

Entente MRN (Qualité) - INRS (Eau)

Etude intégrée de la qualité des eaux
des bassins versants des rivières
Saint-François et Yamaska.

Volume 4: Secteur des eaux atmosphériques.

Rapport final

par

M. Lachance
J.L. Sasseville

INRS-Eau
Université du Québec
C.P. 7500
Québec 10, Québec

Novembre 1976

INRS-Eau
UNIVERSITE DU QUEBEC
C.P. 7500, Sainte-Foy
Québec G1V 4C7

RAPPORT SCIENTIFIQUE No 54
1976

Rapport rédigé pour
le ministère des Richesses naturelles, Québec

par
M. Lachance, J.L. Sasseville

Etude intégrée de la qualité des eaux des
bassins versants des rivières Saint-François
et Yamaska.

Volume 4:
secteur des eaux atmosphériques

ISBN 2-89146-057-X

DEPOT LEGAL 1976

Tous droits de traduction, de reproduction et d'adaptation réservés

© 1976 - Institut national de la recherche scientifique

BIBLIOTHEQUE NATIONALE DU QUEBEC
Eléments de catalogage avant publication

Québec (Province) Service de la qualité des eaux.

Etude intégrée de la qualité des eaux des bassins versants des rivières Saint-François et Yamaska. — [Québec] : Ministère des richesses naturelles, Direction générale des eaux, Service de la qualité des eaux,

Etude réalisée par une équipe conjointe du Ministère des richesses naturelles (MRN - Qualité des eaux) et de l'Institut national de la recherche scientifique (INRS - Eau).

1. Eau - Qualité - Québec (Province) - Saint-François, Rivière (Yamaska). 2. Eau - Qualité - Québec (Province) - Yamaska, Rivière (Yamaska). I. Institut national de la recherche scientifique. Eau. II. Titre.

Vol. 4 : Secteur des eaux atmosphériques / par M. Lachance, J.L. Sasseville. - (Q.E.-19).

1. Lachance, Marius, 1945- . II. Sasseville, Jean-Louis, 1945- . III. (Collection : Québec (Province) Direction générale des eaux. Qualité des eaux ; Q.E.-19).
R5E2Q3/19

PARTICIPANTS A CETTE ETUDE

Lachance, M.	agent de recherche	INRS-Eau
Sasseville, J.L.	professeur	INRS-Eau
Campbell, P.G.	professeur	INRS-Eau
Fréchette, A.	professionnel	MRN-Qualité
Cantin, M.	professionnel	INRS-Eau
Roy, C.	technicien	MRN-Qualité

REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier le Service de météorologie du Ministère des Richesses naturelles pour avoir mis à la disposition de l'étude, le réseau météorologique existant sur le bassin de la rivière Yamaska et pour avoir fourni les données pluviométriques nécessaires.

Des remerciements sont faits aussi au personnel du laboratoire du Service de la qualité des eaux pour toutes les analyses chimiques effectuées.

Enfin, on remercie le service de rédaction de l'INRS-Eau, spécialement M. André Parent, pour la reproduction des figures, et Mlle Lise Raymond et Mme Marie Lafrance pour la dactylographie des textes.

RESUME

Afin de connaître la composition chimique des précipitations sur un bassin et d'en évaluer leur apport en substances nutritives, un réseau de 20 stations a été installé sur le bassin versant de la rivière Yamaska (4912 km²) et des échantillons mensuels (pluie et neige) ont été recueillis et analysés sur une période de 15 mois entre le 1er août 1974 et le 1er octobre 1975. On a mesuré sur ces échantillons les concentrations en ions majeurs: Na, K, Ca, Mg, Cl, SO₄ et H⁺ et en substances nutritives: N-NO₃, N-NH₄, N-organique, P-PO₄, P-hydrolysable, P-total et C-organique. Les résultats démontrent un apport annuel important en nitrates et en azote ammoniacal (587 et 653 kg N/km²) et un apport non négligeable en phosphore (36 kg P-total/km²). On a observé des concentrations maximales en été pour le phosphore, en hiver pour les nitrates et au printemps pour l'azote ammoniacal. L'examen des concentrations moyennes obtenues à chaque station fait ressortir les influences locales et régionales et démontre l'importance d'un réseau assez dense pour bien évaluer les apports atmosphériques.

MOTS CLE:

précipitation / apport / chimie / atmosphère / substances nutritives /
réseau / pluie / neige

REFERENCE:

Lachance, M. et J.L. Sasseville. (1976). *Etude intégrée de la qualité des eaux des bassins versants des rivières Saint-François et Yamaska. Volume 4: Secteur des eaux atmosphériques*. INRS-Eau, rapport scientifique no 54, 50 p. (Rapport soumis au Ministère des Richesses naturelles, Québec).

TABLE DES MATIERES

1.	INTRODUCTION	1
2.	METHODOLOGIE ET MATERIEL	4
2.1	Stations	5
2.2	Collecteurs de précipitation	5
2.3	Protocole d'échantillonnage	6
2.4	Evaluation du protocole d'échantillonnage	7
2.5	Analyses effectuées	8
2.6	Calcul des charges mensuelles sur le bassin	9
2.7	Calcul des concentrations moyennes à chaque station	10
3.	RESULTATS	17
4.	DISCUSSION	35
5.	RECOMMANDATIONS	44
	BIBLIOGRAPHIE	47

LISTE DES TABLEAUX

	<u>Page</u>	
2.1	Localisation des stations d'échantillonnage des eaux de précipitation sur le bassin de la rivière Yamaska	11
2.2	Tableau synoptique des méthodes d'analyse utilisées par le laboratoire du service de la qualité des eaux du Ministère des Richesses naturelles du Québec	12
3.1	Précipitation moyenne calculée sur le bassin de la Yamaska	20
3.2	Concentrations moyennes et médianes mensuelles des substances nutritives dans les précipitations sur le bassin de la rivière Yamaska	21
3.3	Charges en substances nutritives apportées par les précipitations	22
3.4	Concentrations moyennes pondérées des substances nutritives à chaque station pour la période du 1er novembre 1974 au 31 octobre 1975	23
4.1	Comparaison entre deux méthodes de calcul de la concentration moyenne annuelle sur le bassin de la rivière Yamaska	41
4.2	Comparaison des concentrations en azote, phosphore et carbone mesurées dans les précipitations à proximité de la région d'étude	42
4.3	Retombées atmosphériques d'azote inorganique et de phosphore	43

LISTE DES FIGURES

		<u>Page</u>
2.1	Stations d'échantillonnage des précipitations sur le bassin de la Yamaska	13
2.2	Collecteur de pluie utilisé pour l'étude de la qualité des précipitations sur le bassin de la rivière Yamaska	14
2.3	Collecteur de neige utilisé pour l'étude de la qualité des précipitations sur le bassin de la rivière Yamaska	15
2.4	Polygones de Thiessen utilisés sur le bassin de la Yamaska	16
3.1	Précipitation totale annuelle sur le bassin de la Yamaska	24
3.2	Variation mensuelle des concentrations médianes en nitrate, azote ammoniacal et azote organique dans les précipitations sur le bassin de la rivière Yamaska	25
3.3	Variation mensuelle des concentrations médianes en phosphore total, phosphore hydrolysable et orthophosphate dans les précipitations sur le bassin de la rivière Yamaska	26
3.4	Variation mensuelle des concentrations en carbone organique dans les précipitations sur le bassin de la rivière Yamaska	27
3.5	Variation spatiale des concentrations moyennes annuelles de nitrate (exprimées en mg/l N)	28
3.6	Variation spatiale des concentrations moyennes annuelles d'azote ammoniacal (exprimées en mg/l N)	29
3.7	Variation spatiale des concentrations moyennes annuelles d'azote organique (exprimées en mg/l N)	30

3.8	Variation spatiale des moyennes annuelles d'orthophosphate (exprimées en mg/l P)	31
3.9	Variation spatiale des concentrations moyennes annuelles de phosphore hydrolysable (exprimées en mg/l P)	32
3.10	Variation spatiale des concentrations moyennes annuelles de phosphore total (exprimées en mg/l P)	33
3.11	Variation spatiale des concentrations moyennes annuelles de carbone organique (exprimées en mg/l C)	34

AVANT-PROPOS

Le présent volume concerne l'étude de la qualité des précipitations entreprise sur le bassin de la rivière Yamaska. L'étude de la qualité physico-chimique des précipitations s'inscrivait dans le cadre d'un projet visant à suivre sur un bassin l'évolution de la qualité de l'eau dans le cycle hydrologique. Ce projet avait pour objectif de réaliser d'abord un bilan hydrochimique global sur un bassin et ensuite de suivre l'origine, l'évolution et le cheminement des différentes substances rencontrées dans les eaux de surface afin de mieux évaluer l'apport des activités humaines aux eaux atmosphériques, souterraines et de surface. Ce projet a été plus tard mis en seconde priorité par le Ministère des Richesses naturelles; l'étude entreprise sur la qualité des précipitations a cependant été intégrée au projet d'application d'un modèle d'apports sur les bassins des rivières Yamaska et Saint-François. Dans ce contexte, les seuls apports atmosphériques considérés sont ceux en carbone, en azote et en phosphore.

Dans le cadre de cette étude, on s'attachera donc à une revue des principales études portant sur la chimie des précipitations, à une description du protocole d'échantillonnage utilisé, à une présentation des résultats pertinents (C, N, P) et à une discussion des valeurs obtenues à la lumière des résultats rapportés par la littérature.

1. INTRODUCTION

Les nombreuses études de chimie des précipitations peuvent être réparties en trois groupes principaux: l'évaluation de l'apport atmosphérique en substances nutritives, l'étude de l'efficacité des précipitations comme agent nettoyant l'atmosphère de ses polluants, et l'évaluation pour des fins géophysiques de l'importance du transport atmosphérique dans la circulation des matières solubles.

Les premières études publiées sur la chimie des précipitations remontent à 1872 (Smith, 1872, cité par Eriksson, 1952a) et ont été résumées par Clarke (1920). Ces études portaient sur des mesures prises de façon irrégulière et plutôt irrationnelle. Au début des années 50, les Suédois ont entrepris des études plus systématiques en installant dans leur pays un réseau de collecteurs de précipitation (Egner *et al.*, 1949; Eriksson, 1952a; b).

