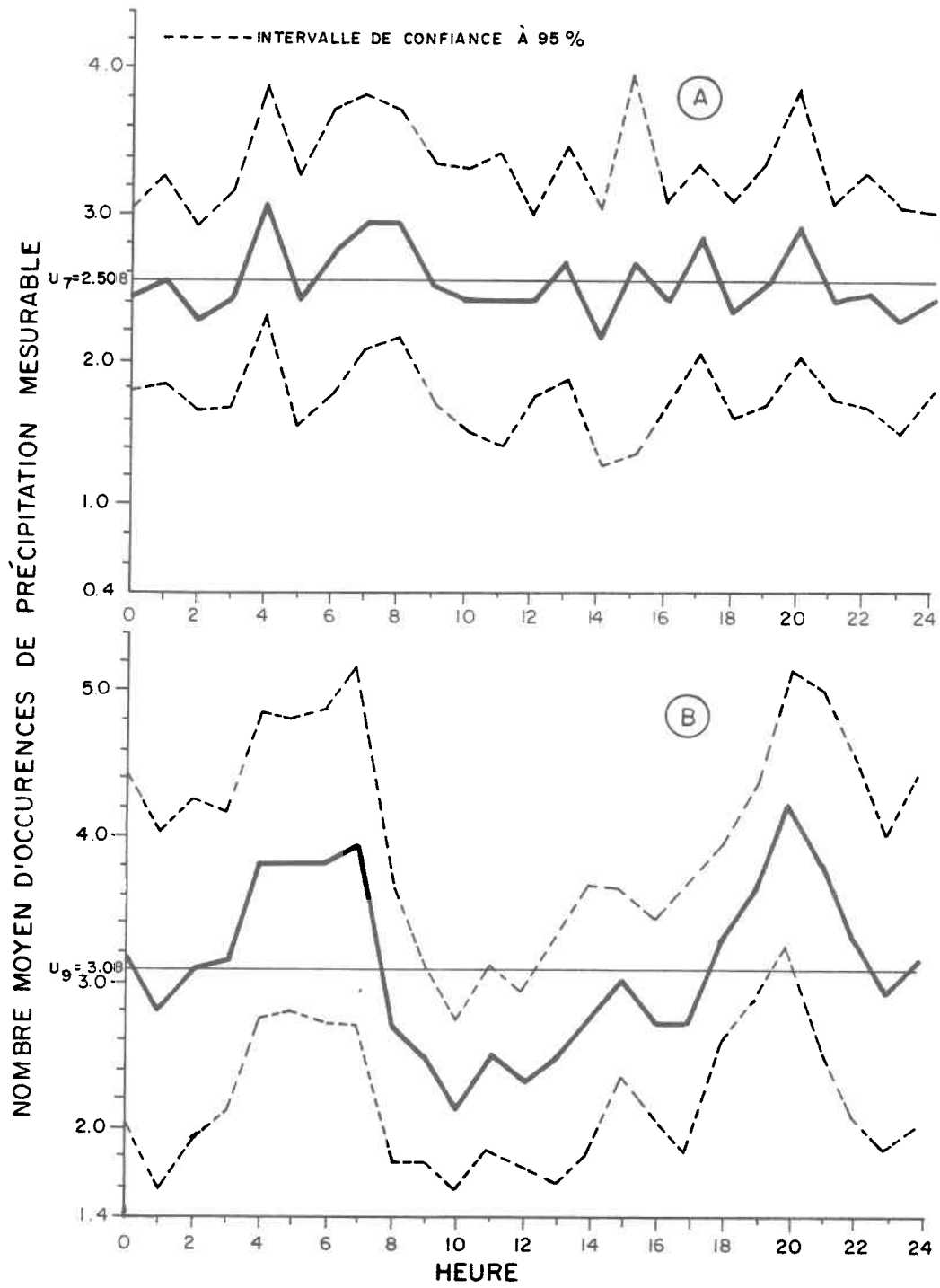


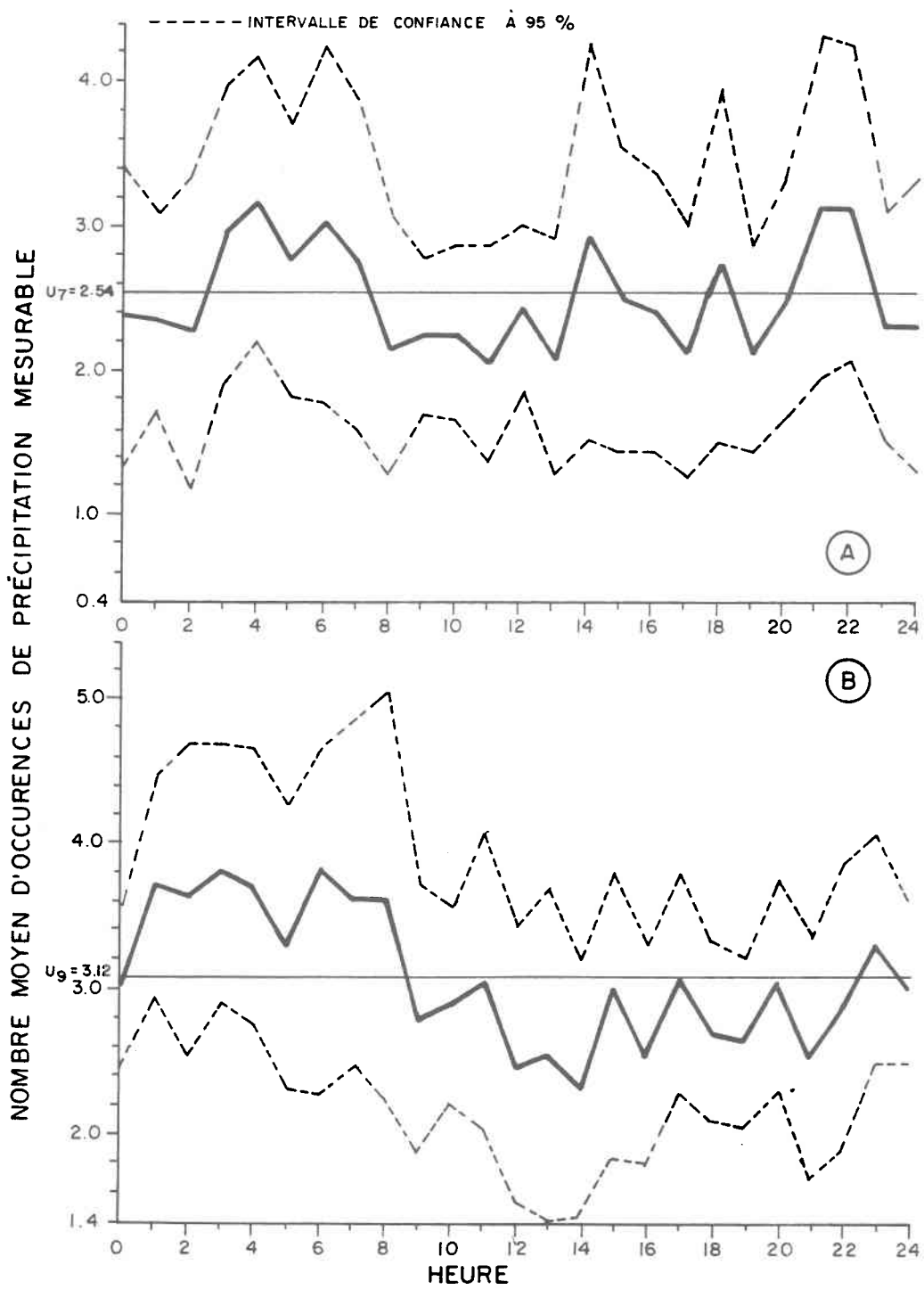


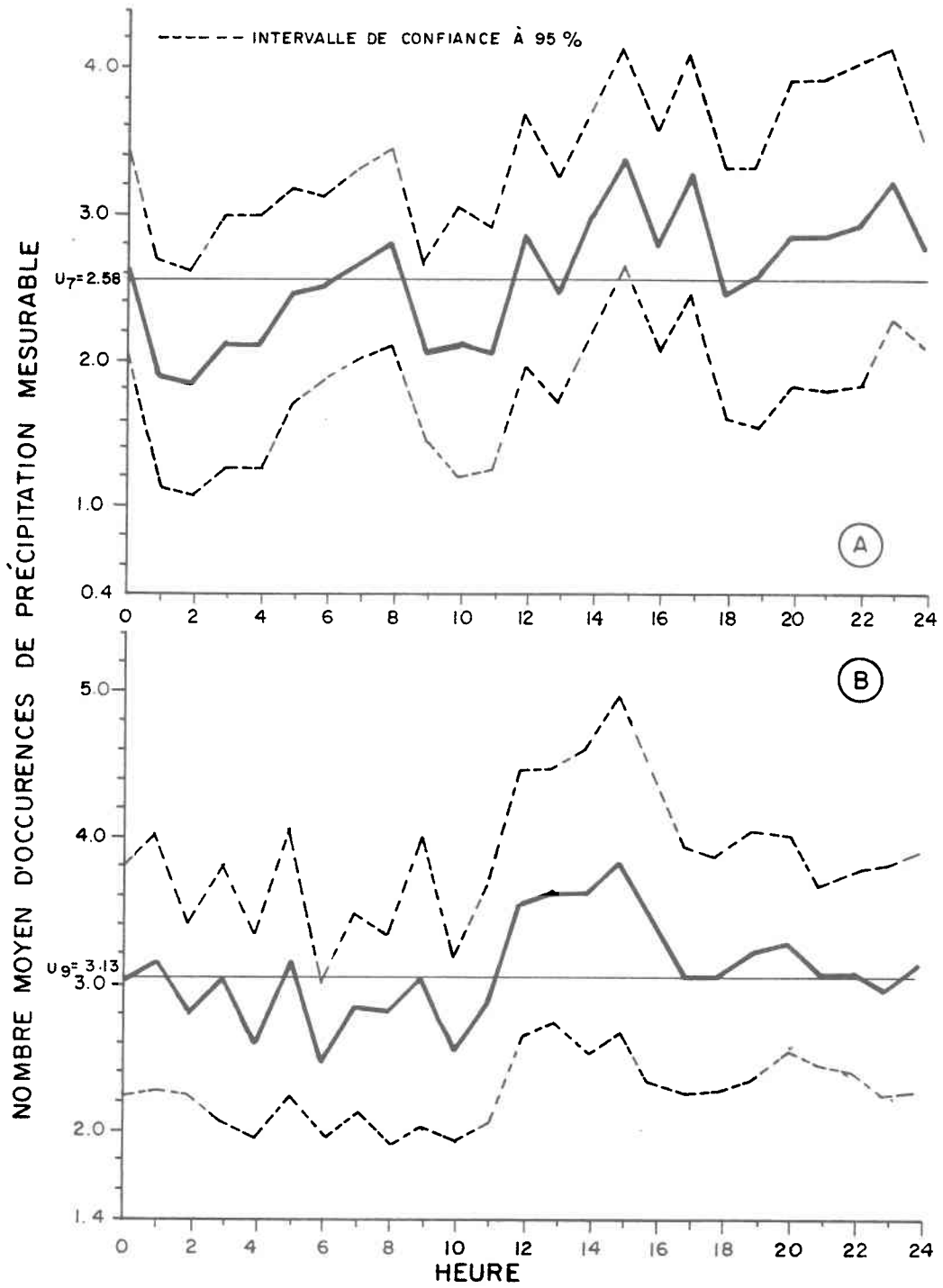


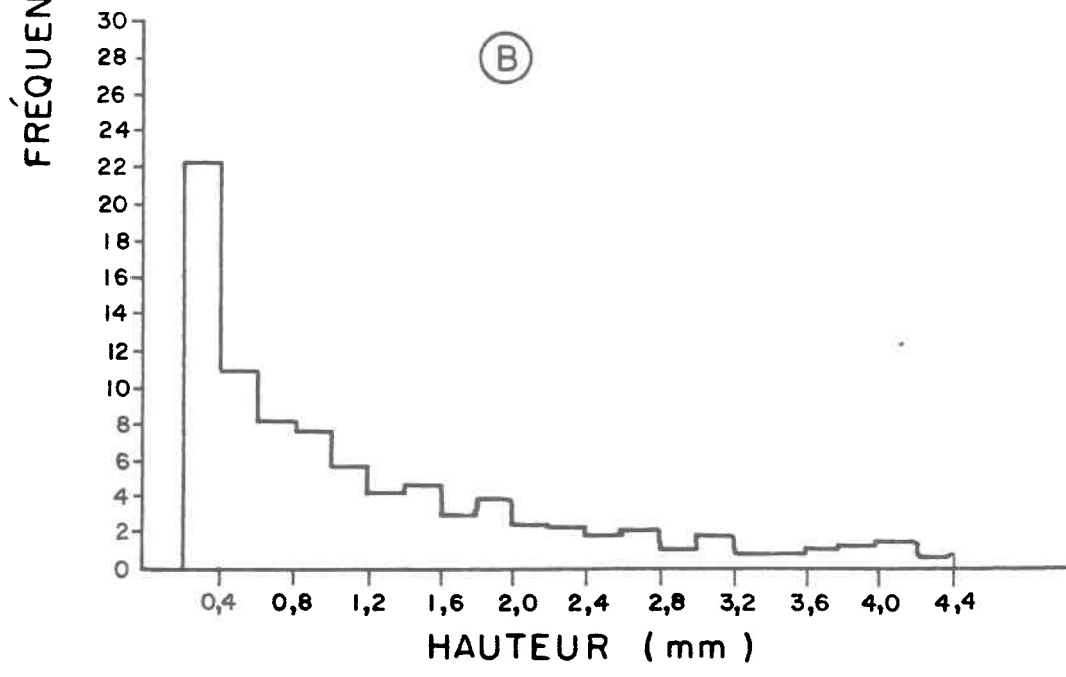
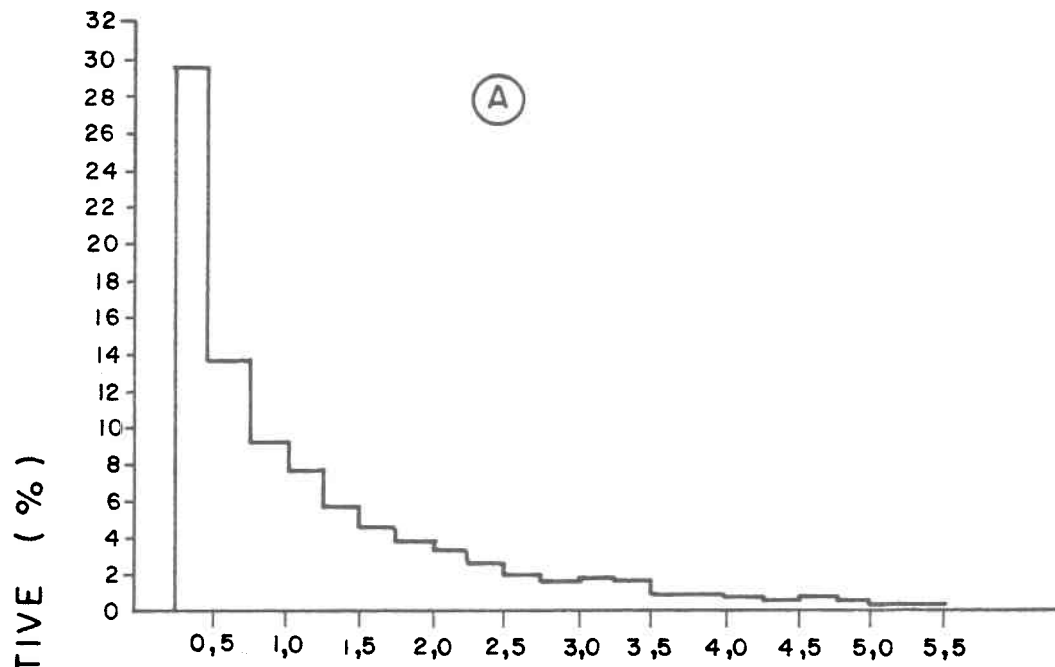