Ce réseau fut plus tard étendu à toute la Scandinavie, à l'Angleterre et à une partie de l'Europe centrale (Egner et Eriksson, 1955). Ce réseau opéré pendant plusieurs années et comportant plus de 70 stations a permis de connaître précisément dans ces régions la répartition spatiale des concentrations (Eriksson, 1966; Stevenson, 1969). Les mesures recueillies par ce réseau ont permis entre autres de suivre l'évolution de l'augmentation de l'acidité et du soufre dans les précipitations et de déterminer l'influence des régions industrialisées de l'Angleterre et du centre de l'Europe dans la détérioration de la qualité des précipitations en Suède et en Norvège (Brosset, 1973).

Une étude systématique de la qualité des précipitations fut entreprise aux Etats-Unis par Junge et ses collaborateurs (Junge et Gustafson, 1956). Un réseau d'environ 60 stations réparties sur tout le territoire des Etats-Unis a fonctionné pendant un an de juillet 1955 à juin 1956. Les données recueillies ont servi principalement à y tracer des cartes donnant la répartition des concentrations moyennes annuelles des ions majeurs (Cl, SO₄, Na, K, Ca; Junge et Werby, 1958) ainsi que des substances nutritives (NO₃, NH₄; Junge, 1958).

Quelques années plus tard, en 1958, les russes ont manifesté à leur tour un grand intérêt pour la chimie des précipitations. Ils ont établi et maintenu pendant sept ans un réseau de 28 stations réparties sur tout le territoire européen de l'Union Soviétique. Cette étude a permis de déterminer les apports atmosphériques et l'importance relative des influences marines, terrestres et humaines (Selezneva, 1971); de plus, cette étude a servi à jeter les bases d'une planification et d'une rationalisation des réseaux de stations de cueillette des précipitations pour en étudier la composition chimique et en évaluer leur apport (Karol et Myatch, 1972).

Par la suite, d'autres études avec des réseaux de moindre envergure ont été entreprises à travers le monde. On peut citer entre autres les études faites en Australie (Hutton, 1958; Hutton et Leslie, 1958), en Tchécoslovaquie (Macku *et al.*, 1959), au Canada dans la région des Grands Lacs (Shiomi et Kuntz, 1973), aux Etats-Unis, dans la région des Grands-Lacs (Lodge *et al.*, 1968), en Caroline du Nord et en Virginie (Gambell et Fisher, 1971), dans la Nouvelle-Angleterre (Pearson et Fisher, 1971) et à Hubbard Brook dans le New-Hampshire (Likens *et al.*, 1967; Fisher *et al.*, 1968). Notons enfin qu'aux Etats-Unis on a tenté à deux reprises de poursuivre l'étude entreprise par Junge et d'installer des réseaux de stations réparties à la grandeur du territoire des Etats-Unis. Le premier réseau installé en 1959 comprenait 33 stations et a fonctionné jusqu'en 1966. Un second réseau installé et maintenu par "Environmental Protection Agency" (EPA) et par "National Oceanic and Atmospheric Administration" (NOAA) comprend 17 stations et fonctionne tant bien que mal depuis 1972 (Miller, 1974). Plus récemment, quelques stations ont été installées en Afrique et en Amérique du Sud en vue d'établir un jour un réseau international de collecteurs de précipitations (Miller, 1974).

Une excellente synthèse des travaux portant sur la qualité des précipitations a été faite par Junge (1963) dans "Air Chemistry and Radioactivity". D'autre part, Vollenweider (1968) ainsi que Uttomark *et al.* (1974) ont fait également de bons résumés des études concernant les apports atmosphériques en azote et en phosphore.

2. METHODOLOGIE ET MATERIEL

2.1 Stations

Vingt points d'échantillonnage, correspondant à des stations météorologiques existantes, ont été choisis pour l'étude entreprise; on trouvera dans le Tableau 2.1 la liste de ces stations et leurs coordonnées géographiques, et sur la Figure 2.1 leur emplacement par rapport à la rivière Yamaska et ses tributaires.

Les critères de sélection des stations ont été élaborés à partir des caractéristiques du réseau météorologique existant sur le bassin. Parmi les 24 stations météorologiques du bassin, nous en avons retenu 20, réparties uniformément sur l'ensemble du territoire et représentatives de la région où elles étaient situées.

L'échantillonnage à toutes les stations, sauf à une, a commencé au milieu du mois de juillet 1974 et s'est terminé le 1er novembre 1975. L'opération de la station de Roxton-Falls a débuté trois semaines plus tard; la station de Bromont a été abandonnée le 1er mars 1975 suite au déménagement de l'observateur et à la relocalisation de la station météorologique à un endroit trop exposé à des influences locales.

2.2 Collecteurs de précipitation

Le collecteur de pluie comprend un entonnoir "Buchner" en polyéthylène de 17 cm de diamètre qui capte la précipitation et la dirige dans un entonnoir à décantation en polyéthylène d'une capacité de 1 litre (Figure 2.2). L'entonnoir à décantation, monté sur un support de laboratoire, est placé à l'intérieur d'une boîte en bois de 45 cm de côté et de 76 cm de hauteur, tandis que l'entonnoir Buchner est placé à l'extérieur de la boîte. La partie inférieure de l'entonnoir Buchner contient un tamis en polyéthylène d'une porosité moyenne de 350 micromètres (μm).

Le collecteur de neige comprend une cheminée qui dirige la neige dans un contenant (Figure 2.3). La cheminée, faite avec une chaudière en plastique sans fond, a un diamètre supérieur de 28 cm, un diamètre inférieur de 23 cm et une hauteur de 30 cm. Le contenant est une chaudière en plastique d'une hauteur de 76 cm.

Le tout est monté dans la même boîte en bois dont la partie supérieure a été modifiée pour permettre d'y placer la cheminée.

A cause de leur forme, les collecteurs de précipitation ont une efficacité inférieure à celle des pluviomètres et nivomètres standards. Pour les faibles précipitations sous forme de pluie ($< 2\text{mm}$), le collecteur a une efficacité moindre à cause de l'accumulation d'une certaine quantité d'eau sur les parois de l'entonnoir Buchner et sur le tamis, et de son évaporation partielle subséquente. Par contre, sur une base mensuelle, l'efficacité moyenne du capteur de pluie est assez bonne ($\sim 87\%$). Le capteur de neige a une efficacité moyenne plus faible ($\sim 75\%$) et elle dépend fortement de l'intensité et du type de précipitation; la forme du collecteur n'empêche pas la formation de turbulence au-dessus du capteur et cette turbulence peut diminuer de beaucoup son efficacité.

2.3 Protocole d'échantillonnage

Durant la période s'étendant du 1er avril au 1er novembre, la précipitation accumulée dans l'entonnoir à décantation était recueillie dans une bouteille en polyéthylène d'une capacité d'un litre par un observateur lors de l'observation météorologique de 08:00 heures ou de 16:00 heures; à la suite de cette opération, la bouteille était entreposée immédiatement au congélateur. Ainsi, la précipitation sous forme de pluie demeurait au maximum une demi-journée dans le collecteur. Lors des précipitations suivantes, l'observateur utilisait la même bouteille pour recueillir la précipitation tant que cette bouteille n'était pas remplie. Pendant un mois, l'observateur pouvait recueillir ainsi de 1 à 3 litres d'eau.

Un technicien du Service de la Qualité des Eaux du Ministère des Richesses naturelles visitait mensuellement chaque station d'échantillonnage et recueillait dans des glacières les échantillons congelés. A leur arrivée au laboratoire, ces bouteilles étaient réchauffées lentement à la température de la pièce et mélangées ensemble pour obtenir un échantillon mensuel pour chacune des stations. Ces échantillons mensuels correspondaient à la période s'étendant du premier au dernier jour de chaque mois.

Au cours de la période d'hiver (1er novembre au 1er avril), le protocole d'échantillonnage était simplifié. La précipitation (sous forme de neige) captée pendant un mois, était laissée dans la chaudière servant de contenant. Les obser-

vateurs voyaient à ce que la neige ne s'accumule pas sur la boîte, risquant ainsi d'obstruer la cheminée. Le technicien, lors de sa visite, au début de chaque mois, recueillait les chaudières et les amenait au laboratoire où elles étaient réchauffées lentement à la température de la pièce. Les échantillons composés ainsi obtenus ne couvraient pas tous la même période, le technicien ne pouvant visiter toutes les stations le même jour; les périodes pouvaient ainsi être décalées de plusieurs jours.

Lors de sa visite mensuelle, le technicien changeait soit l'entonnoir Buchner et l'entonnoir à décantation en période estivale, soit la chaudière servant de contenant en période hivernale. Au laboratoire, les entonnoirs étaient lavés et rincés plusieurs fois à l'eau déminéralisée afin d'éviter toute contamination. Les tamis placés à l'intérieur des entonnoirs Buchner étaient remplacés par de nouveaux tamis préalablement rincés à l'eau déminéralisée. Des analyses effectuées sur l'eau de rinçage des entonnoirs et contenants ont démontré que la contamination provenant de l'équipement utilisé était négligeable.

2.4 Evaluation du protocole d'échantillonnage

A notre connaissance il n'existe pas deux études de chimie des précipitations qui utilisent des méthodes semblables pour la collecte d'échantillons. Cependant, avec presque tous les réseaux cités précédemment on recueille des échantillons composés mensuels des précipitations et on laisse l'échantillon dans le même contenant pendant toute la période d'échantillonnage sans utiliser de préservatif pour minimiser l'activité biologique. Le réseau installé par Junge (1956) ne recueillait que les retombées humides tandis que les réseaux russes, européens, australiens et les réseaux américains de Gambell et Fisher (1968) et de Pearson et Fisher (1971) ainsi que celui de Shiomi et Kuntz (1973) recueillaient les retombées globales des précipitations (bulk precipitation). Dans les régions plus nordiques, on utilisait la même entonnoir pour recueillir la pluie et la neige en plaçant à l'intérieur du collecteur une ampoule foncée contrôlée thermostatiquement qui empêchait l'échantillon de geler et réchauffait l'entonnoir permettant à la neige de fondre et de s'écouler dans le contenant. Ces entonnoirs réchauffés se sont avérés être des collecteurs de très faible efficacité dans des endroits où le climat est plutôt froid (Shiomi et Kuntz, 1973).

Le protocole d'échantillonnage utilisé dans cette étude comporte certaines ressemblances avec les autres réseaux. Entre autres, les concentrations des paramètres chimiques sont mesurées sur une base mensuelle et intègrent les retombées globales des précipitations et par conséquent sont influencées par les contaminations locales. Par contre, le protocole utilisé se différencie des autres par le type et la forme du collecteur et par la préservation des échantillons par la congélation.