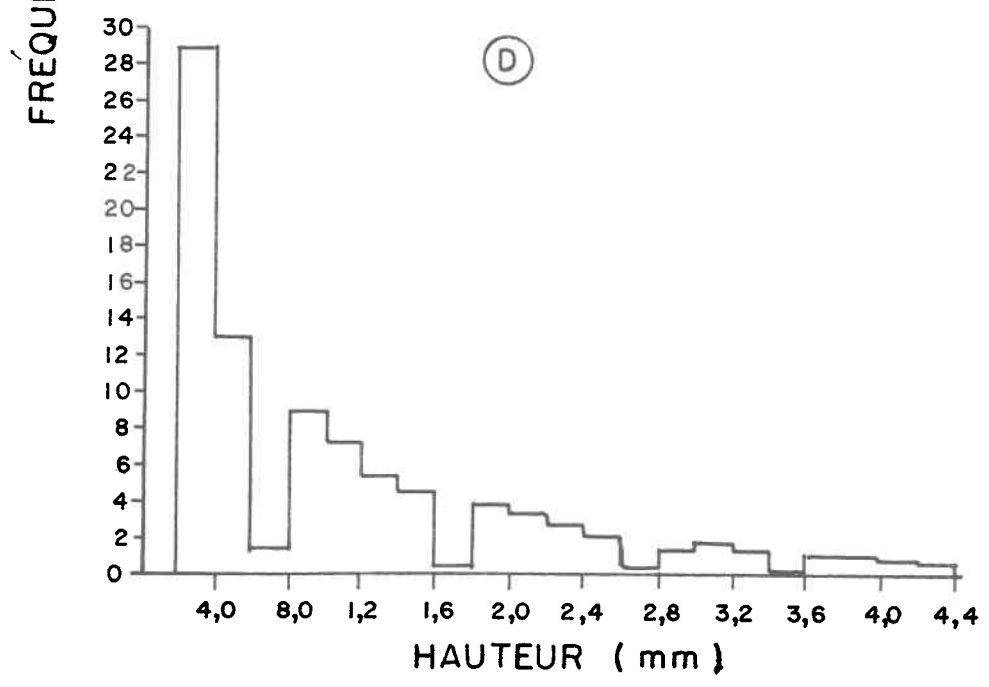
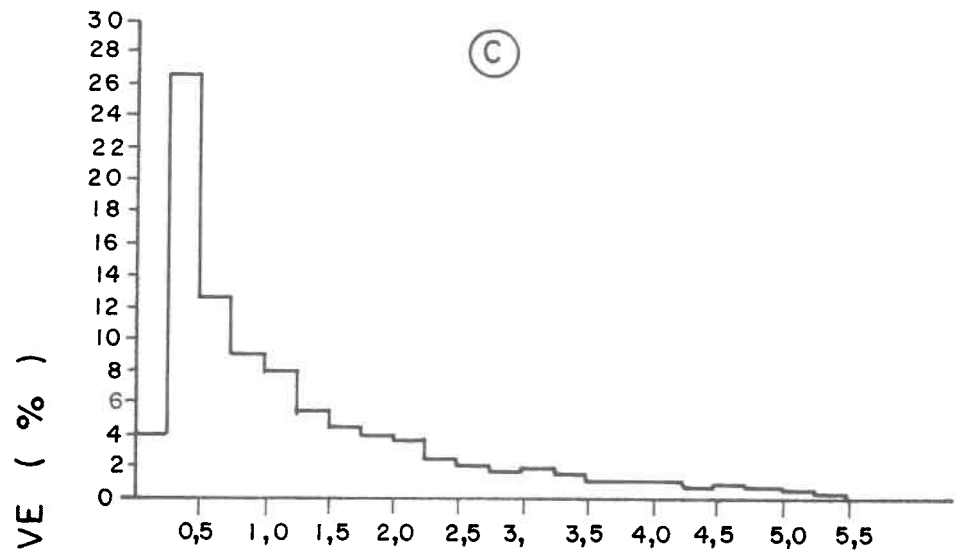


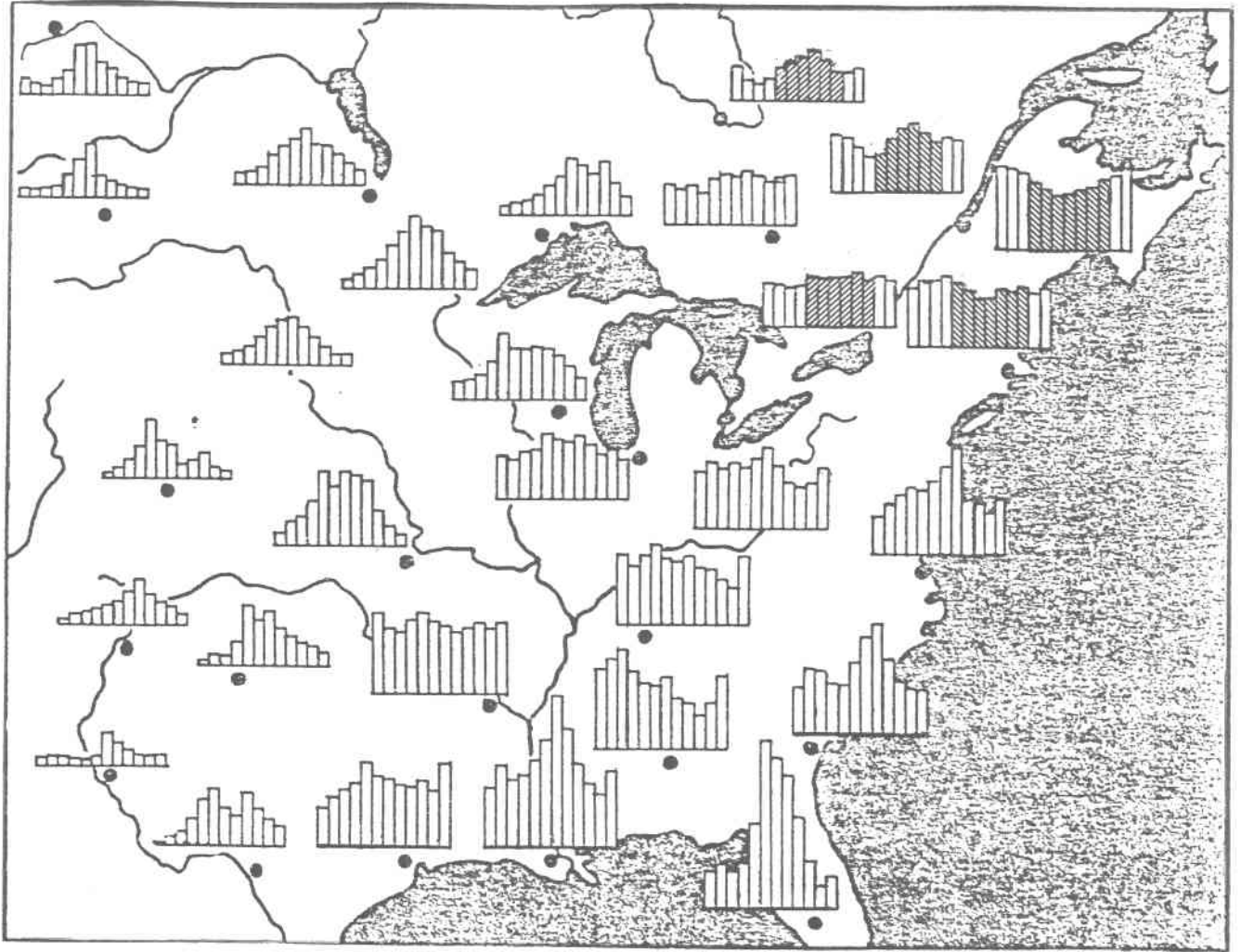


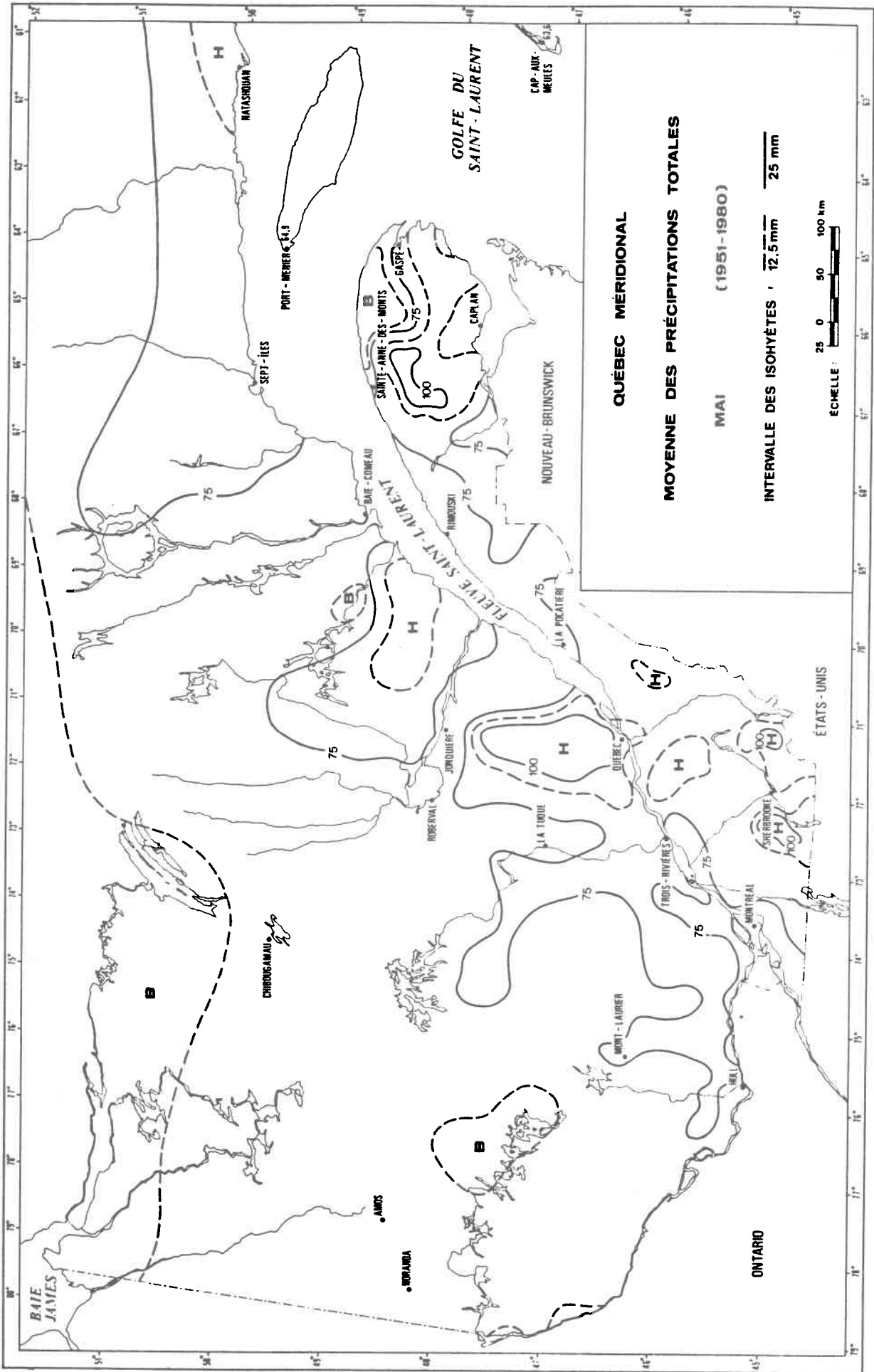




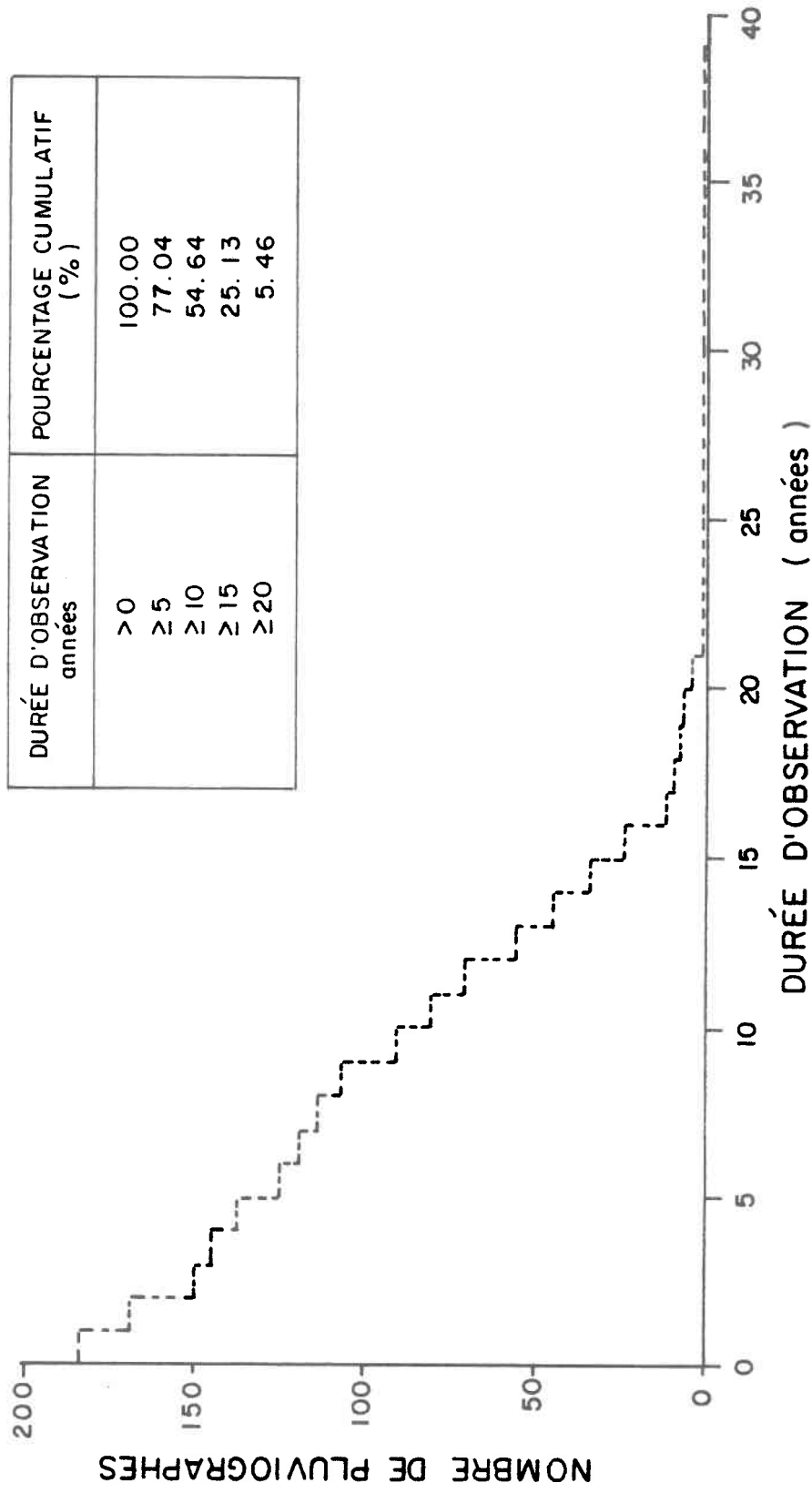


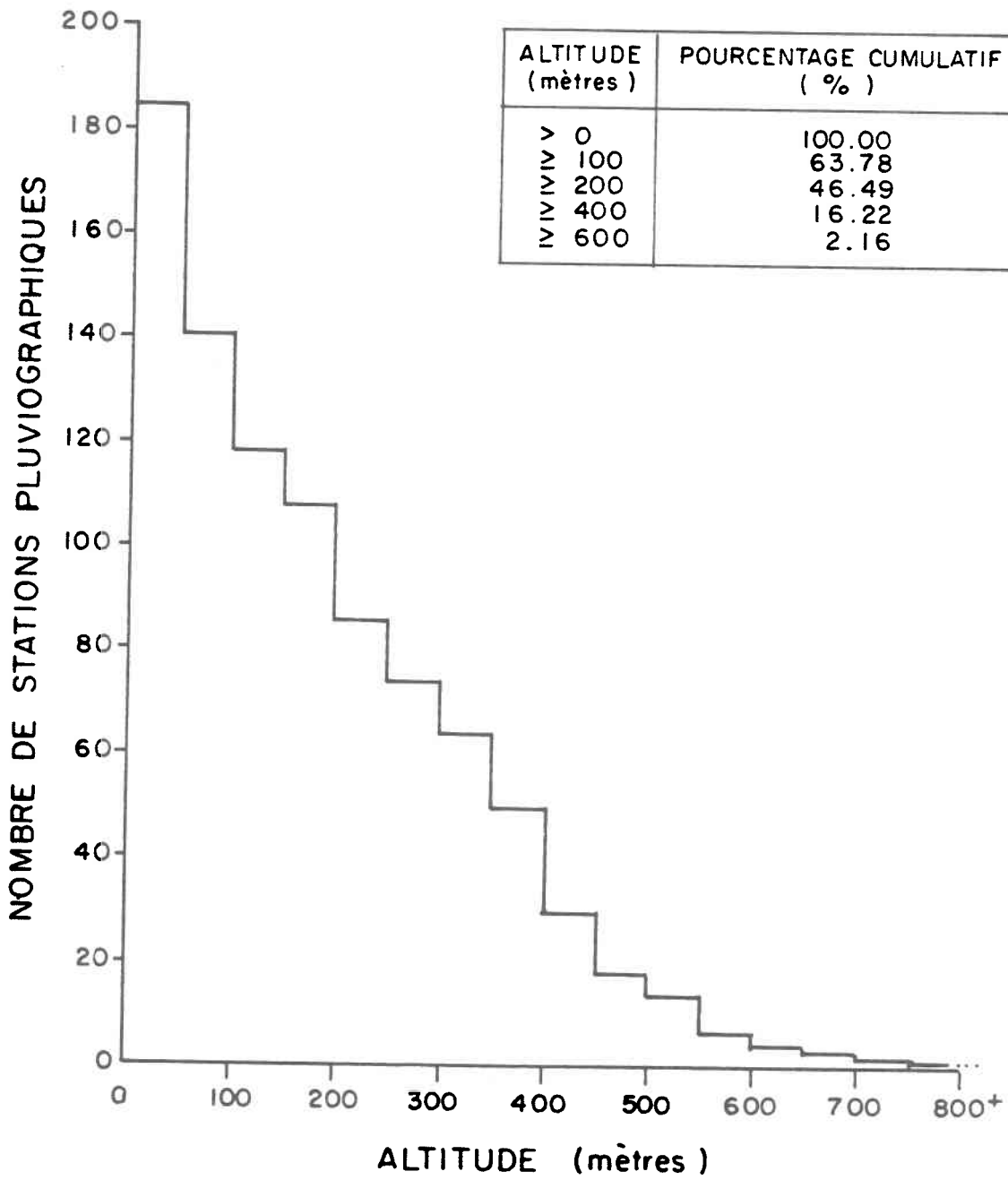


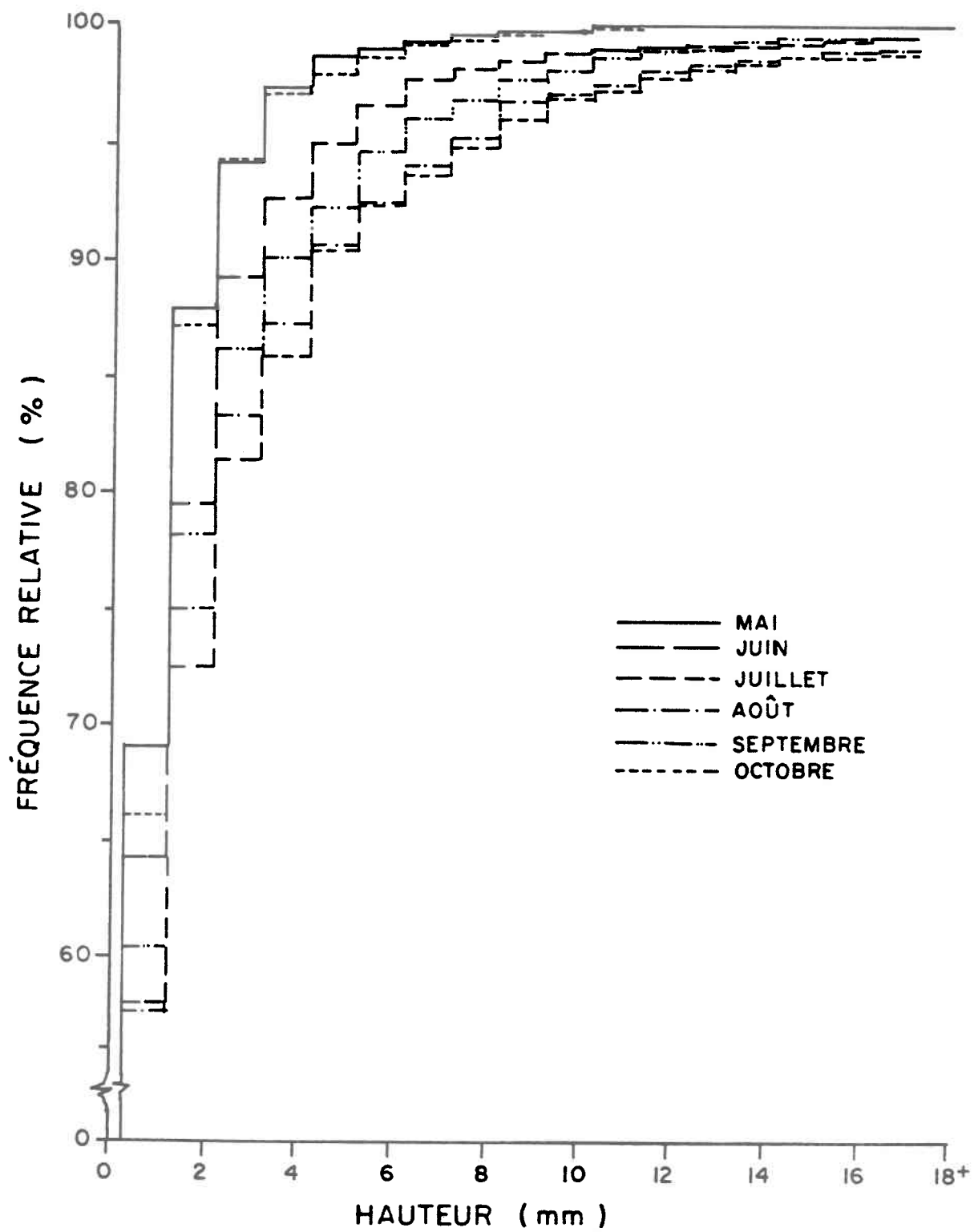


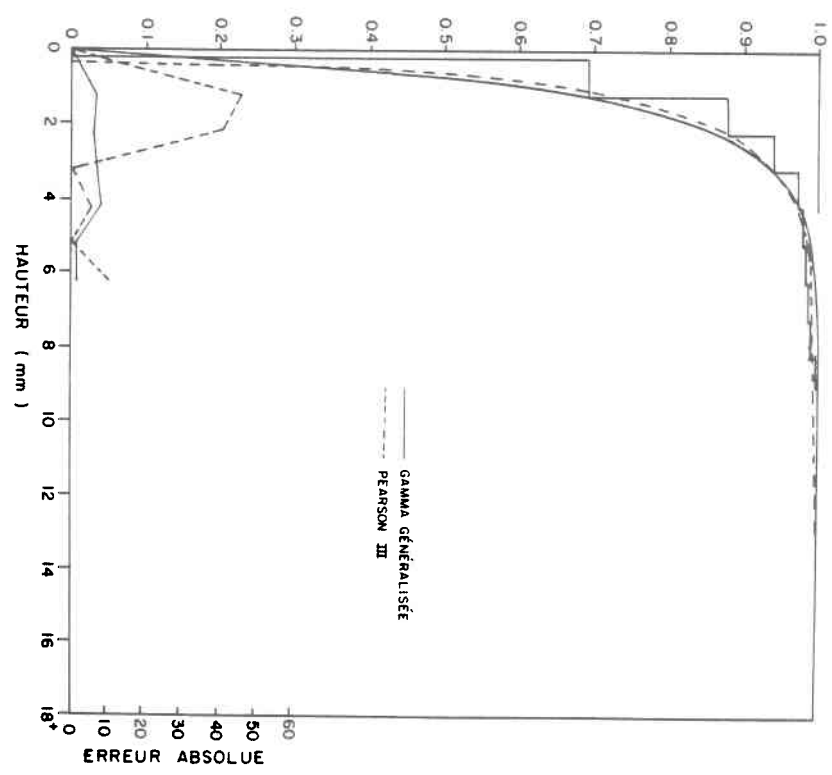