Nous avons parlé précédemment de l'efficacité du capteur de pluie et du problème de l'évaporation d'une certaine quantité d'eau sur les parois de l'entonnoir Buchner et sur le tamis à cause de la nature hydrophobe du polyéthylène. Les autres réseaux utilisaient des entonnoirs en verre et plaçaient habituellement au fond de l'entonnoir un filtre en fibre de verre qui laissait passer l'eau plus facilement tout en protégeant les échantillons des particules contaminantes. De plus, leurs entonnoirs étaient protégés par une série de tiges verticales placées à égale distance autour de l'entonnoir pour empêcher les oiseaux de s'y poser. La contamination provenant des oiseaux peut devenir particulièrement importante à certaines périodes de l'année; elle est habituellement détectée par des concentrations anormalement élevées en azote organique, en phosphore et en potassium (Gore, 1968).

L'utilisation de la congélation comme méthode de préservation des échantillons est une caractéristique importante du réseau utilisé dans cette étude. Cette méthode permet de minimiser l'activité biologique dans les échantillons et semble beaucoup supérieure à toute autre méthode qui utilise des additifs. Cependant, la présence d'observateurs demeurant à proximité est une condition indispensable pour surveiller les installations et pour recueillir et congeler le plus rapidement possible les échantillons. La localisation des stations à proximité des résidences d'observateurs, conséquence de l'utilisation de cette méthode, entraîne certains dangers de contamination par les poussières soulevées et mises en circulation à proximité ainsi que par les émanations provenant de cheminées et de moteurs à combustion. Comme la majorité des stations sont installées en milieu rural, les activités agricoles sont les activités les plus susceptibles d'influencer la composition chimique des échantillons au cours de l'année d'étude.

2.5 Analyses effectuées

Tous les échantillons prélevés avant le 1er mai 1975 ont été filtrés avant

analyse sur un filtre Gelman d'une porosité de $0.45 \mu\text{m}$. Après le 1er mai, soupçonnant que les filtres Gelman pouvaient être une source de contamination en azote et en carbone, les échantillons ont été séparés en deux fractions: une fraction filtrée comme auparavant et servant à l'analyse des cations majeurs, et une autre fraction, passée sur un filtre en fibre de verre (Whatman GF/C) préalablement chauffé pendant huit heures à 550°C , servant à l'analyse des anions majeurs et des substances nutritives. Des analyses effectuées sur quelques échantillons passés sur les deux types de filtre utilisés ont montré qu'il n'y avait pas de différence dans les concentrations en phosphore et en anions majeurs dans les filtrats; toutefois, les concentrations en carbone organique et en azote organique étaient légèrement plus élevées dans les échantillons ayant passé à travers le filtre en fibre de verre. Ceci pourrait s'expliquer par la porosité plus grande du filtre en fibre de verre.

Toutes les analyses indiquées dans le Tableau 2.2 ont été effectuées par le laboratoire du Service de la Qualité des Eaux du Ministère des Richesses naturelles. On trouve aussi dans ce tableau la précision, la limite de détection et la méthode d'analyse employée.

2.6 Calcul des charges mensuelles sur le bassin

La précipitation moyenne mensuelle sur le bassin de la Yamaska a été calculée en utilisant la méthode des polygones de Thiessen à partir des données provenant des vingt stations météorologiques correspondant aux stations d'échantillonnage (Figure 2.4). Les données manquantes ou fausses ont été estimées par triangulation avec les stations voisines. Les estimations provenant de la triangulation étaient en général satisfaisantes à cause de la forte densité du réseau météorologique existant sur ce bassin.

Pour chaque mois de la période d'étude, on a calculé la médiane des valeurs de concentration obtenues sur l'ensemble du bassin. Ces calculs ont été effectués après une élimination de certaines valeurs jugées non représentatives; le nombre de valeurs ainsi éliminées a cependant été réduit au minimum de façon à ne pas biaiser le calcul tout en tenant compte de la difficulté de déceler la présence de contamination et d'évaluer la représentativité de l'échantillon. Les charges mensuelles sur l'ensemble du bassin ont été calculées à partir des concentrations médianes et des précipitations moyennes.

2.7 Calcul des concentrations moyennes à chaque station

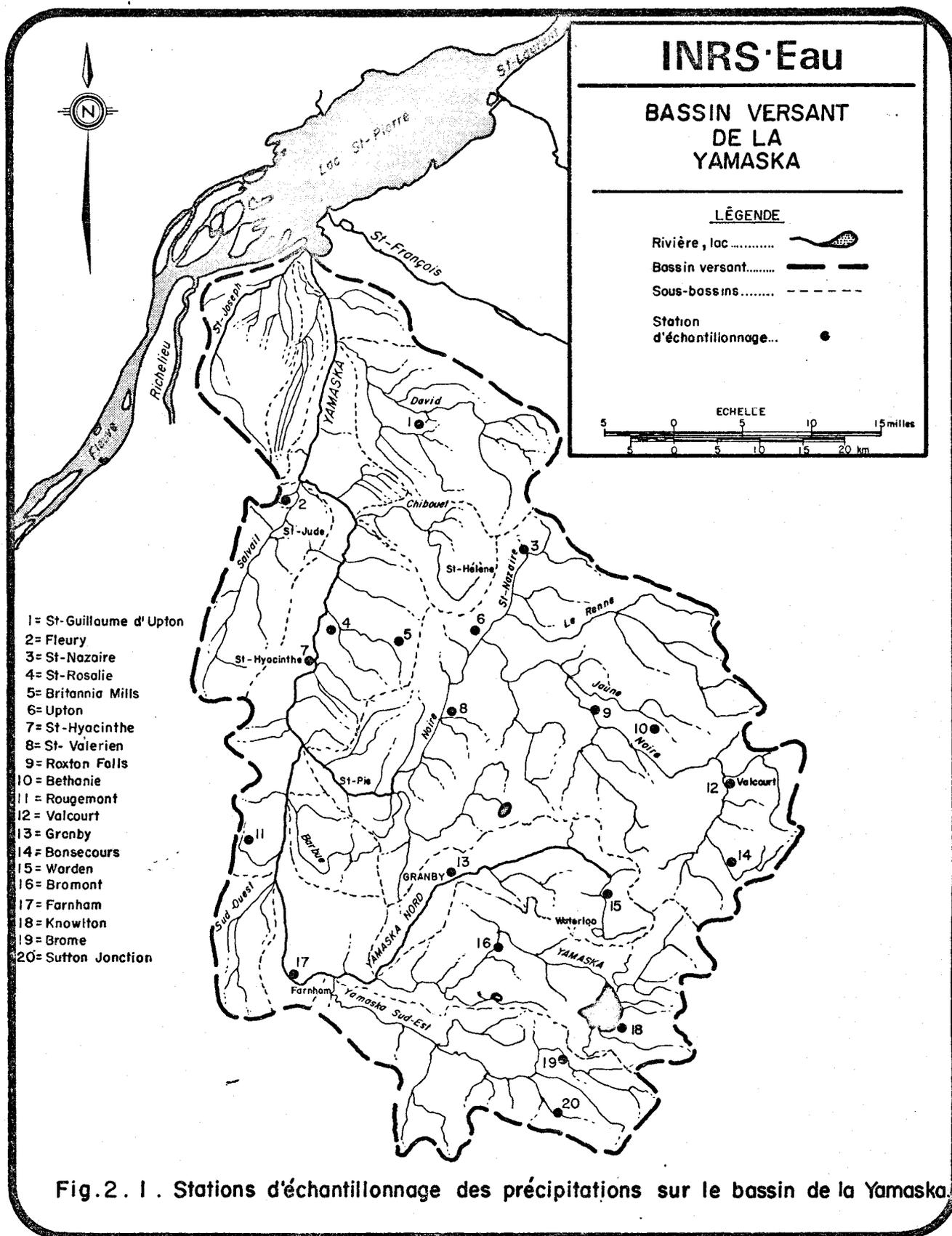
Les concentrations moyennes des paramètres qui nous intéressent ont été calculées à chaque station pour les douze derniers mois de la période d'étude. Les moyennes ont été obtenues en pondérant les valeurs obtenues à chaque station d'échantillonnage par la précipitation mensuelle mesurée à la station météorologique correspondante. Ce calcul a été effectué après l'élimination des quelques valeurs jugées non représentatives dont on a parlé précédemment.

TABLEAU 2.1: LOCALISATION DES STATIONS D'ECHANTILLONNAGE DES EAUX
DE PRECIPITATION SUR LE BASSIN DE LA RIVIERE YAMASKA.

<u>Stations</u>	<u>Latitude</u>	<u>Longitude</u>
Béthanie	45 ⁰ 29'45"	72 ⁰ 26'20"
Bonsecours	45 ⁰ 24'15"	72 ⁰ 16'15"
Britannia-Mills	45 ⁰ 38'00"	72 ⁰ 48'55"
Brome	45 ⁰ 11'20"	72 ⁰ 33'50"
Bromont	45 ⁰ 18'40"	72 ⁰ 39'30"
Farnham	45 ⁰ 17'40"	72 ⁰ 55'55"
Fleury	45 ⁰ 48'25"	72 ⁰ 59'30"
Granby	45 ⁰ 23'15"	72 ⁰ 42'20"
Knowlton	45 ⁰ 13'20"	72 ⁰ 30'50"
Rougemont	45 ⁰ 26'50"	73 ⁰ 03'55"
Roxton-Falls	45 ⁰ 33'25"	72 ⁰ 31'55"
St-Guillaume	45 ⁰ 53'15"	72 ⁰ 45'45"
St-Hyacinthe	45 ⁰ 37'55"	72 ⁰ 56'40"
St-Nazaire	45 ⁰ 44'30"	72 ⁰ 37'00"
St-Valérien	45 ⁰ 33'50"	72 ⁰ 41'30"
Ste-Rosalie	45 ⁰ 37'10"	72 ⁰ 52'20"
Sutton-Jonction	45 ⁰ 08'55"	72 ⁰ 37'25"
Upton	45 ⁰ 38'30"	72 ⁰ 41'25"
Valcourt	45 ⁰ 28'50"	72 ⁰ 19'00"
Warden	45 ⁰ 23'00"	72 ⁰ 30'05"

TABLEAU 2.2: TABLEAU SYNOPTIQUE DES METHODES D'ANALYSE UTILISEES PAR LE LABORATOIRE DU SERVICE DE LA QUALITE DES EAUX DU MINISTERE DES RICHESSES NATURELLES DU QUEBEC.

Classes	Paramètres	Méthode	Précision	Limite de sensibilité
CATIONS MAJEURS	Ca	absorption atomique	±0.5%	0.05 ppm Ca
	Mg	absorption atomique	±0.5%	0.01 ppm Mg
	K	émission atomique	±0.5%	0.05 ppm K
	Na	émission atomique	±0.5%	0.05 ppm Na
	Cl	colorimétrie	±0.5%	0.1 ppm Cl
	SO ₄	colorimétrie	±1.0%	0.5 ppm SO ₄
	SiO ₂	colorimétrie	±0.5%	0.1 ppm SiO ₂
SUBSTANCES NUTRITIVES	C-inorg.	acidification, chauffage	±0.5%	0.1 ppm C
	C-total	oxydation	±1.0%	0.1 ppm C
	N-Kjeldahl	colorimétrie	±1.0%	0.02 ppm N
	N-NH ₄	colorimétrie	±0.5%	0.01 ppm N
	N-NO ₂₋₃	colorimétrie	±1.5%	0.1 ppm NO ₃
	P-total	colorimétrie	±1.0%	0.02 ppm PO ₄
	P-hydrol. o-PO ₄	colorimétrie	±1.0%	0.02 ppm PO ₄
METAUX TRACES	Fe	colorimétrie	±0.5%	0.01 ppm Fe
	Mn	absorption atomique	±1.0%	0.05 ppm Mn
AUTRES	conductivité	électrochimie	±0.5%	0.1 µmhos/cm
	pH	électrochimie	±0.5%	-



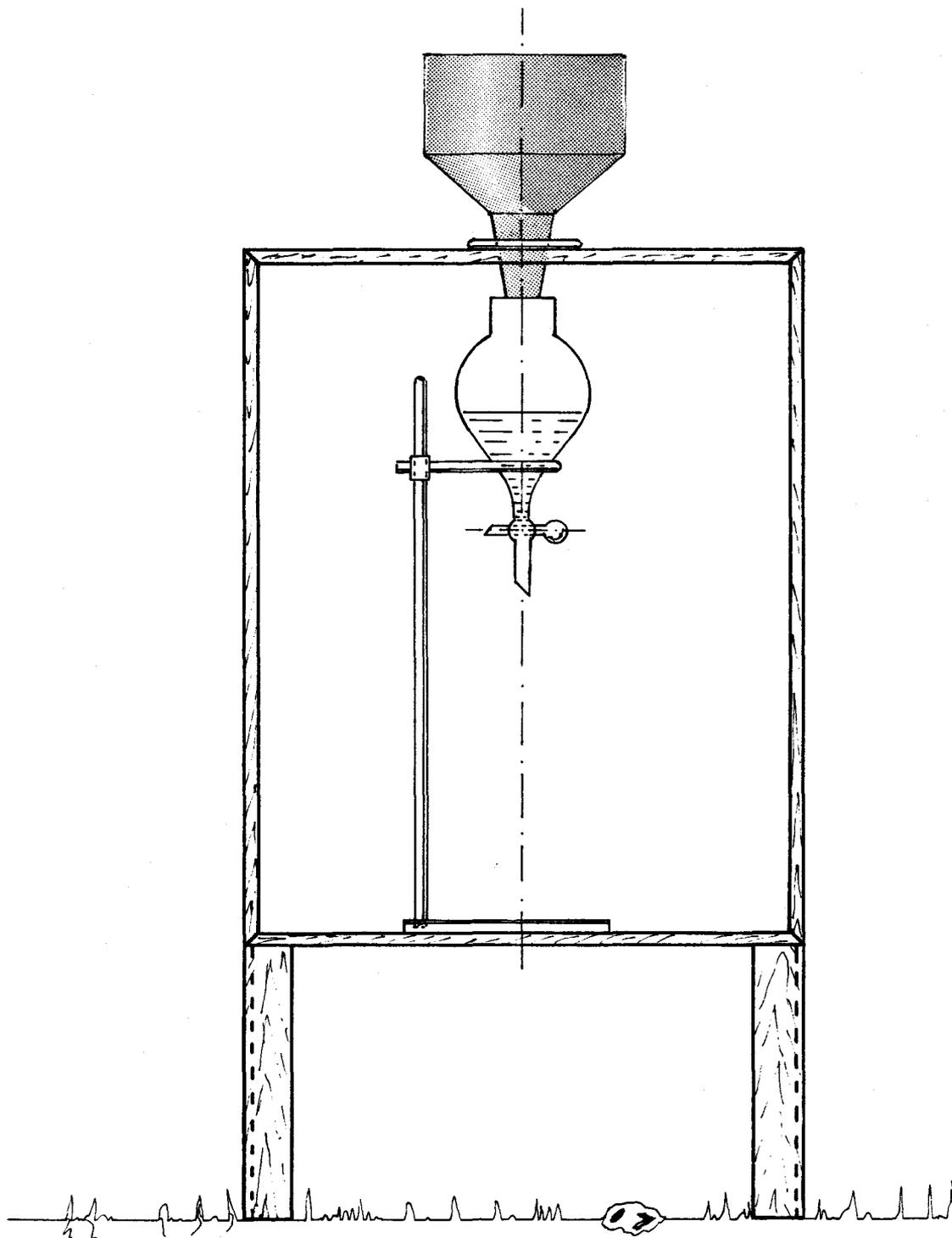


Fig.2.2 . Collecteur de pluie utilisé pour l'étude de la qualité des précipitations sur le bassin de la rivière Yamaska .

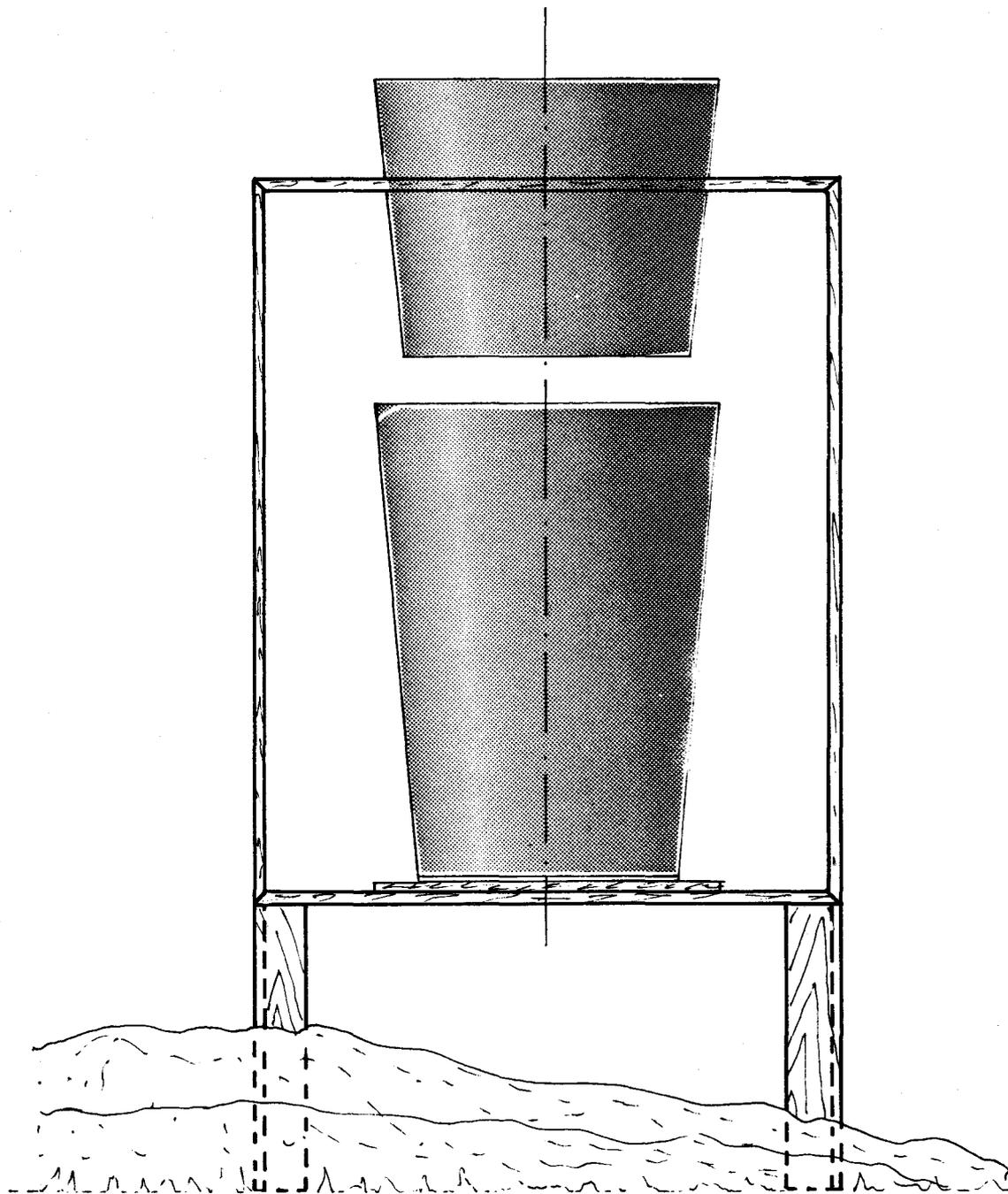


Fig.2.3 . Collecteur de neige utilisé pour l'étude de la qualité des précipitations sur le bassin de la rivière Yamaska .