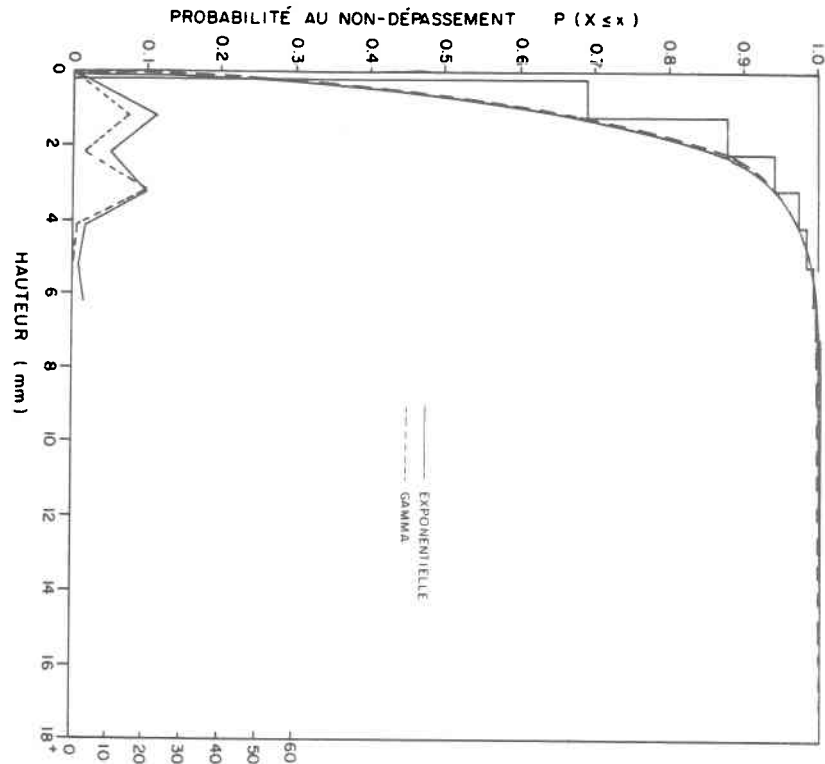


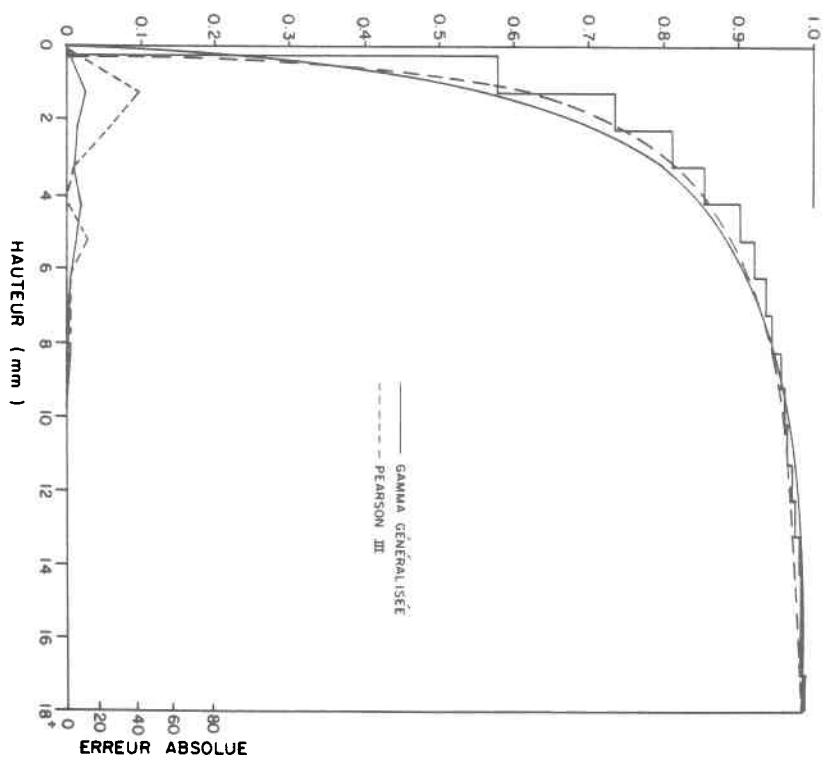
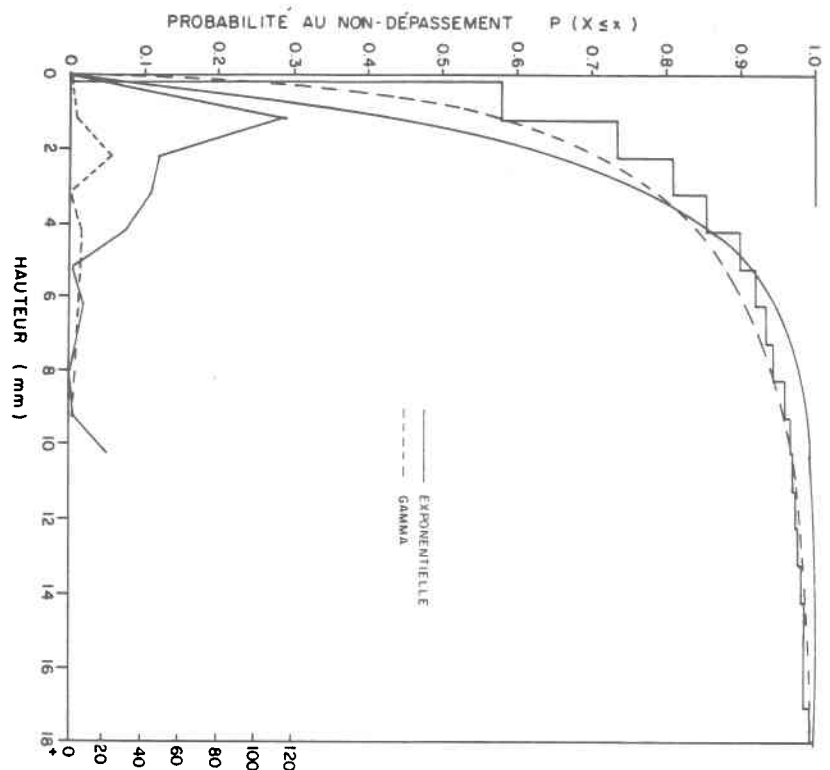
DURÉE D'OBSERVATION années	POURCENTAGE CUMULATIF (%)
> 0	100.00
≥ 5	77.04
≥ 10	54.64
≥ 15	25.13
≥ 20	5.46