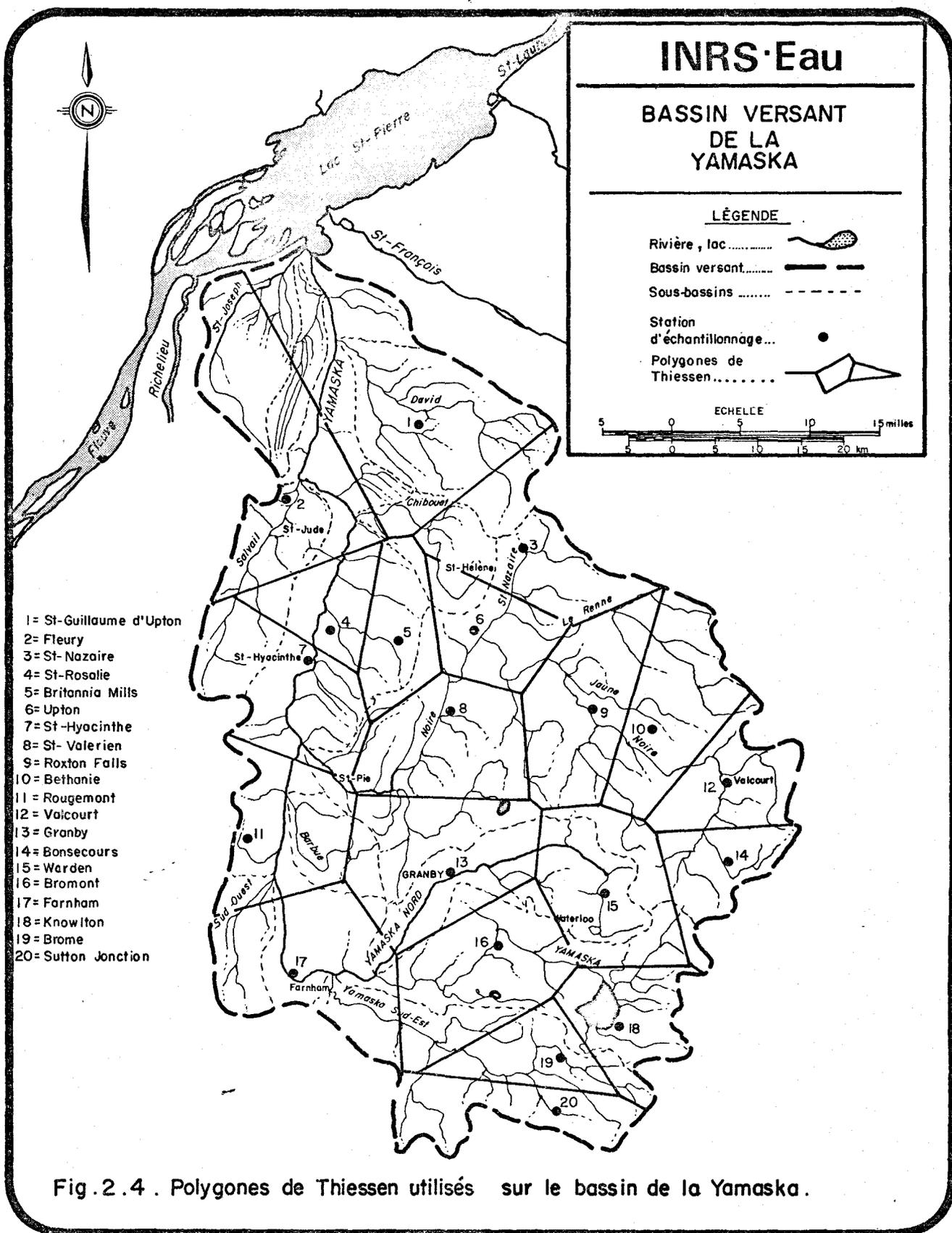


Fig. 2.4 . Polygones de Thiessen utilisés sur le bassin de la Yamaska .

3. RESULTATS

Dans le Tableau 3.1, on retrouvera les précipitations moyennes mensuelles calculées avec la méthode des polygones de Thiessen. Les valeurs calculées pour les douze derniers mois de la période d'étude donnent une moyenne mensuelle de 8.5 cm (3.35 po) et une valeur annuelle égale à 102 cm (40.1 po) qui se compare très bien avec la précipitation moyenne annuelle du bassin qu'on peut extrapoler de la Figure 3.1.

Les concentrations médianes qui ont servi au calcul des charges sont indiquées dans le Tableau 3.2 et sont portées en graphique dans les Figures 3.2, 3.3 et 3.4. On voit d'abord que l'azote organique représente seulement 5% de l'azote total contenu dans les précipitations et est presque toujours égal ou inférieur à 0.11 mg N/l. Les concentrations en nitrate varient entre 0.3 et 1.15 mg N/l tandis que les concentrations en azote ammoniacal varient entre 0.5 et 1.1 mg N/l. On remarque que les valeurs élevées obtenues pour l'azote ammoniacal et les nitrates en octobre 1974 ne se rencontrent pas en octobre 1975. Si on considère les variations de ces deux formes d'azote uniquement à partir de novembre 1974, on a des indications que les nitrates ont des valeurs plus élevées durant la période hivernale et que l'azote ammoniacal est plus élevé le printemps. Les valeurs du phosphore total, du phosphore hydrolysable et des orthophosphates sont minimales en hiver et se situent près de la limite de détection. Par contre, elles atteignent les valeurs plus élevées en juillet et août 1975 de 0.09 mg P/litre pour le phosphore total et de 0.05 mg P/l pour les orthophosphates et pour le phosphore hydrolysable. Le carbone total, constitué presque uniquement de carbone organique, varie entre 2.0 et 5.5 mg C/l. A cause de difficultés analytiques rencontrées, principalement en novembre 1974 et en août 1975, on ne peut voir de cycle annuel pour le carbone organique et la variation semble plutôt aléatoire.

Les charges mensuelles en azote, phosphore et carbone sont présentées dans le Tableau 3.3. On voit que les charges sont maximales en juillet 1975 pour tous les paramètres, sauf pour les nitrates qui ont un maximum en janvier 1975. A partir de la charge annuelle calculée pour ces paramètres pour les douze derniers mois de la période d'étude, on peut calculer une moyenne mensuelle pour chacun des paramètres:

N - NO ₃	48	kg/km ²
N - NH ₄	54	"
N - organique	5.1	"
P - PO ₄	1.5	"
P - hydrolysable	1.7	"
P - total	3.0	"
C - organique	288	"

Dans le calcul de la charge annuelle pour le phosphore, il faut noter que les mois de juillet et août y contribuent à 50% environ.

Des concentrations moyennes à chaque station ont été calculées pour les douze derniers mois de la période d'étude et sont présentées dans le Tableau 3.4 et sur les Figures 3.5 à 3.11. Ces concentrations sont des moyennes pondérées par les précipitations mensuelles enregistrées à chaque station au cours de ces douze mois. On observe sur le bassin une distribution spatiale différente selon qu'on considère séparément chaque forme d'azote, les trois formes de phosphore ou le carbone organique.

Les concentrations moyennes en nitrate varient peu d'une station à une autre; sur l'ensemble du bassin, les valeurs fluctuent entre 0.42 et 0.70 mg N/l (Figure 3.5). Par contre, les concentrations en azote ammoniacal et en azote organique sont plus variables (Figures 3.6 et 3.7). L'azote ammoniacal est plus faible dans la partie sud du bassin sauf à Farnham et à Sutton-Jonction, tandis que l'azote organique est plus faible dans les régions périphériques du bassin. On voit que la station urbaine de Saint-Hyacinthe est influencée en azote organique par les activités urbaines et industrielles se déroulant à proximité.

Le phosphore total, les orthophosphates et le phosphore hydrolysable ont une distribution spatiale semblable sur le bassin. On distingue une zone de faible concentration dans la partie sud-est du bassin et deux stations de concentration particulièrement élevée, Saint-Hyacinthe et Saint-Valérien.

Les concentrations en carbone organique sont assez uniformes sur l'ensemble du bassin si on exclut la station de Saint-Hyacinthe et d'Upton. Les valeurs fluctuent entre 2.5 et 4.2 mg C/l et les faibles variations ne permettent pas de définir des zones de concentration différente.

TABLEAU 3.1: PRÉCIPITATION MOYENNE CALCULÉE SUR LE BASSIN DE LA YAMASKA.

Période de l'année	Précipitation (cm)
08-74	6.48
09-74	10.24
10-74	6.52
11-74	11.10
12-74	5.96
01-75	6.77
02-75	5.08
03-75	9.10
04-75	7.13
05-75	7.55
06-75	5.97
07-75	13.83
08-75	6.94
09-75	13.73
10-75	8.84
Du 11-74 au 10-75	102

TABLEAU 3.2: CONCENTRATIONS MOYENNES¹ ET MEDIANES MENSUELLES DES SUBSTANCES NUTRITIVES DANS LES PRECIPITATIONS SUR LE BASSIN DE LA RIVIERE YAMASKA.

Période de l'année	N-NO ₂₋₃		N-NH ₄		N-org.		P-PO ₄		P-hydro1.		P-total		C-org.	
	MOY	MED	MOY	MED	MOY	MED	MOY	MED	MOY	MED	MOY	MED	MOY	MED
08-74	.54	.53	.83	.65	.62	.16	.080	.030	.085	.030	.105	.040	3.5	2.5
09-74	.51	.52	.54	.52	.07	.07	.030	.020	- ²	- ²	.040	.030	2.4	2.1
10-74	1.04	1.06	1.14	1.08	.10	.10	.040	.015	.045	.020	.055	.030	3.7	3.0
11-74	.48	.50	.56	.50	.06	.04	.030	.010	.035	.010	.045	.020	- ²	- ²
12-74	.87	.90	1.15	.64	.07	.03	.020	.010	.020	.010	.025	.020	3.2	3.0
01-75	1.14	1.16	1.06	.66	.03	.02	.010	<.005	.010	.005	.020	.015	3.4	3.3
02-75	1.02	1.05	1.10	.80	.24	.11	.015	.010	.020	.010	.020	.015	3.2	2.8
03-75	.73	.71	.65	.52	.17	.11	.010	.005	.015	.010	.020	.015	2.7	2.5
04-75	.86	.82	1.00	.70	.23	.06	.030	.015	.035	.015	.040	.025	4.5	3.5
05-75	.46	.34	1.62	1.10	.91	.04	.220	.040	.225	.030	.290	.040	7.0	5.0
06-75	.40	.36	1.06	.54	.06	.03	.070	.010	.070	.015	.085	.030	4.4	3.0
07-75	.40	.38	.99	.71	.43	.09	.105	.030	.130	.040	.210	.090	6.3	5.5
08-75	.65	.56	.77	.71	.17	.11	.055	.045	.060	.050	.090	.080	- ²	- ²
09-75	.31	.29	.49	.51	.06	.04	.025	.015	.020	.015	.030	.020	2.6	2.5
10-75	.48	.50	.54	.50	.07	.04	.020	.015	.020	.020	.025	.020	1.7	1.8

¹ Les valeurs des concentrations sont exprimées en termes de mg/l.

² Valeur manquante à cause de difficultés analytiques.

TABLEAU 3.3: CHARGES EN SUBSTANCES NUTRITIVES¹ APPORTEES PAR LES PRECIPITATIONS.

Période de l'année	N-NO ₃	N-NH ₄	N-org.	P-PO ₄	P-hydro1.	P-total	C-org.
08-74	34	42	10	1.9	1.9	2.6	162
09-74	53	53	6.7	2.0	-	3.1	215
10-74	69	70	6.2	1.0	1.3	2.0	196
11-74	55	55	4.4	1.1	1.1	2.2	-
12-74	54	38	2.1	0.60	0.60	1.2	179
01-75	79	45	1.3	0.15	0.34	1.0	223
02-75	53	41	5.3	0.51	0.51	0.76	142
03-75	65	47	10	0.46	0.91	1.4	227
04-75	59	50	4.3	1.1	1.1	1.8	249
05-75	26	83	3.0	3.0	2.3	3.0	377
06-75	21	32	1.8	0.60	0.90	1.8	179
07-75	52	98	12	4.1	5.5	12	761
08-75	39	49	7.6	3.1	3.5	5.5	-
09-75	40	70	5.5	2.1	2.1	2.7	343
10-75	44	44	3.5	1.3	1.8	1.8	159
11-74 au 10-75	587	653	61	18	20	36	3451 ²

¹ Les charges sont exprimées en terme de kg/km².

² Valeur obtenue en interpolant une valeur pour novembre 1974 et août 1975.

TABLEAU 3.4: CONCENTRATIONS MOYENNES PONDEREES¹ DES SUBSTANCES NUTRITIVES A CHAQUE STATION POUR LE PERIODE DU 1er NOVEMBRE 1974 AU 31 OCTOBRE 1975.

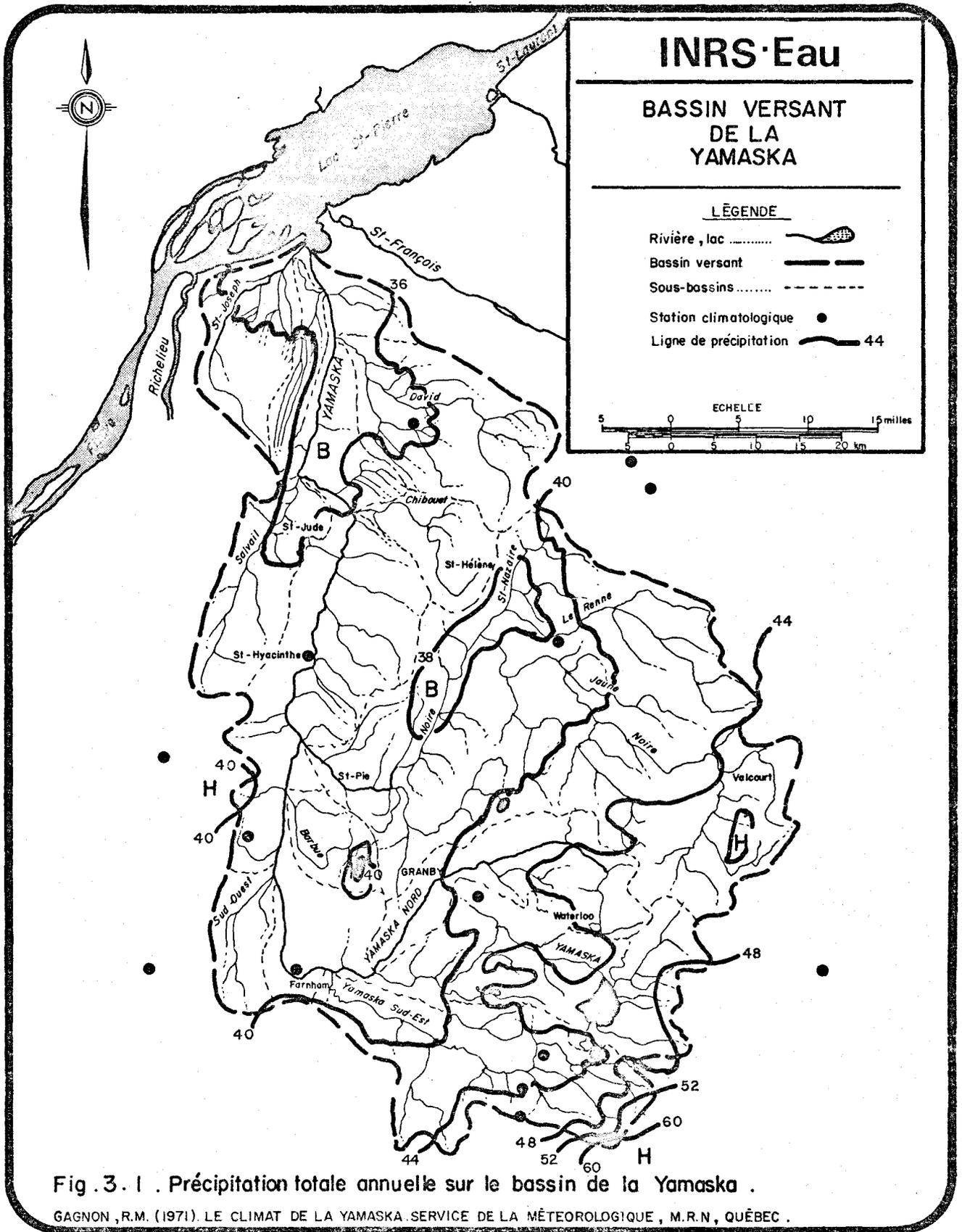
Stations	N-NO ₂₋₃	N-NH ₄	N-org.	P-PO ₄	P-hydro.	P-total	C-org.
Béthanie	.62	.74	.06	.010	.015	.020	3.0
Bonsecours	.66	.68	.14	.010	.020	.035	3.5
Britannie-Mills	.60	1.12	.25	.040	.040	.060	3.8
Brome	.42	.47	.04	.010	.010	.020	2.9
Bromont ²	-	-	-	-	-	-	-
Farnham	.66	1.43	.23	.040	.040	.060	4.2
Fleury	.50	.82	.07	.035	.040	.055	3.7
Granby	.61	.54	.18	.030	.035	.040	3.7
Knowlton	.53	.37	.06	.015	.020	.025	2.5
Rougemont	.57	.48	.04	.020	.025	.035	2.9
Roxton-Falls	.58	.94	.07	.020	.025	.035	3.3
St-Guillaume	.46	.62	.11	.030	.030	.050	3.1
St-Hyacinthe	.50	1.38	1.68	.405	.450	.590	9.5
St-Nazaire	.62	.67	.11	.035	.035	.060	3.3
St-Valérien	.70	1.77	.20	.110	.110	.125	4.1
Ste-Rosalie	.59	.58	.11	.030	.030	.045	3.1
Sutton-Jonction	.51	.73	.10	.020	.020	.030	2.5
Upton	.68	1.09	.23	.045	.045	.085	5.1
Valcourt	.61	.60	.07	.015	.020	.025	3.1
Warden	.52	.49	.04	.010	.010	.025	2.8

1

$$\text{Concentration moyenne pondérée} = \frac{\sum_{i=1}^{12} (\text{Préc})_i (\text{Conc})_i}{\sum_{i=1}^{12} (\text{Préc})_i} ;$$

les valeurs des concentrations sont exprimées en termes de mg/l.

² La période d'opération de cette station est trop courte pour permettre un calcul de moyenne.



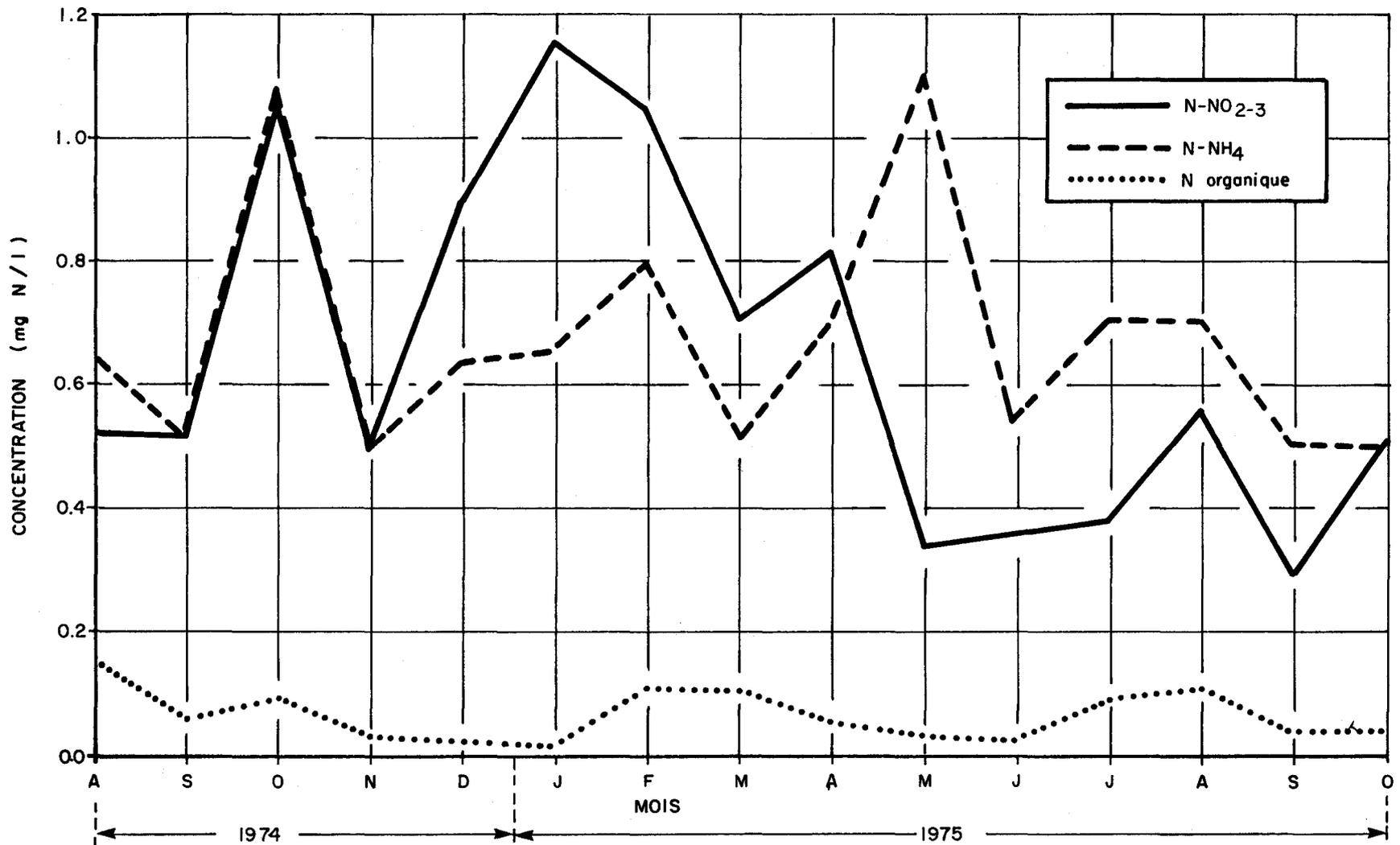


Fig. 3.2. Variation mensuelle des concentrations médianes en nitrate , azote ammoniacal et azote organique dans les précipitations sur le bassin de la rivière Yamaska .