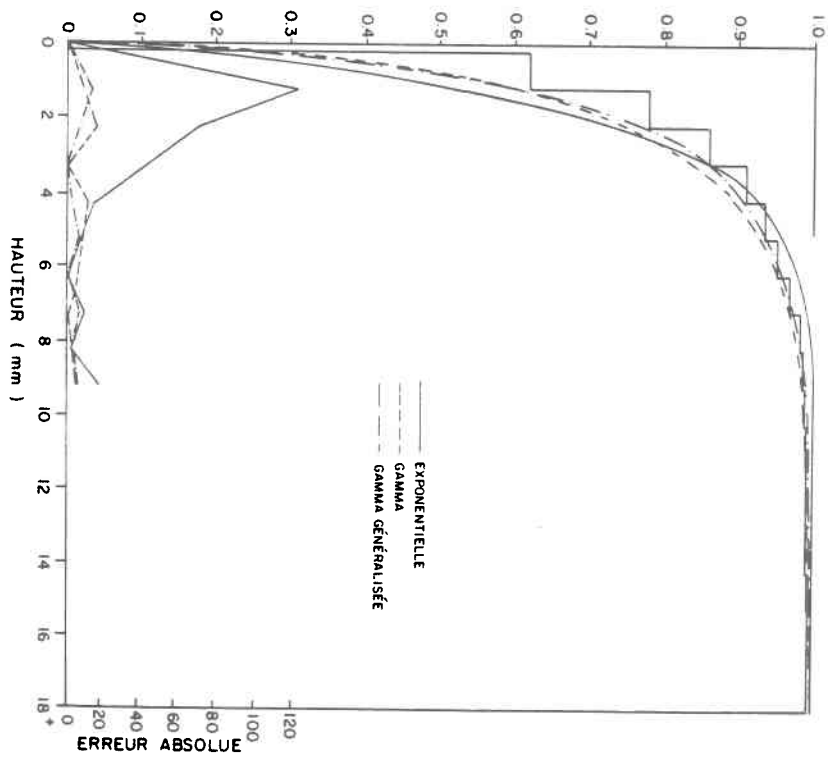
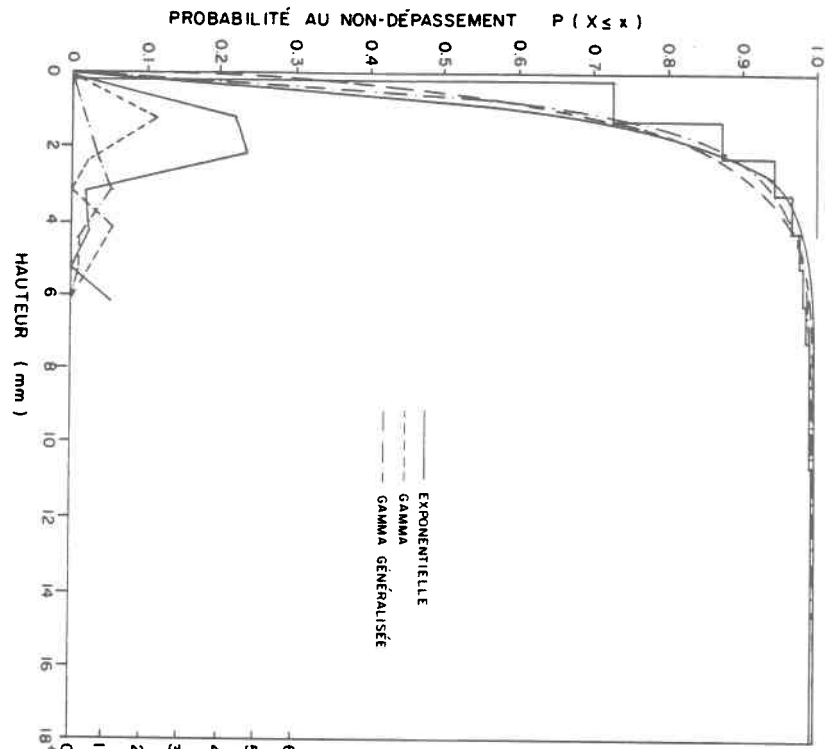


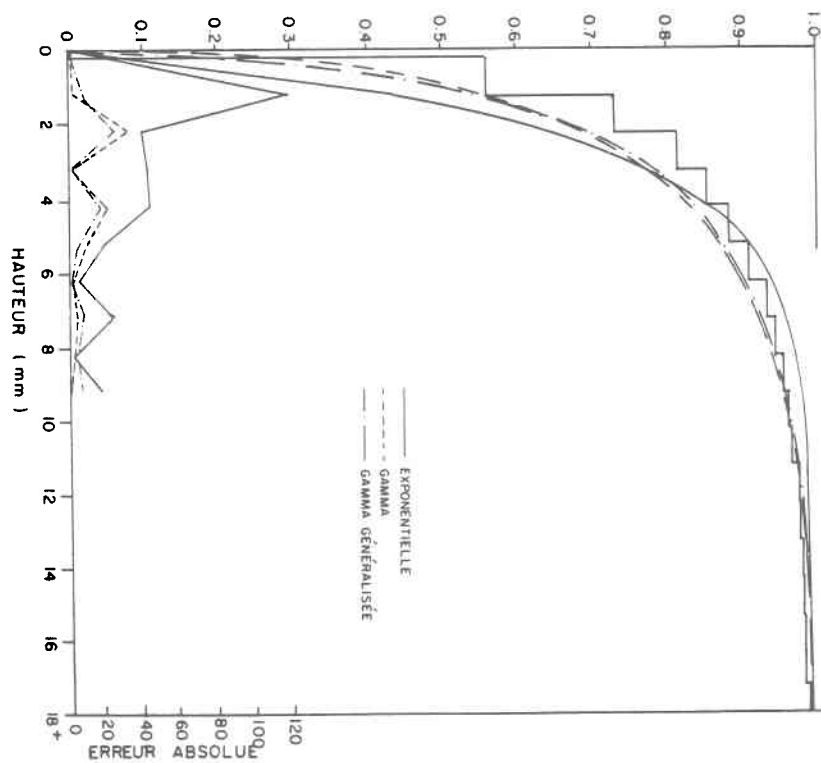
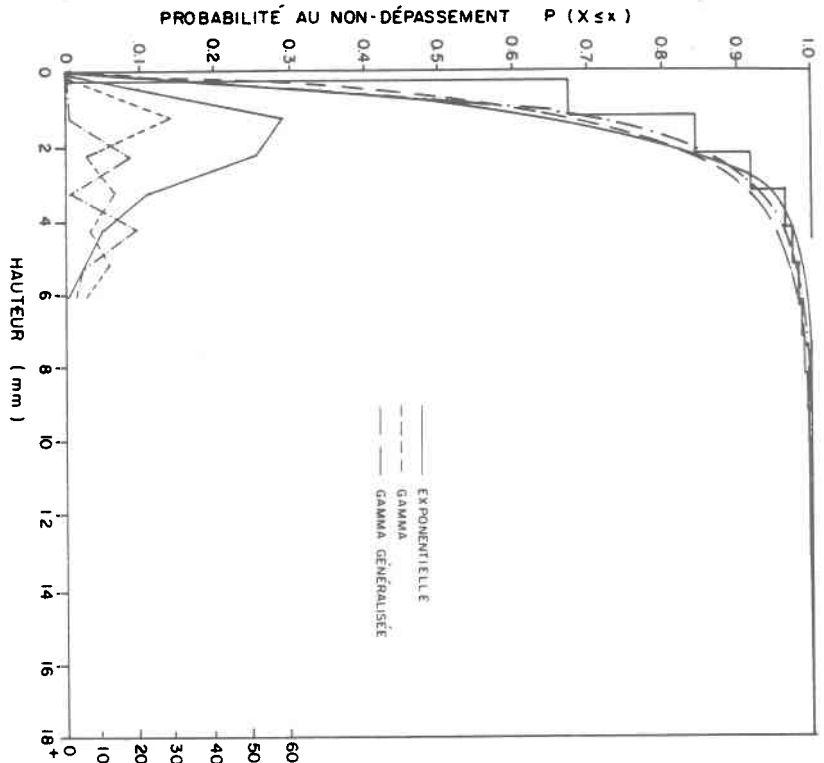


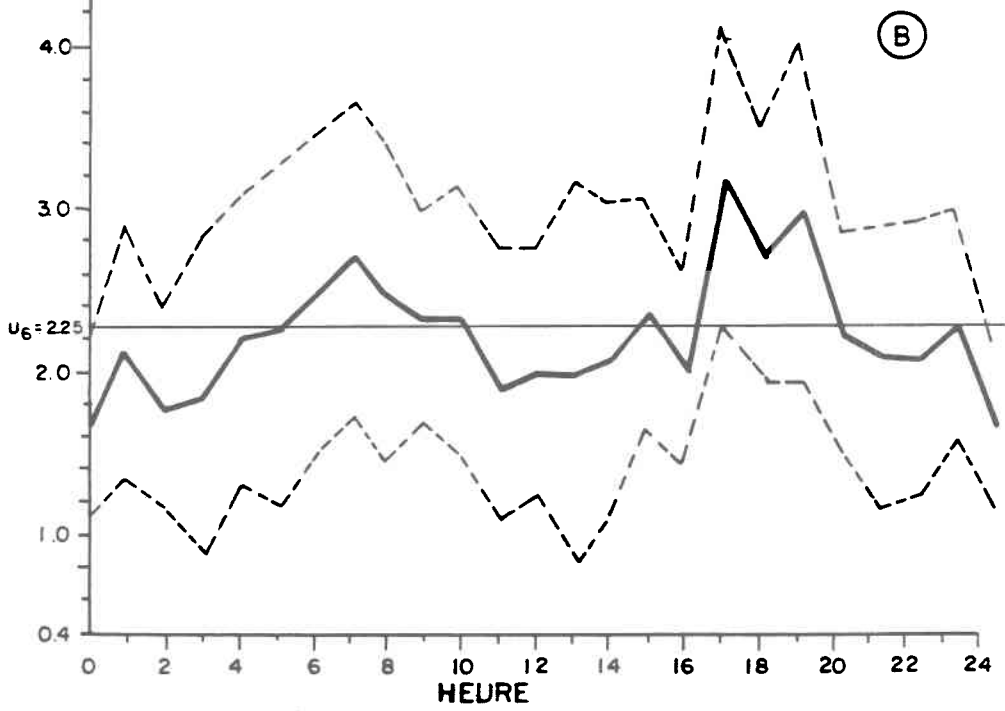
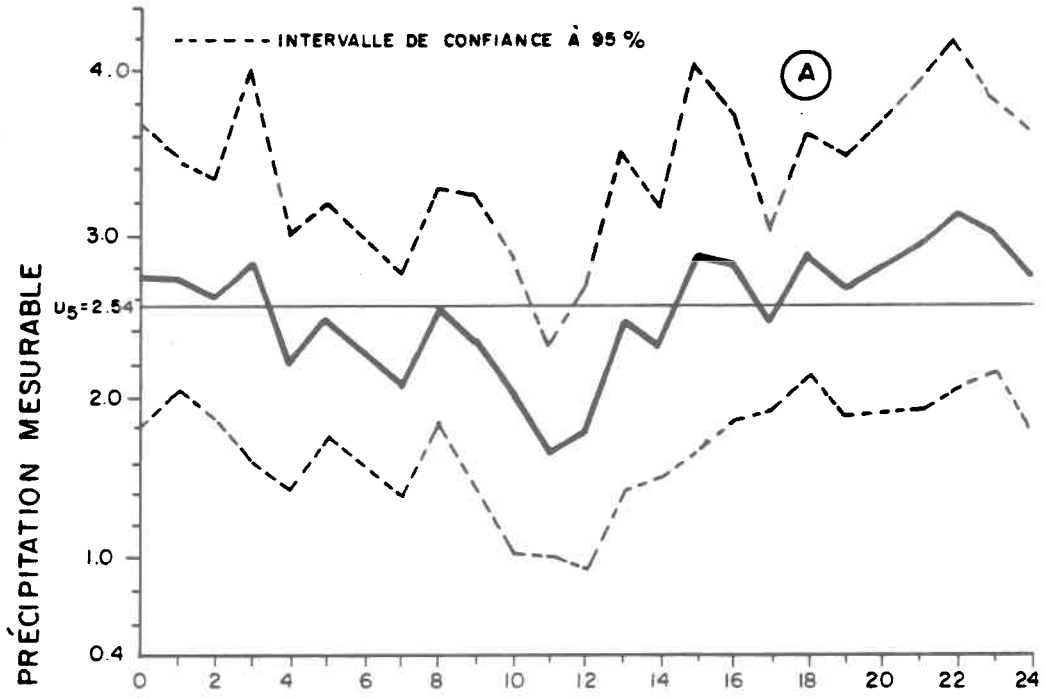


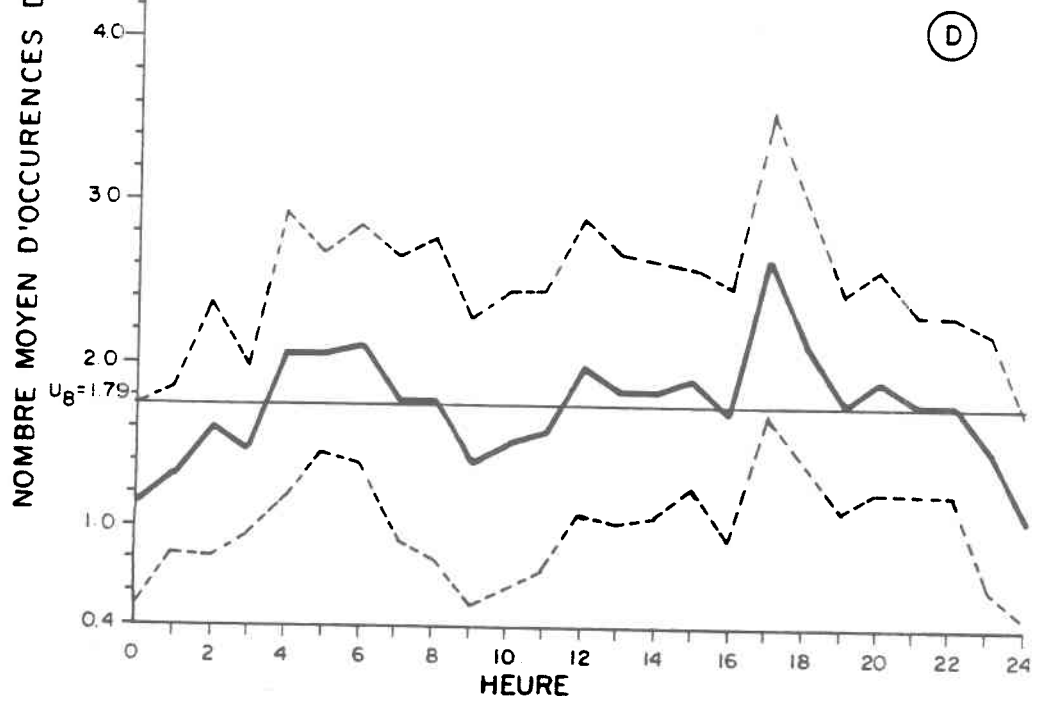
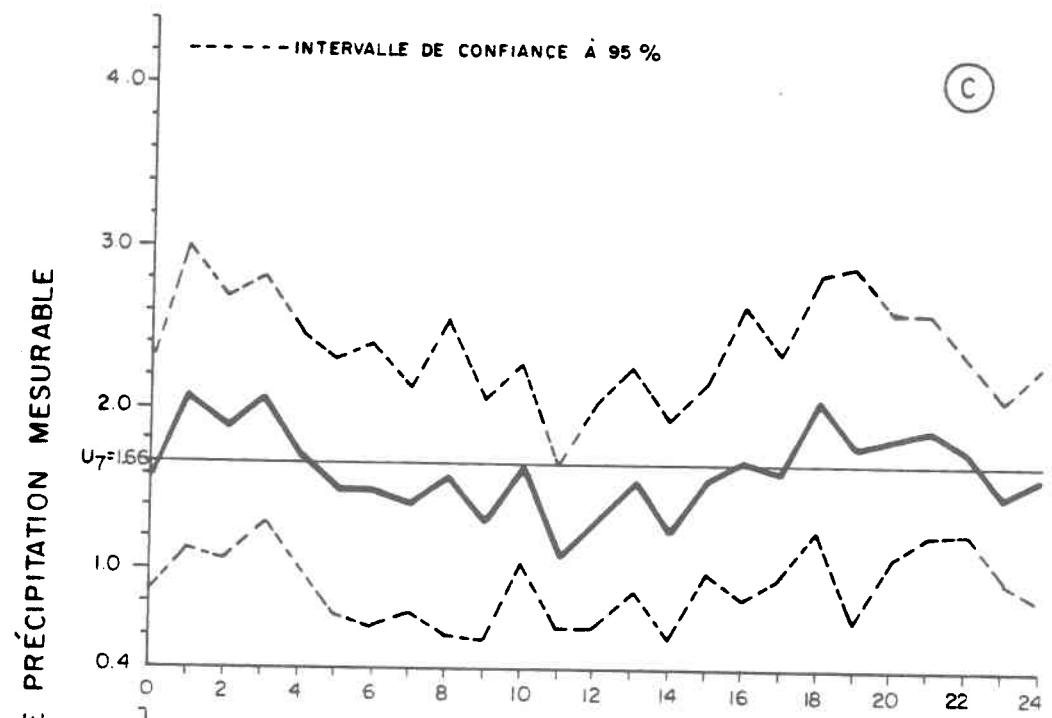


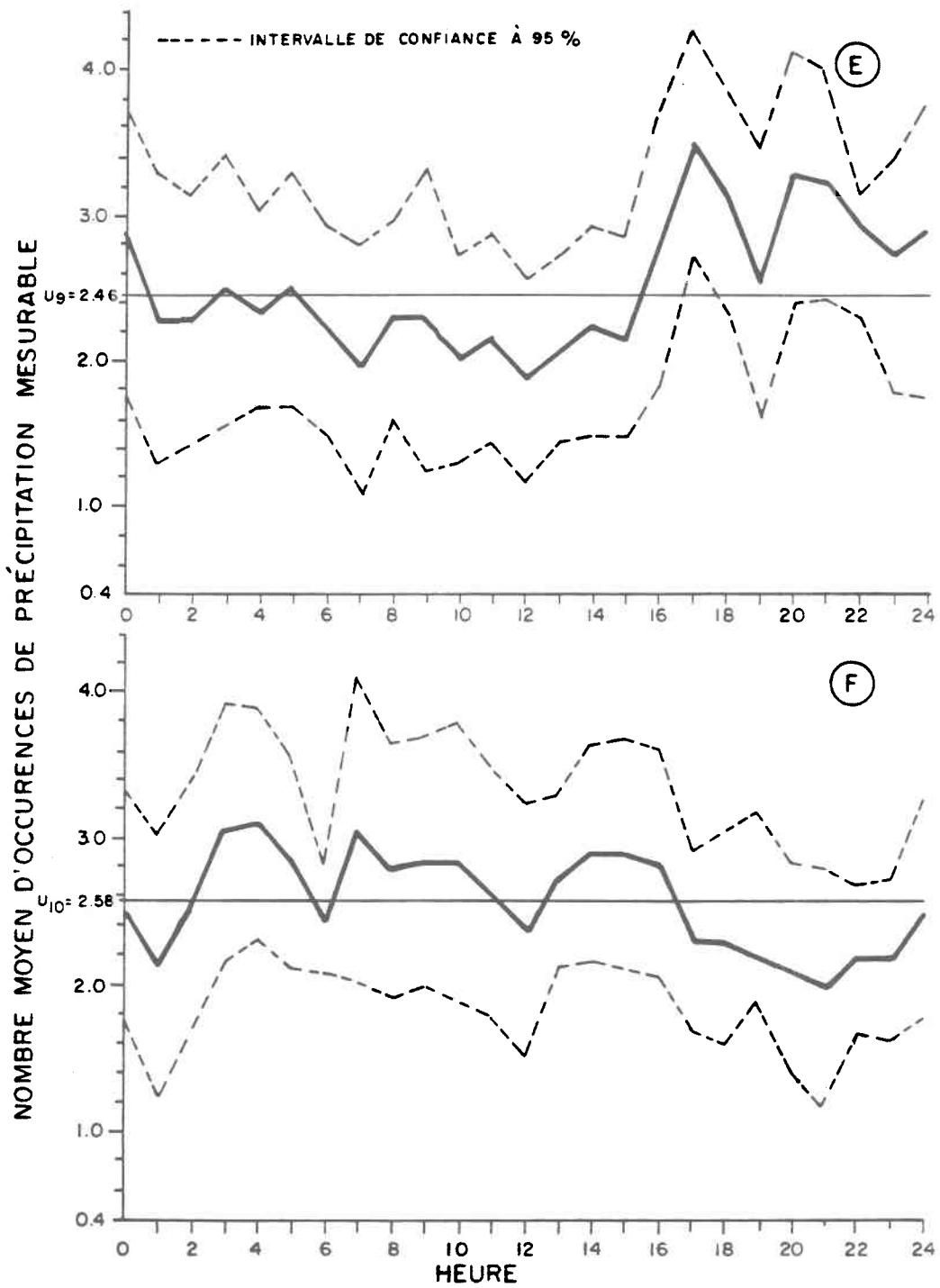


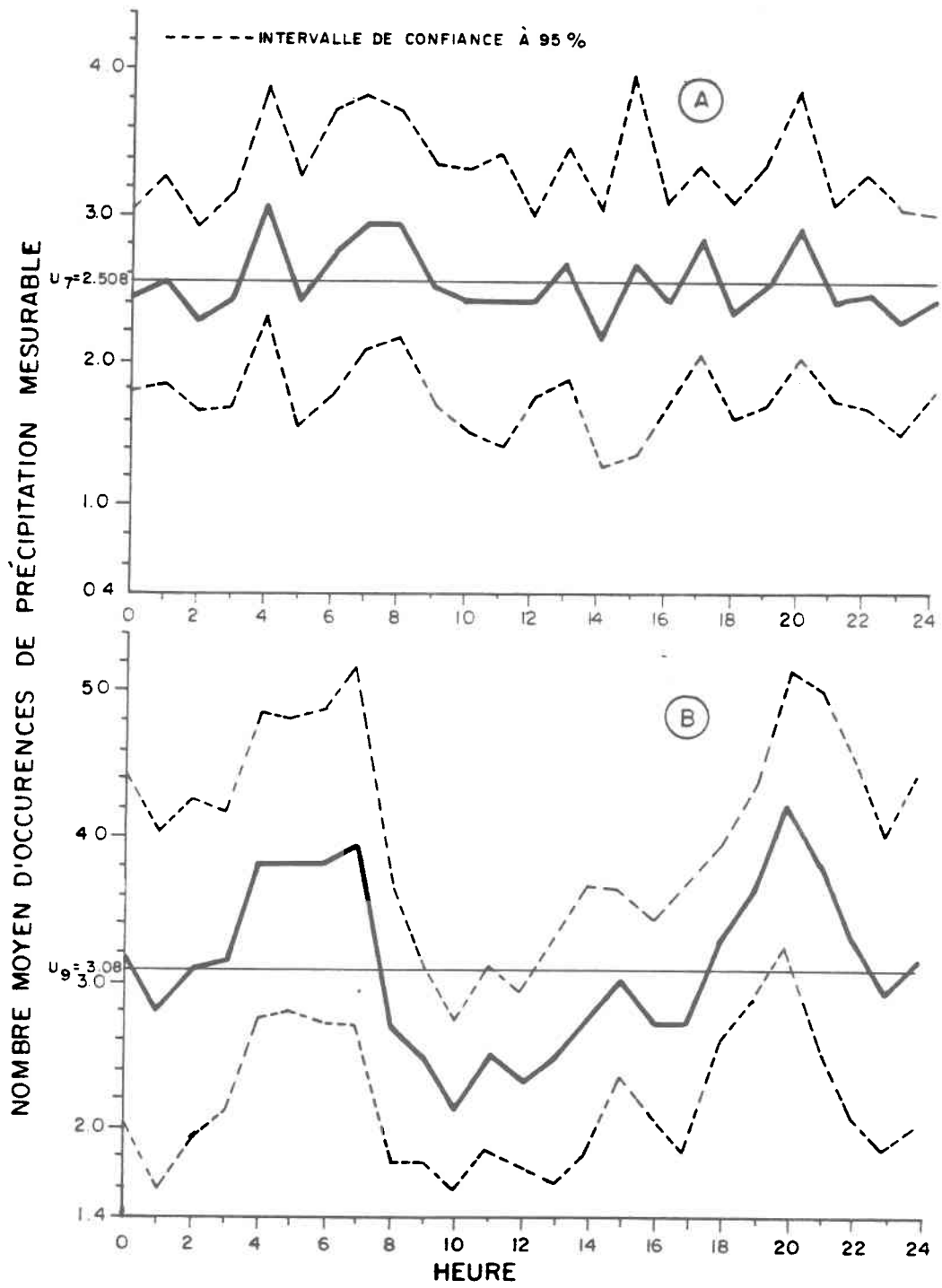


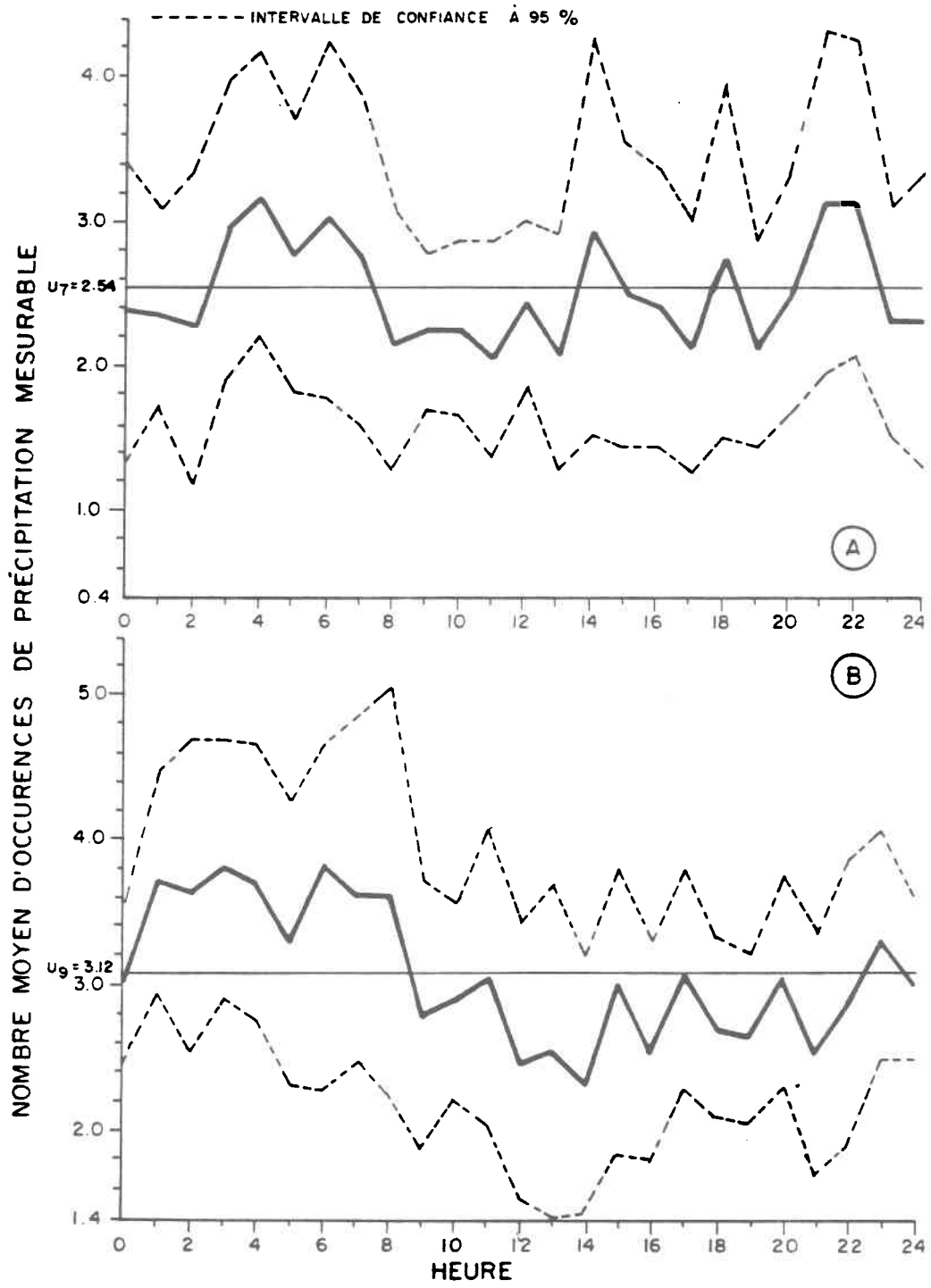


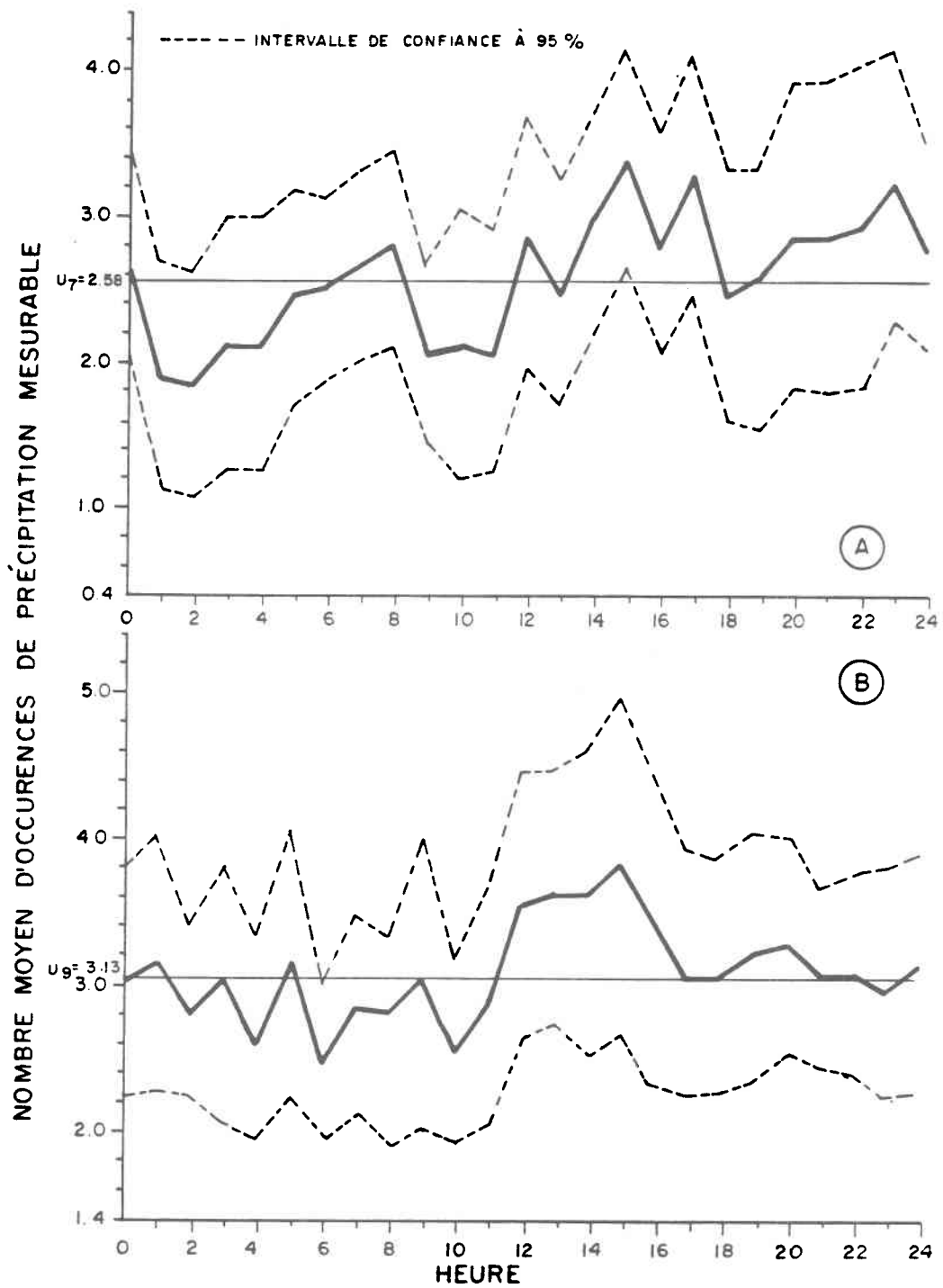


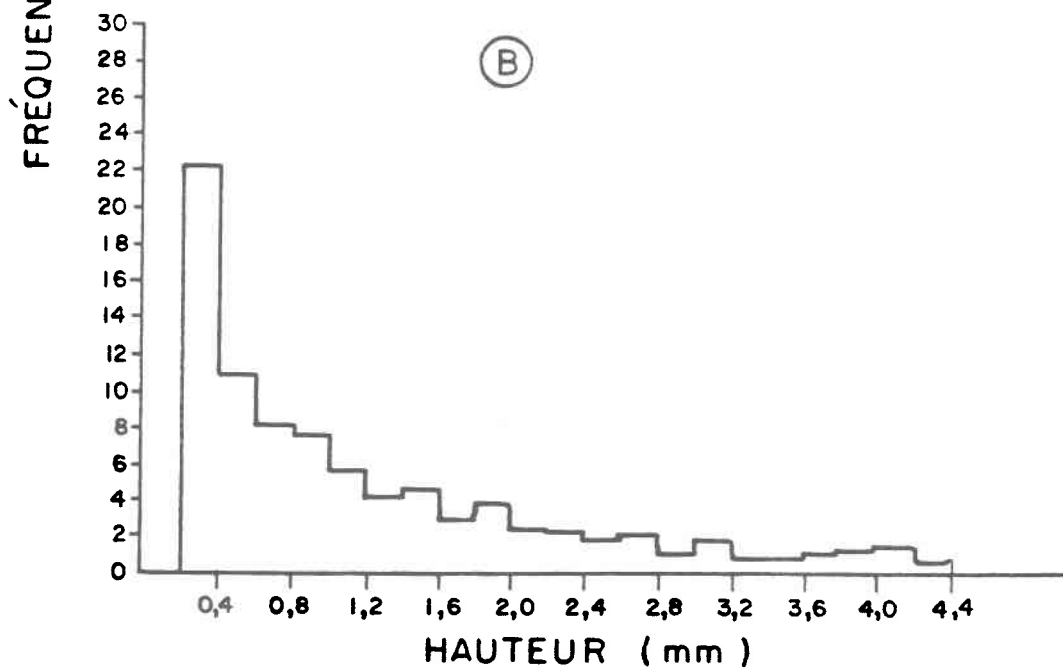
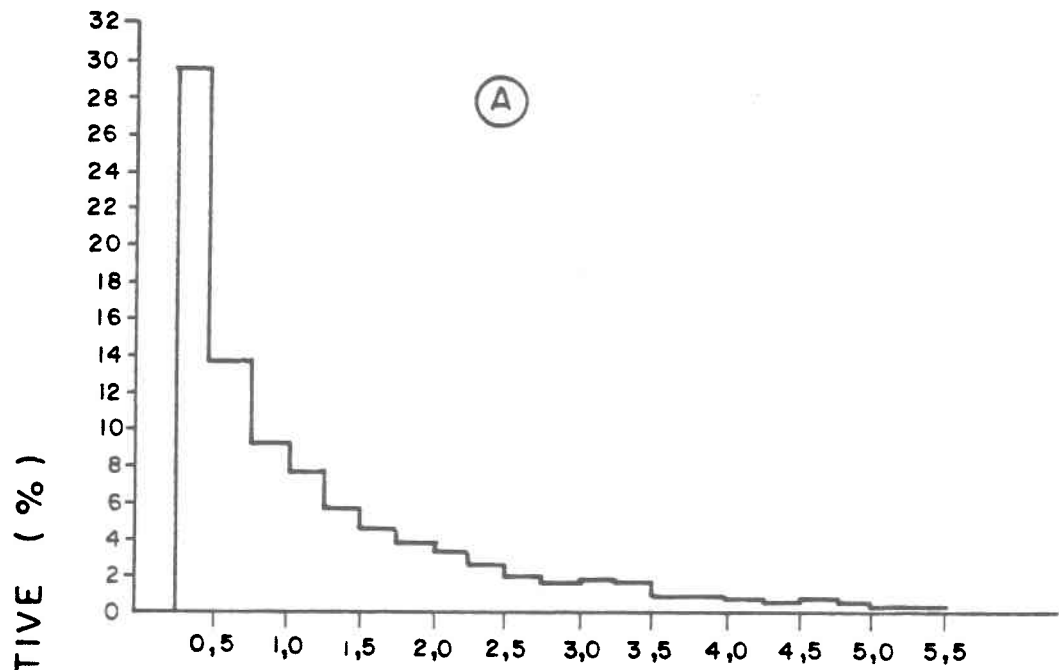


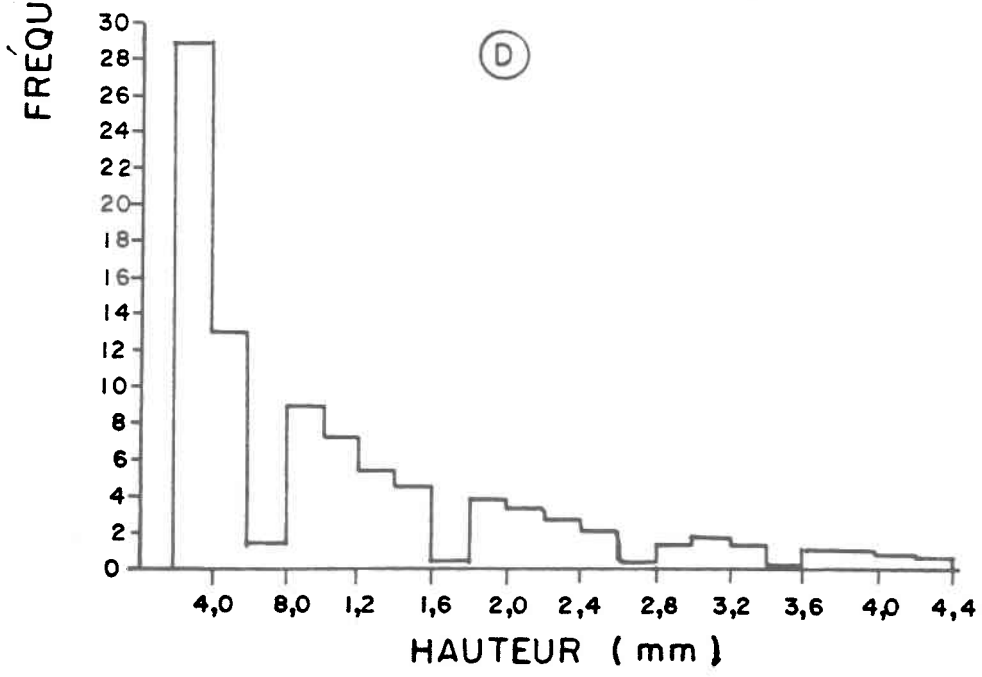
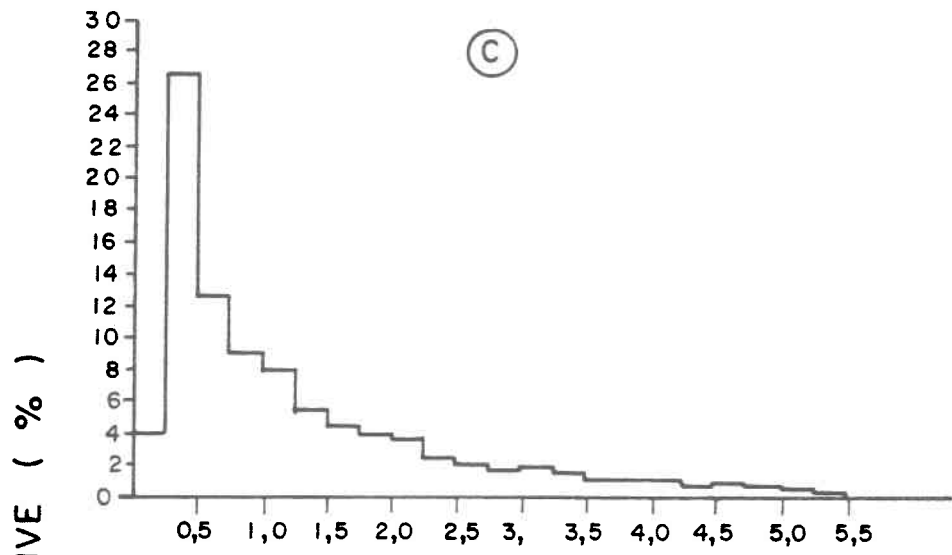