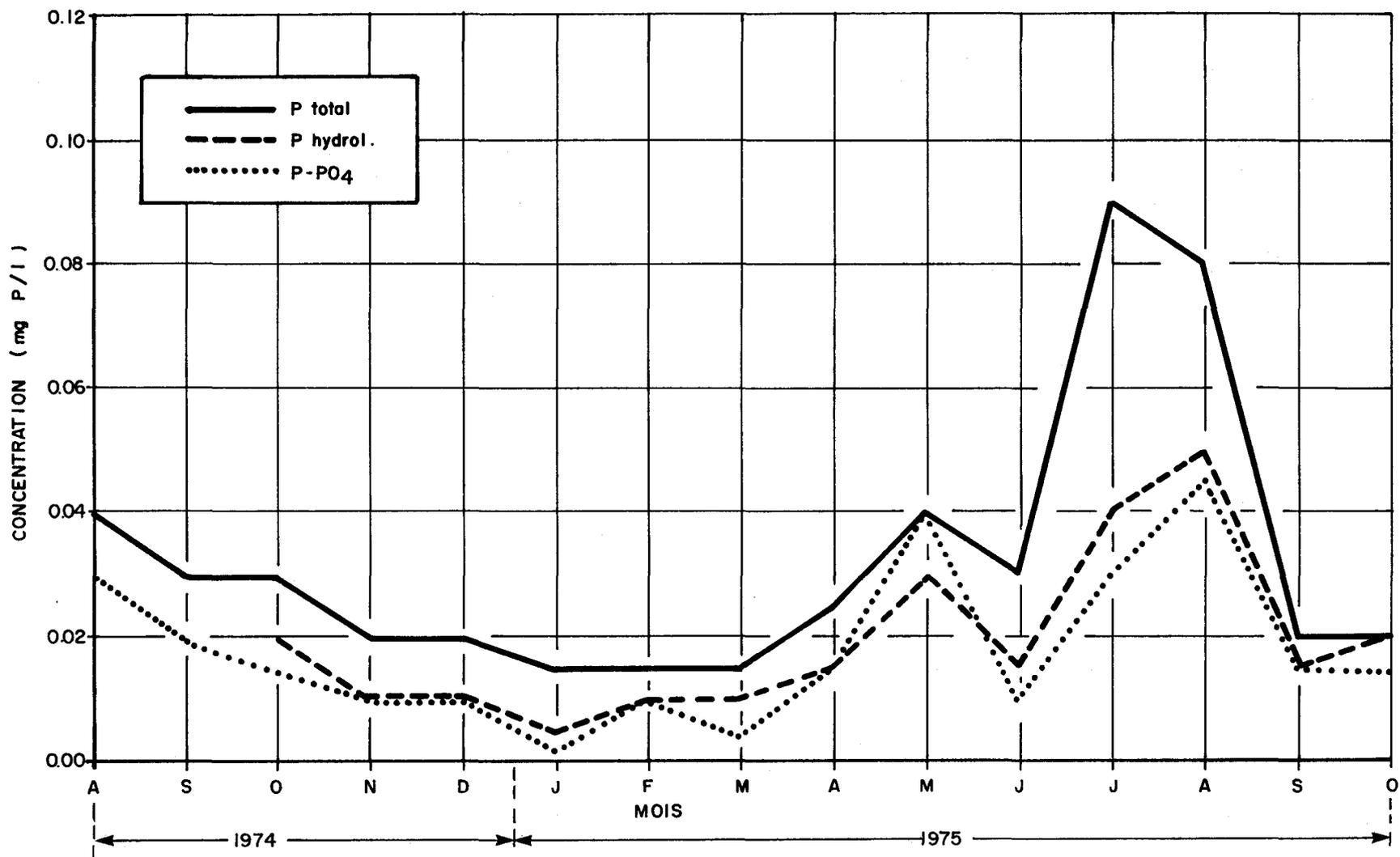


Fig. 3.3. Variation mensuelle des concentrations médianes en phosphore total, phosphore hydrolysable et orthophosphate dans les précipitations sur le bassin de la rivière Yamaska.

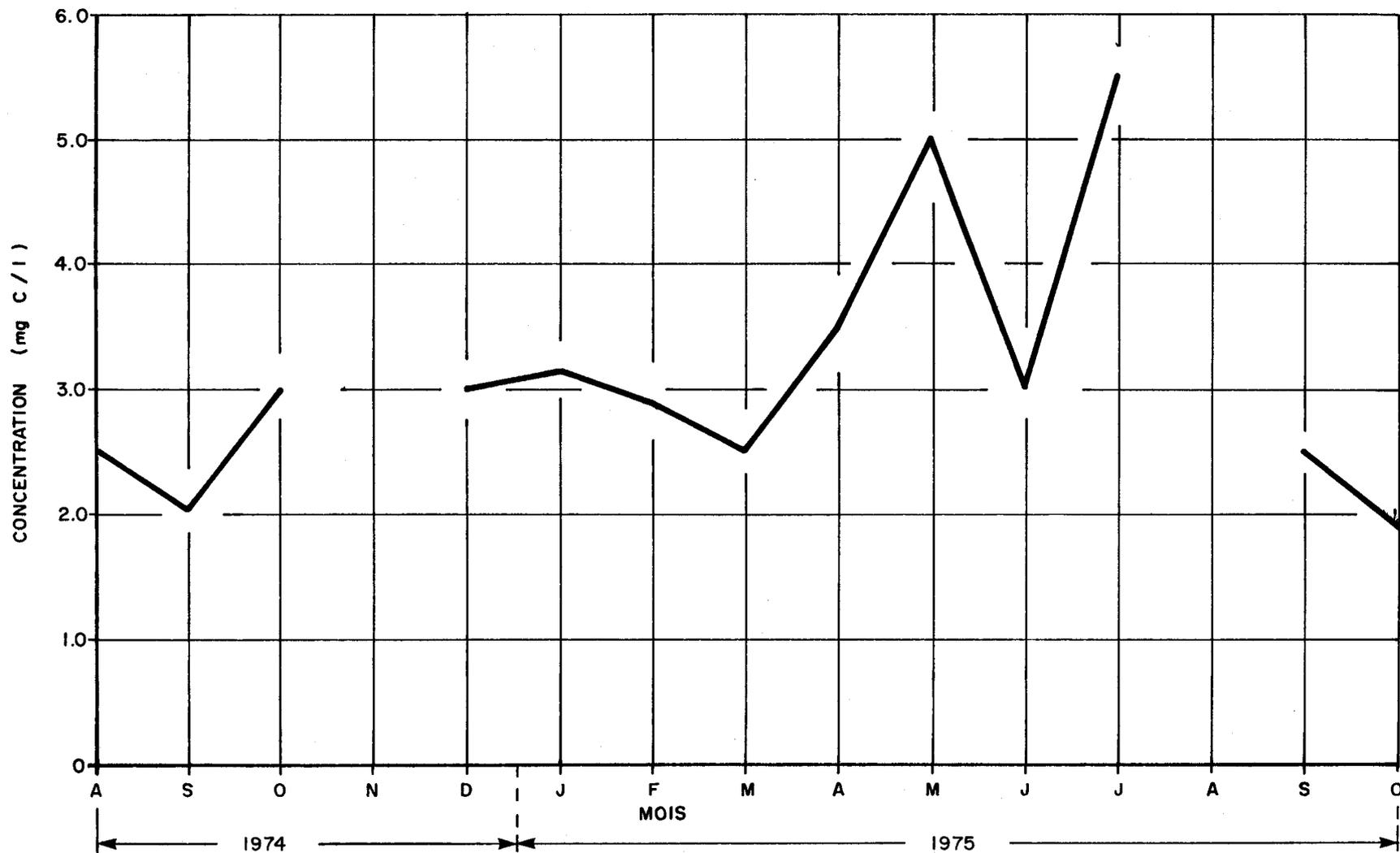


Fig. 3.4. Variation mensuelle des concentrations en carbone organique dans les précipitations sur le bassin de la rivière Yamaska.