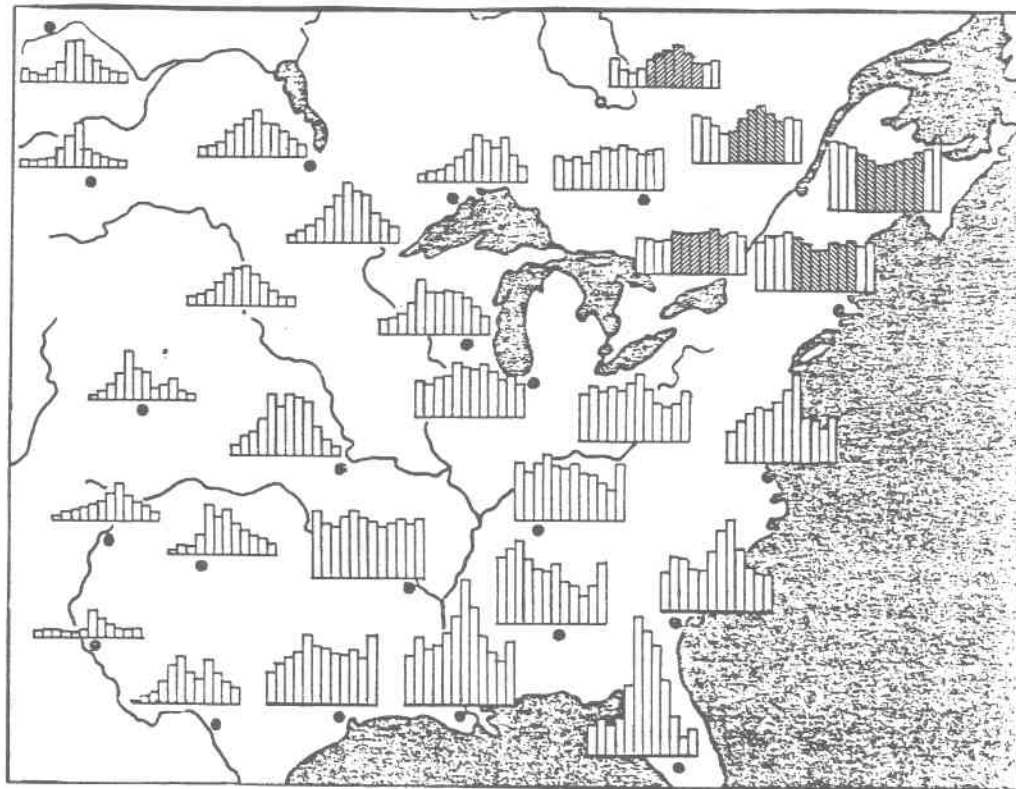


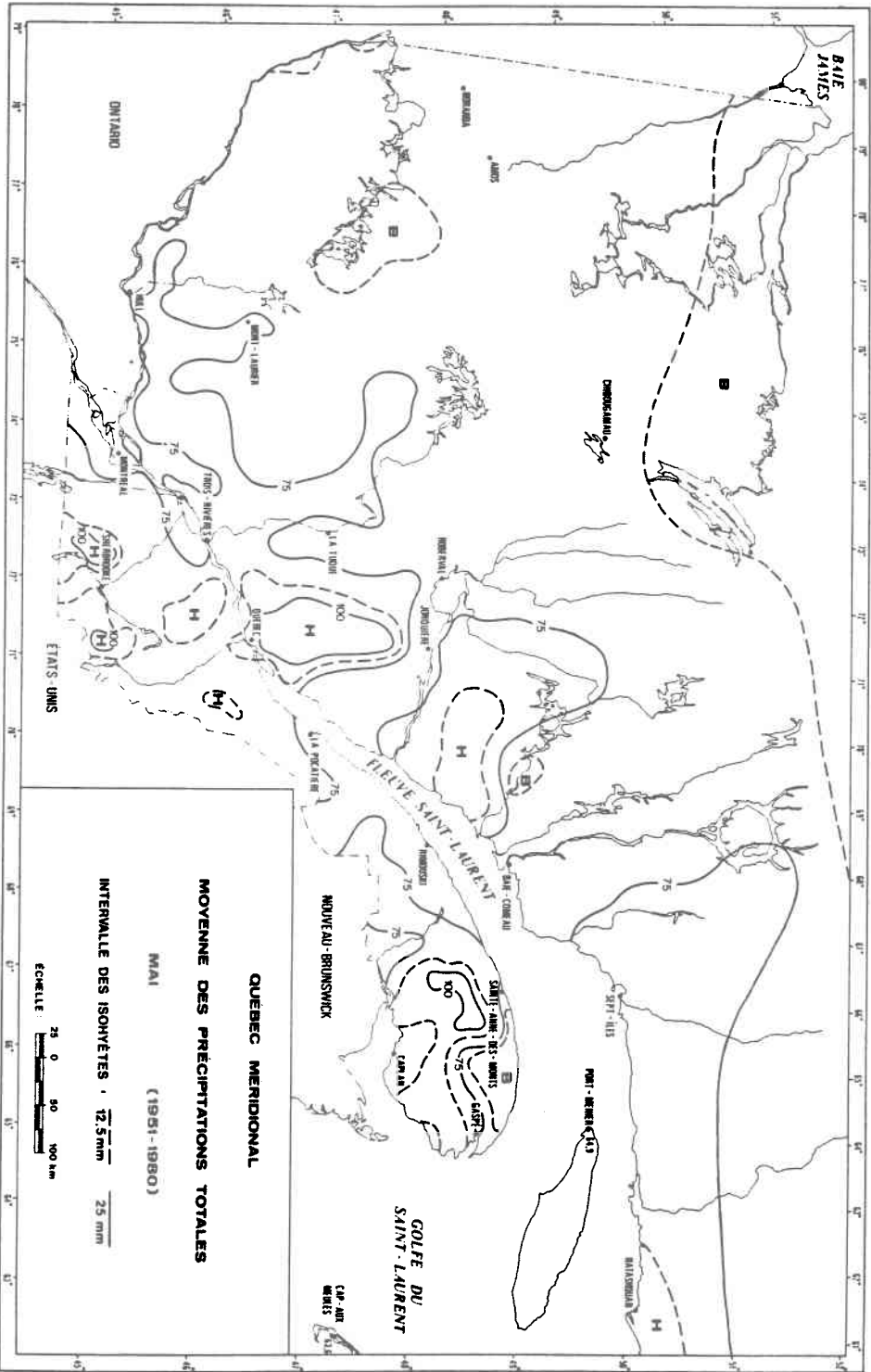




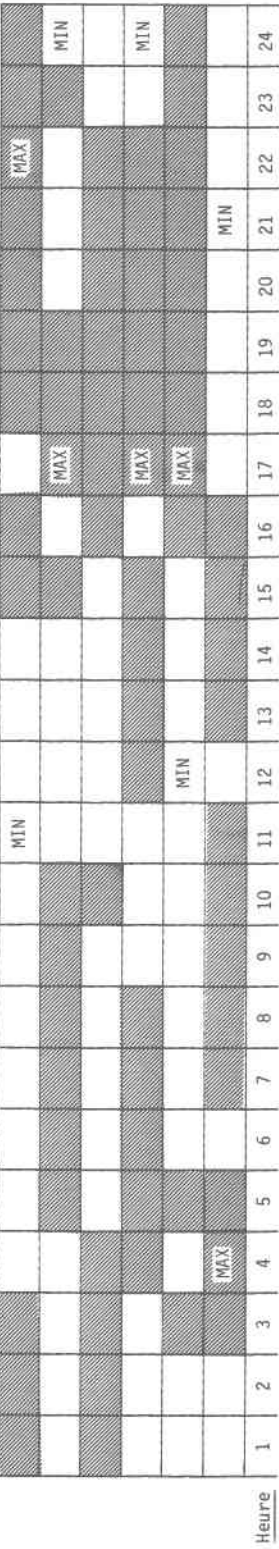






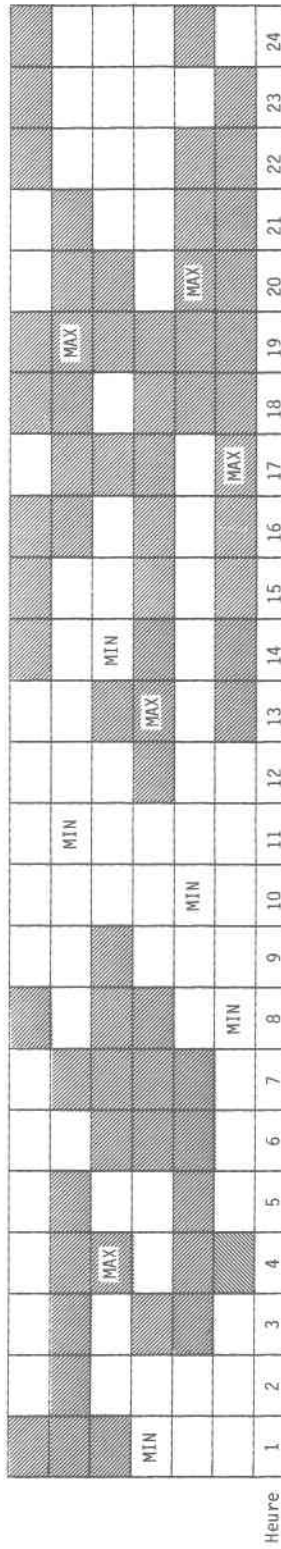


Mois



(A) Montreal-International-A.

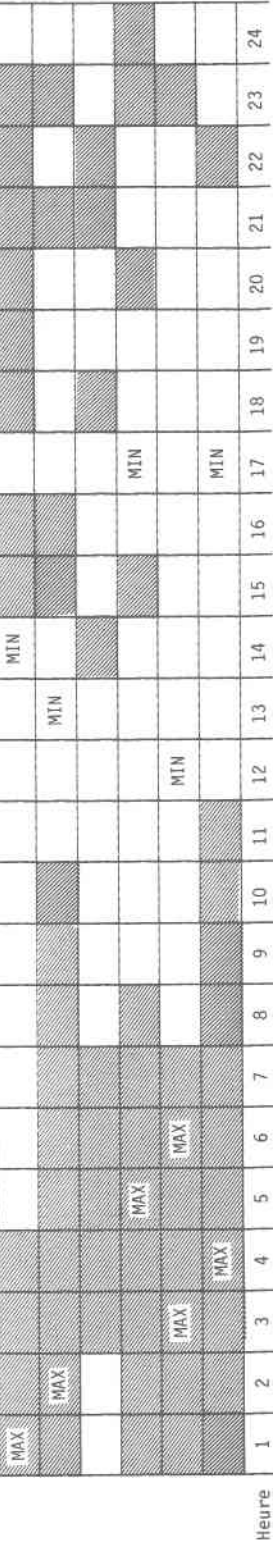
Mois



(B) Bagotville-A.

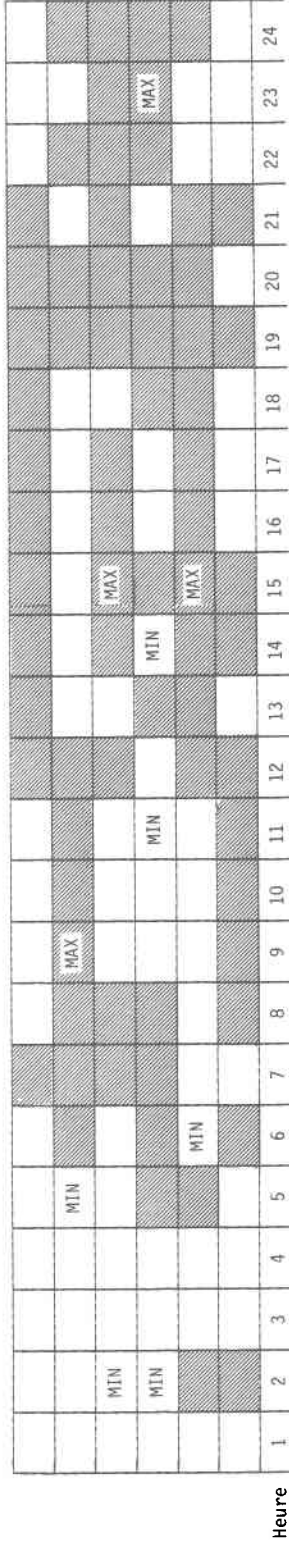
FIGURE 2.10 Distribution des précipitations horaires par rapport à une loi uniforme: les zones hachurées indiquent des occurrences moyennes supérieures à la valeur prise par la loi uniforme, tandis que les occurrences moyennes inférieures correspondent aux zones blanches. Les valeurs minimales et maximales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

Mois



(C) Juillet
Août
Septembre
Octobre

Mois



(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: Natasquan-A.
D: Val D'Or-A.

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, 1983)	$E(x) = \frac{\alpha^{-1/D} \Gamma(\lambda + 1/D)}{\Gamma(\lambda)}$	$Var(x) = \frac{\alpha^{-2/D} [\Gamma(\lambda) \Gamma(\lambda + 2/D) - \Gamma^2(\lambda + 1/D)]}{\Gamma^2(\lambda)}$	$C_S = \frac{\Gamma^2(\lambda) \Gamma(\lambda + 3/D) - 3\Gamma(\lambda + 2/D) \Gamma(\lambda + 1/D) + 2\Gamma^3(\lambda + 1/D)}{[\Gamma(\lambda) \Gamma(\lambda + 2/D) - \Gamma^2(\lambda + 1/D)]^{3/2}}$

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 ¹		
			Moyenne ²	Ecart type ²	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

¹ 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.

² Les moyennes et écarts types sont exprimés en mm.

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 ¹				
			Moyenne ²	Ecart type ²	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	$\hat{\lambda} = 13,1104$ $\hat{\alpha} = 13,8050$ $\hat{D} = 0,2639$	1,194	1,422	3,968	
		Juillet	$\hat{\lambda} = 0,6392$ $\hat{\alpha} = 0,3724$ $\hat{D} = 0,8589$	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	$\hat{\lambda} = 7,0108$ $\hat{\alpha} = 7,8784$ $\hat{D} = 0,3356$	1,031	1,299	3,986	
		Juillet	$\hat{\lambda} = 1,4548$ $\hat{\alpha} = 1,3083$ $\hat{D} = 0,6094$	1,590	2,253	3,617	

¹ 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.

² Les moyennes et écarts types sont exprimés en mm.

Tableau 2.6 Fréquences relatives des différentes classes de hauteurs de précipitation horaire 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 précipitation horaire*			
	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
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 précipitation horaire*			
	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
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 précipitation horaire*			
	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
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.

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

Numéro	Identification Nom de la station	Latitude nord (degrés et minutes)		Longitude ouest (minutes)	Altitude (mètres)	Période d'observations		Nombre d'années d'observations	Données manquantes (%)
						Début	Fin		
701	A9E0*	46'53	71'10	114	1974	1980	7	3,5	
	HE63	46'23	72'37	55	1974	1980	7	19,0	
	1308	46'54	71'18	152	1969	1977	9	28,5	
	1309*	46'52	71'16	114	1971	1980	10	11,6	
	1982	46'40	71'56	15	1972	1980	9	16,9	
	2232*	46'49	71'18	15	1971	1980	10	14,7	
	2240*	46'52	71'39	166	1970	1980	11	11,4	
	3362*	46'01	73'27	58	1967	1977	9	11,4	
	3655	46'01	73'26	55	1978	1980	3	28,6	
	4160*	47'34	71'14	799	1969	1974	6	38,5	
	4329	45'49	73'26	21	1963	1980	18	1,4	
	5417	46'52	71'22	130	1977	1980	4	34,5	
	5730*	46'51	71'22	91	1973	1977	5	35,3	
	6K95	45'30	74'04	91	1966	1980	14	15,7	
	6294**	46'49	71'15	8	1969	--	1	51,3	
	6800	46'48	71'23	73	1961	1980	20	1,2	
	6900*	46'43	72'05	76	1966	1980	14	24,6	
	6906	46'44	71'30	58	1965	1980	16	5,3	
	6906	46'12	73'37	229	1976	1980	5	15,7	
	6932*	45'35	74'03	43	1973	1977	5	14,4	
	7100	45'34	74'03	53	1978	1980	3	5,2	
	7100	46'51	71'37	152	1968	1980	13	4,8	
	7100	46'19	74'13	401	1967	1979	13	43,1	
	7265	46'19	74'12	389	1980	--	1	14,9	
	7B65*	46'46	71'20	77	1968	1972	5	53,1	
	7BFN	46'45	71'17	79	1971	1980	10	17,1	
	8000*	46'46	71'19	152	1972	1980	9	7,0	
	8574	46'34	72'43	93	1968	1980	13	5,8	
	0305	46'54	71'30	169	1979	1980	2	10,5	
	0360	46'02	71'55	152	1969	1974	6	23,2	
	0840*	45'46	71'57	229	1972	1980	8	39,1	
	1320	45'11	72'34	206	1971	1980	10	8,9	
	2127	45'17	71'12	518	1966	1980	15	22,4	
	2160	45'49	70'24	564	1965	1966	2	67,1	
	BL09	45'53	72'29	82	1967	1980	14	23,2	
	2494	45'35	73'49	30	1977	1980	4	18,7	
	2700	46'29	72'03	53	1972	1980	9	16,9	
	2720*	46'24	72'22	6	1974	1975	2	44,7	
		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).

Numéro	Identification		Latitude nord (degrés et minutes)	Longitude ouest (minutes)	Altitude (mètres)	Période d'observations		Nombre d'années d'observations	Données manquantes (%)
	Nom de la station					Début	Fin		
702	2800*	Granby	45°23	72°42	168	1968	1980	13	10,8
	3312*	Island-Brook	45°23	71°28	346	1965	1980	16	7,8
	3677*	Lac Mégantic-2	45°35	70°54	404	1968	1973	5	30,7
	4254	Lac Mégantic-2	45°36	70°53	465	1974	1980	7	8,3
	4280*	Lauzon	46°49	71°10	73	1979	1980	2	3,5
	4320*	Lennoxville-CDA	45°22	71°51	152	1960	1980	21	30,2
	4320	Lingwick	45°37	71°21	375	1966	1973	7	5,5
	4624*	Lingwick	45°38	71°22	267	1974	1980	7	3,8
	5212	Maple-Leaf-East	45°20	71°24	445	1965	1980	16	5,7
	5250**	Mont-Mégantic	45°27	71°09	1111	1978	1980	3	34,8
	5257	Montréal-International-A	45°28	73°45	36	1943	1980	39	2,2
	5260*	Montréal Jardin Botanique	45°34	73°33	46	1976	1980	5	8,9
	5267	Montréal-Jean-de-Brébeuf	45°30	73°37	133	1966	1980	14	15,2
	5280*	Montréal-Lafontaine	45°31	73°34	41	1971	1979	9	27,3
	5328	Montréal-McGill	45°30	73°55	57	1980	1981	21	2,3
	5330	Mont-Saint-Hilaire	45°35	73°11	30	1975	1979	5	40,4
	5332	Mont-Saint-Hilaire	45°33	73°05	174	1965	1966	2	25,1
	5745*	Mont-Saint-Hilaire-McGill	45°33	73°10	210	1968	--	1	0,7
	6838	Ormstown	45°07	74°03	46	1963	1980	18	8,9
	6839*	Sainte-Anne-de-Bellevue	45°26	73°56	40	1963	1968	6	10,1
	7040*	Sainte-Anne-de-Bellevue	45°26	73°56	40	1969	1980	12	11,1
	7120*	Saint-Clotilde-CDA	45°10	73°41	56	1967	1980	13	17,9
	7120	Saint-Edwidge	45°12	71°41	399	1966	1976	11	28,4
	7200	Saint-Edwidge	45°12	71°41	381	1977	1980	4	4,2
	7248	Saint-Ephrem	46°04	70°58	312	1965	1980	16	13,0
	7283*	Saint-Ferdinand	46°05	71°31	221	1976	1980	5	5,3
	7302	Saint-Georges	46°09	70°42	168	1965	1980	16	16,0
	7320*	Saint-Guillaume	45°53	72°46	44	1972	1980	9	14,1
	7372*	Saint-Hubert-A	45°31	73°25	27	1964	1980	17	15,3
	7517	Saint-Isidore-d'auckland	45°16	71°31	393	1965	1980	16	10,1
	7656	Sainte-Madeleine	45°37	73°08	30	1979	1980	2	46,0
	7725	Saint-Pierre-de-Broughton	46°15	71°13	366	1972	1980	9	10,9
	7750*	Saint-Sébastien	45°46	70°57	442	1973	1980	8	5,6
	7785	Saint-Théophile	45°56	70°29	395	1966	1980	15	10,4
	7802*	Saint-Zacharie	46°07	70°23	480	1972	1980	9	12,7
	8120	Sawyerville-Nord	45°22	71°32	346	1965	1980	16	6,7
	8124**	Sherbrooke	45°24	71°54	181	1960	1971	11	4,4
	8440	Sherbrooke-A	45°26	71°41	241	1962	1980	19	2,1
		Thetford-Mines	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).

Numéro	Identification		Latitude nord (degrés et minutes)	Longitude ouest (minutes)	Altitude (mètres)	Période d'observations		Nombre d'années d'observations	Données manquantes (%)
	Nom de la station					Début	Fin		
8441*	Thetford-Mines		46°06'	71°22'	427	1967	1978	12	7,2
8441	Thetford-Mines		46°06'	71°21'	381	1979	1980	2	4,6
8676*	Vallée-Jonction		46°23'	70°56'	152	1965	1980	16	16,1
8720*	Victoriaville		46°04'	71°57'	148	1963	1970	8	14,0
8720	Victoriaville		46°03'	71°58'	137	1973	1980	7	17,3
8906*	West Ditton		45°24'	71°18'	508	1965	1980	16	11,9
8946*	Woburn		45°22'	70°53'	526	1972	1976	5	17,2
8946	Woburn		45°23'	70°52'	396	1977	1980	4	9,0
703	Barrage Mercier		46°43'	75°59'	236	1966	1980	15	16,5
0462	Barrage Mistigouèche		48°11'	68°01'	320	1966	1967	2	26,3
1375	Cheneville		45°54'	75°05'	223	1970	1980	11	23,8
3679	Lac Neoskewcau		51°52'	74°18'	337	1970	1971	2	54,2
4480*	Maniwaki		46°22'	75°59'	170	1964	1980	15	6,6
5290	Montréal-Mirabel-A		45°41'	74°02'	82	1976	1980	5	3,1
5520*	Nominique		46°23'	75°03'	274	1969	1980	12	21,8
6762*	Sainte-Agathe-des-Monts		46°03'	74°17'	395	1966	1980	15	2,8
7175	Saint-Emile-de-Suffolk		45°57'	74°55'	229	1976	--	1	30,4
7400*	Saint-Jérôme		45°48'	74°03'	169	1969	1980	10	15,1
8040*	Shawville		45°37'	76°28'	168	1980	1977	11	9,6
8350	Tapini Farm		46°56'	75°08'	274	1968	1977	10	37,5
DFLR	Matamek		50°17'	65°58'	5	1975	1980	6	37,8
J01E	Camp-M-107		51°04'	67°29'	488	1974	--	1	55,1
0440*	Baie-Comeau-A		49°08'	68°12'	22	1968	1980	13	7,3
0446	Baie-Saint-Paul		47°26'	70°30'	15	1979	1980	2	33,8
0812	Blanc-Sablon-A		51°25'	57°13'	19	1973	1980	8	32,0
1020	Cap-au-Corbeau		47°27'	70°27'	351	1966	1972	7	44,1
1177	Cap-Tourmente		47°04'	70°47'	6	1972	1980	9	24,1
2378*	Forestville		48°44'	69°05'	76	1968	1980	13	8,2
2388*	Forêt Montmorency		47°19'	71°09'	640	1967	1980	14	2,9
2590	Gagnon-A		51°57'	68°08'	566	1965	1980	16	28,1
2870	Grand-Fonds		47°45'	70°07'	366	1969	1980	12	28,7
3000	Harrington Harbour		50°32'	59°30'	8	1974	1978	5	41,5
3017	Havre-Saint-Pierre-A		50°15'	63°36'	5	1969	1978	6	22,7
3713	La Gaiette		47°44'	70°44'	741	1968	1971	4	15,1
4470	Manicouagan-A		50°39'	68°50'	406	1964	1971	8	19,0
4981	Mingan-A		50°17'	64°09'	22	1979	1980	2	3,9
5400**	Natashquan-A		50°12'	61°49'	7	1969	1980	12	5,7
7910	Sept-Iles-A		50°16'	66°15'	55	1966	1980	15	26,7
1120	Caplan		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).

Numéro	Identification		Latitude nord (degrés et minutes)	Longitude ouest (minutes)	Altitude (mètres)	Période d'observations		Nombre d'années d'observations	Données manquantes (%)
	Nom de la station					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
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).

Numéro	Identification		Latitude nord (degrés et minutes)	Longitude ouest (degrés et minutes)	Altitude (mètres)	Période d'observations		Nombre d'années d'observations	Données manquantes (%)
	Nom de la station					Début	Fin		
707	3652	Lac Innam	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 Temiscamingue	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
710	8600**	Val-d'Or-A	48°03	77°47	338	1961	1980	20	3,9
	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).

Tableau C.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	0,7	1,6
	6294	Québec-A	1,5	1,1	1,3	1,3	0,7	3,5	3,5	1,6
702	6900	Saint-Augustin	3,1	2,5	2,0	2,4	2,5	1,3	2,3	2,3
	3312	Island-Brook	2,9	4,5	5,9	10,6	5,3	4,7	4,7	5,7
	4280	Lennoxville-CDA	2,8	5,2	10,4	3,2	4,7	6,8	5,5	5,5
	4624	Maple-Leaf-East	3,8	1,5	3,0	1,5	2,8	9,4	3,7	3,7
	5250	Montréal-International-A	0,7	1,8	2,0	0,4	0,7	1,4	1,2	1,2
	5280	Montréal-McGill	1,0	1,4	7,1	1,8	0,5	0,5	0,5	2,1
	5745	Ormstown	16,1	8,1	1,1	7,3	8,5	8,2	8,2	8,2
	7120	Saint-Edwidge	16,6	14,9	25,5	10,7	15,3	14,4	16,3	16,3
	7200	Saint-Ephrem	23,2	18,7	8,1	6,5	5,4	3,4	10,9	10,9
	7283	Saint-Georges	15,8	16,3	10,5	2,1	2,1	18,9	11,0	11,0
	7320	Saint-Hubert-A	15,2	8,7	14,8	15,6	14,8	14,7	14,0	14,0
	7372	Saint-Isidore-D'Auckland	15,0	7,7	13,1	9,0	5,6	1,0	8,6	8,6
	7750	Saint-Théophile	10,7	8,8	15,3	16,1	1,9	9,0	10,4	10,4
7802	Sawerville-Nord	6,6	5,3	3,1	3,7	7,3	3,5	4,9	4,9	
8124	Sherbrooke-A	0,6	0,8	0,9	2,1	1,0	0,6	1,0	1,0	
8676	Vallee-Jonction	20,5	13,7	11,3	14,3	13,6	13,6	8,9	13,7	
8906	West Ditton	8,9	12,3	11,9	6,6	9,9	9,9	14,0	10,6	
703	0457	Barrage Mercier	12,1	14,5	17,9	9,7	7,1	37,2	16,5	16,5
	6762	Sainte-Agathe-des-Monts	8,5	2,7	0,2	0,7	3,3	1,6	2,8	2,8
705	4095	La Pocatière-CDA	1,7	0,9	0,4	0,3	0,7	1,1	0,9	0,9
	6480	Rimouski	16,1	12,4	4,6	1,3	3,7	21,8	9,9	9,9
	7287	Sainte-Germaine	12,4	9,9	9,1	4,1	8,1	9,5	8,9	8,9
	7518	Saint-Malachie	2,4	1,1	1,3	4,2	7,6	1,9	3,1	3,1
706	0400	Bagotville-A	7,7	2,3	2,9	1,7	4,2	6,2	4,2	4,2
	5640	Normandin-CDA	10,5	8,4	7,9	4,8	3,5	17,5	8,8	8,8
708	0452	Barrage des Quinze	33,9	16,3	13,5	4,8	1,4	5,5	12,6	12,6
709	8600	Val-d'Or-A	7,2	1,1	1,2	1,1	2,4	0,7	2,3	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	15,7
702	4320	Lingwick	11,4	15,5	16,4	25,5	15,5	18,0	17,1	17,1
	5260	Montréal Jean-Brébeuf	13,1	9,0	15,4	15,0	15,2	23,0	15,2	15,2
704	8441	Thetford Mines	9,0	9,5	4,3	4,1	2,0	6,6	5,9	5,9
	2388	Forêt Montmorency	8,6	7,4	0,2	0,1	0,3	0,9	2,9	2,9
705	1160	Cap-Madeleine	18,0	13,9	2,7	3,0	1,5	12,6	8,6	8,6
706	7060	Saint-Coeur-de-Marie	32,7	23,9	9,1	4,6	1,6	31,4	17,2	17,2

Tableau C.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 Temiscamingue	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-Belleue	13,4	10,0	11,7	9,9	2,3	18,9	11,1
	8720	Victoriaville	27,3	23,2	18,5	10,5	11,5	16,9	18,0
704	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
	6970	Saint-Charles-Garnier	28,9	15,4	11,6	15,3	18,4	26,7	19,4
706	5100	Mont Apica	20,6	13,2	20,8	12,7	12,2	33,5	18,8
	6080	Portage des Roches	13,9	12,4	4,7	2,7	7,4	18,6	10,0
707	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

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).

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

¹ En pourcentage de la pluie totale mensuelle.

² 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).
B: Natashquan-A (1969-1980).

Durée (heure) Mois ¹	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18+
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	0,0	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	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,09
Juillet	4,94	13,22	9,09	8,6	8,83	11,82	3,06	4,08	4,77	9,25	6,11	3,70	3,69	0,0	0,0	0,0	0,0	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	0,0	0,0	0,0
Septembre	5,66	7,50	5,45	8,24	11,27	6,85	6,45	9,00	7,64	14,57	1,17	2,52	4,45	3,62	0,0	2,07	0,0	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	6,7	1,77	5,75	0,0	9,57
Période ² complète	5,83	8,05	8,29	8,45	7,61	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

¹ En pourcentage de la pluie totale mensuelle.

² 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).

Durée (heure) Mois ¹	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18+
Mai	6,40	12,11	10,65	11,82	10,87	11,05	6,16	7,02	10,95	1,39	0,0	6,86	1,42	1,12	0,0	2,18	0,0	0,0
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	0,0	0,0	1,88	2,89	0,0	0,0
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	0,0	2,03	0,0	0,0	0,0	1,93
Août	12,8	17,00	16,34	13,26	5,46	6,59	7,73	5,59	7,43	3,49	0,0	0,0	2,02	0,81	0,0	1,48	0,0	0,0
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	0,0	0,0	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	0,0	1,00	0,0	3,81
Période ² 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

(C)

¹ En pourcentage de la pluie totale mensuelle.

² En pourcentage de la pluie saisonnière.

Tableau D.3 Distribution mensuelle à la contribution à la pluie totale des épisodes pluvieux en fonction de leur durée.
A: Québec-A (1966-1980).

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

(A)

¹ En pourcentage de la pluie totale mensuelle.

² En pourcentage de la pluie saisonnière.

Tableau D.3 Distribution mensuelle à la contribution à la pluie totale des épisodes pluvieux en fonction de leur durée (suite).
B: Sherbrooke-A (1966-1980).

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

¹ En pourcentage de la pluie totale mensuelle.

² En pourcentage de la pluie saisonnière.

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

Durée (heure) Mois ¹	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18+
Mai	7,97	7,48	13,75	11,58	6,52	6,75	6,36	11,64	1,90	3,62	0,0	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	0,0	4,51	0,69	4,63	1,89	1,07	3,99	0,36	2,15	0,0	0,0	10,42
Juillet	17,66	21,53	19,65	10,11	9,41	4,31	4,78	5,91	0,88	0,0	0,0	0,64	2,76	0,0	2,36	0,0	0,0	0,0
Août	14,53	19,05	17,26	9,22	7,28	10,06	4,18	3,64	0,0	3,79	2,29	3,34	1,72	0,76	0,0	0,0	0,0	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	0,0	5,39	0,0	0,0	1,26	1,95	6,3
Octobre	5,57	6,58	8,35	10,3	6,02	9,33	11,96	9,06	6,03	5,94	3,93	1,21	3,81	4,45	1,77	4,34	0,0	1,35
Période ² 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

¹ En pourcentage de la pluie totale mensuelle.

² En pourcentage de la pluie saisonnière.

Tableau D.3 Distribution mensuelle à la contribution à la pluie totale des épisodes pluvieux en fonction de leur durée (suite).
D: Cap Madeleine (1967-1980).

Durée (heure)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18+
Mois ¹																		
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	0,0	0,0	0,0	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	0,0	1,38	0,0	0,0	12,04
Juillet	12,23	17,49	15,02	12,96	4,99	4,69	5,38	3,86	3,25	4,85	0,0	0,0	2,47	1,51	0,0	0,0	0,0	11,30
Août	9,52	12,31	11,82	16,12	8,88	6,93	6,88	3,61	3,73	0,0	0,73	0,9	1,44	4,36	0,0	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	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,27	9,77
Octobre	7,49	6,53	5,49	9,49	7,76	6,74	4,29	6,43	5,99	0,0	2,46	9,86	3,76	3,52	0,0	0,0	8,6	11,59
Période ² 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

(D)

¹ En pourcentage de la pluie totale mensuelle.

² En pourcentage de la pluie saisonnière.

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

Durée (heure)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18+
Mois ¹																		
Mai	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	0,0	0,0	0,0	1,99	0,0	5,67
Juillet	13,30	25,0	16,55	12,68	10,48	2,89	4,57	3,29	0,0	4,54	0,0	0,0	1,18	1,87	3,65	0,0	0,0	0,0
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	0,0	0,0	4,70	3,48	0,0
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	0,0	7,16	0,88	1,65	0,0	7,37
Octobre	6,49	6,25	5,92	10,31	10,47	7,70	7,72	4,53	4,08	6,02	8,93	4,21	0,0	0,0	0,0	2,80	0,0	14,56
Période ² 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

(E)

¹ En pourcentage de la pluie totale mensuelle.

² En pourcentage de la pluie saisonnière.

Tableau D.3 Distribution mensuelle à la contribution à la pluie totale des épisodes pluvieux en fonction de leur durée (suite).
F: Bagotville-A (1966-1980).

Durée (heure)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18+
Mois ¹																		
Mai	8,23	11,69	9,74	12,66	5,47	11,83	10,92	2,57	3,43	3,28	6,15	4,66	0,0	2,17	0,0	4,05	0,0	3,15
Juin	13,94	21,65	9,01	8,70	7,32	7,27	5,15	3,86	2,33	2,43	0,0	5,02	1,25	2,94	0,0	0,0	0,0	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	0,0	0,0	0,0	2,72	0,0	0,0
Août	13,02	22,19	14,61	7,65	11,05	7,97	2,40	5,72	5,48	0,0	2,27	0,0	0,0	1,92	0,0	1,43	0,0	4,29
Septembre	8,13	10,19	10,44	10,76	13,83	6,79	8,94	5,51	5,37	0,0	0,0	6,17	3,33	0,0	1,36	0,0	0,0	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	0,0	0,0	0,0	0,0
Période ² 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	0,0	4,38

(F)

¹ En pourcentage de la pluie totale mensuelle.

² En pourcentage de la pluie saisonnière.

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

Durée (heure)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18+
Mois ¹																		
Mai	7,96	19,54	15,14	5,90	11,91	7,58	6,52	6,64	3,49	0,0	3,88	5,12	1,94	0,0	0,0	0,0	0,0	4,38
Juin	10,58	21,52	12,75	12,01	7,22	6,64	4,85	6,63	3,50	3,56	5,56	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,18
Juillet	12,82	20,72	21,2	9,84	8,31	7,30	6,47	1,89	4,22	3,68	1,99	0,0	0,0	1,55	0,0	0,0	0,0	0,0
Août	11,44	15,13	21,03	10,04	10,89	3,01	9,15	1,34	0,38	6,24	7,27	1,04	0,0	3,04	0,0	0,0	0,0	0,0
Septembre	9,82	9,69	9,82	13,67	5,15	7,80	10,10	2,19	4,69	8,37	2,27	4,29	0,0	0,0	2,42	0,0	4,15	5,57
Octobre	8,74	8,06	7,92	10,33	10,53	9,51	9,40	6,53	6,49	3,20	3,47	3,93	0,0	1,88	2,52	1,12	3,43	2,94
Période ² complète	10,49	15,55	14,84	10,74	8,62	6,83	7,88	3,79	3,74	4,70	4,05	2,15	0,19	1,14	0,87	0,16	1,36	2,89

(G)

¹ En pourcentage de la pluie totale mensuelle.

² En pourcentage de la pluie saisonnière.

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.

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).

Tableau D.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).

Tableau D.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).

Tableau D.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).

Tableau D.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).

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 et al., 1983)	$E(x) = \frac{\alpha^{-1/D} \Gamma(\lambda + 1/D)}{\Gamma(\lambda)}$	$Var(x) = \frac{\alpha^{-2/D} [\Gamma(\lambda) \Gamma(\lambda + 2/D) - \Gamma^2(\lambda + 1/D)]}{\Gamma^2(\lambda)}$	$C_s = \frac{\Gamma^2(\lambda) \Gamma(\lambda + 3/D) - 3\Gamma(\lambda + 2/D) \Gamma(\lambda + 1/D) + 2\Gamma^3(\lambda + 1/D)}{[\Gamma(\lambda) \Gamma(\lambda + 2/D) - \Gamma^2(\lambda + 1/D)]^{3/2}}$

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
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
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
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.