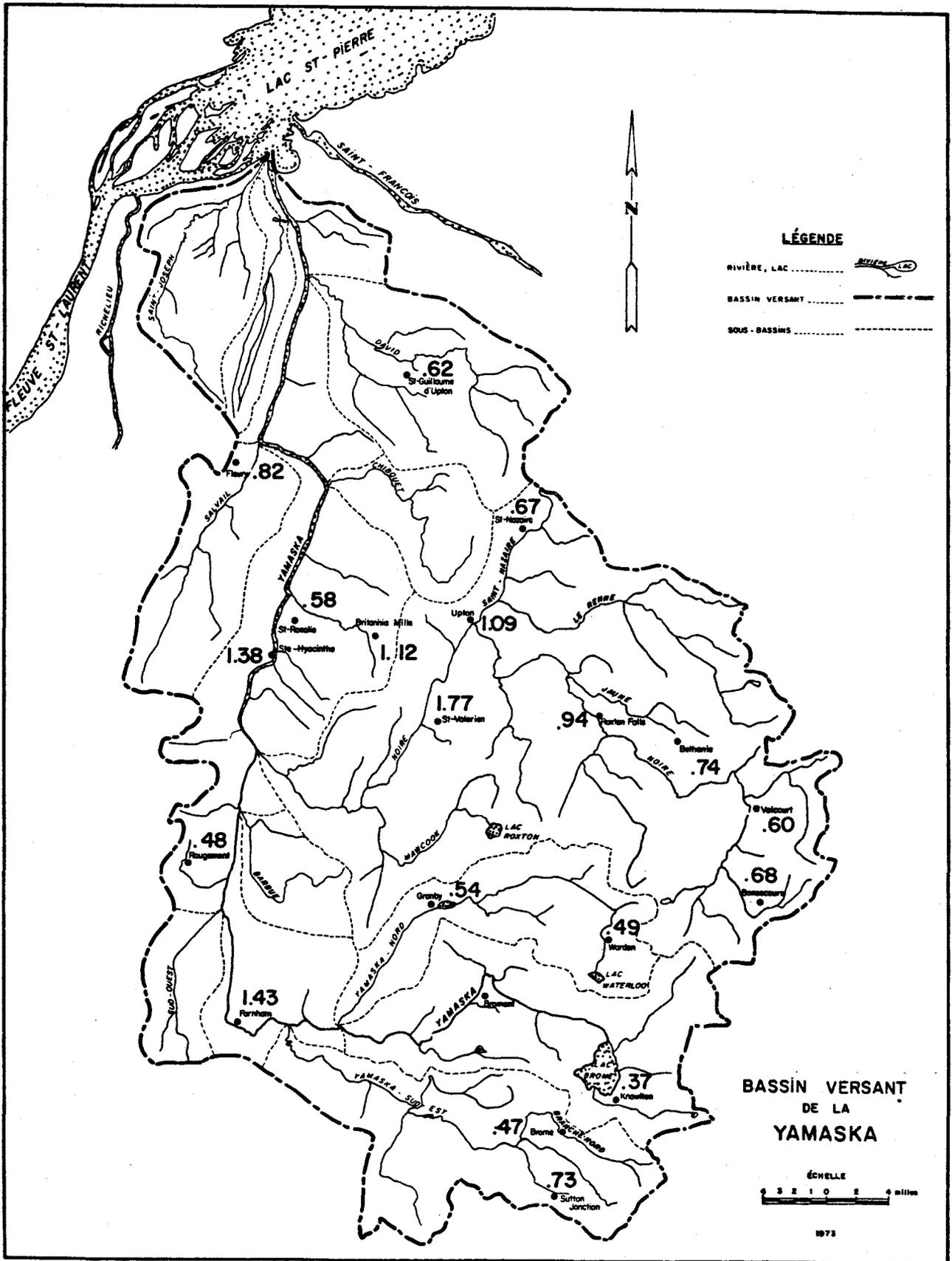


Figure. 3. 6. Variation spatiale des concentrations moyennes annuelles d'azote ammoniacal (exprimées en mg/l N).

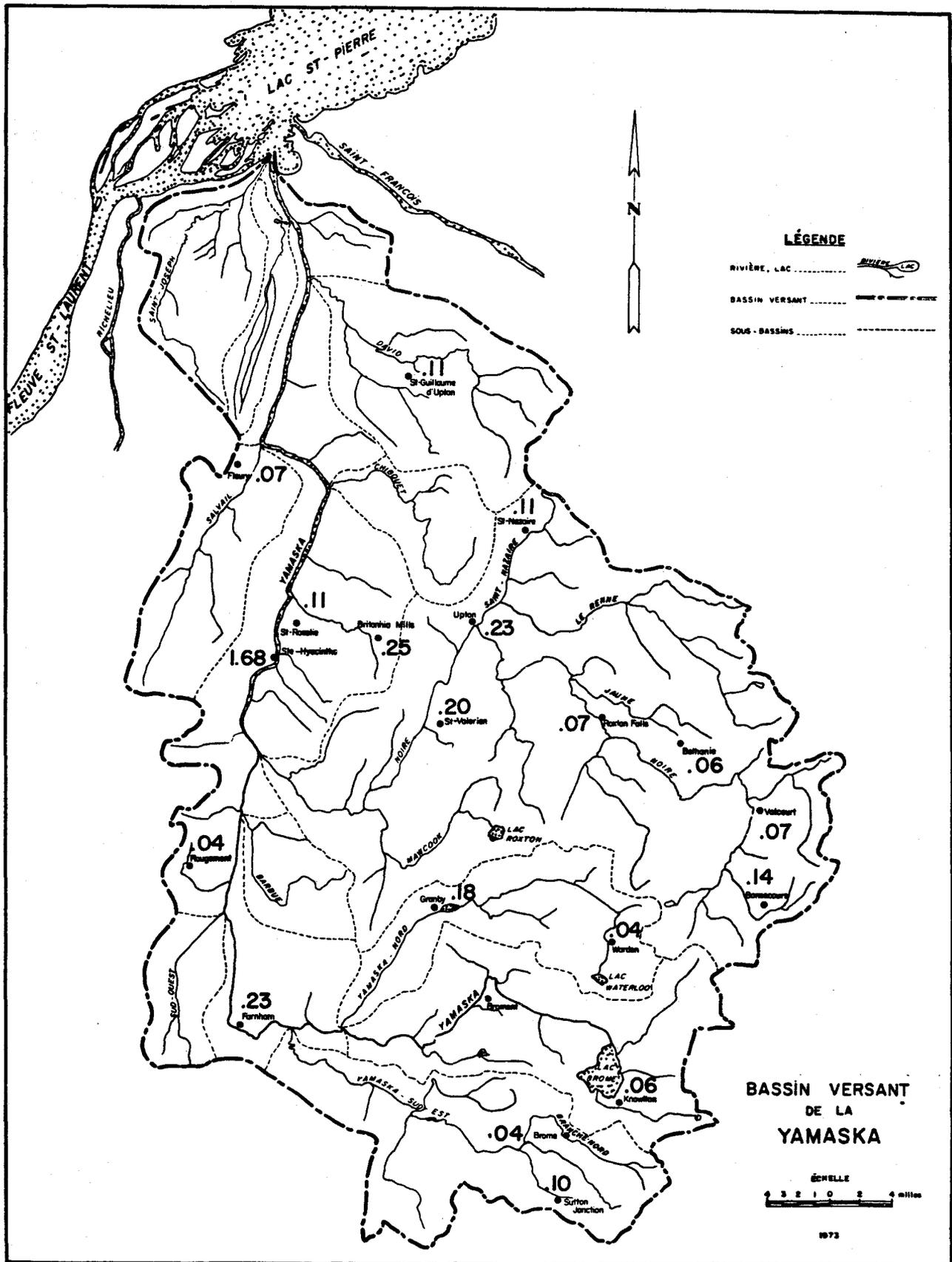


Figure.3. 7. Variation spatiale des concentrations moyennes annuelles d'azote organique (exprimées en mg/l N).

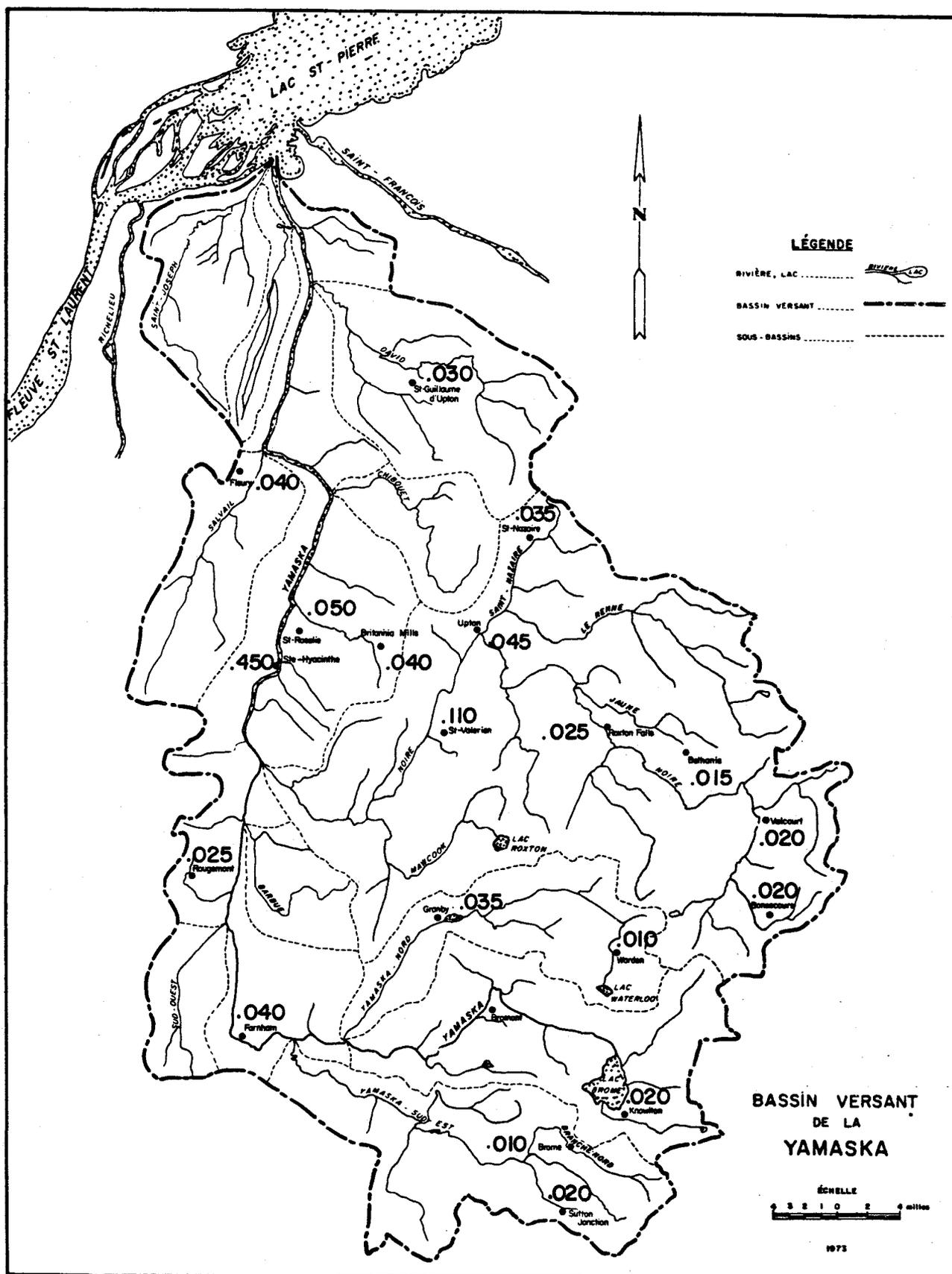


Figure.3.9. Variation spatiale des concentrations moyennes annuelles de phosphore hydrolysable (exprimées en mg/l P).

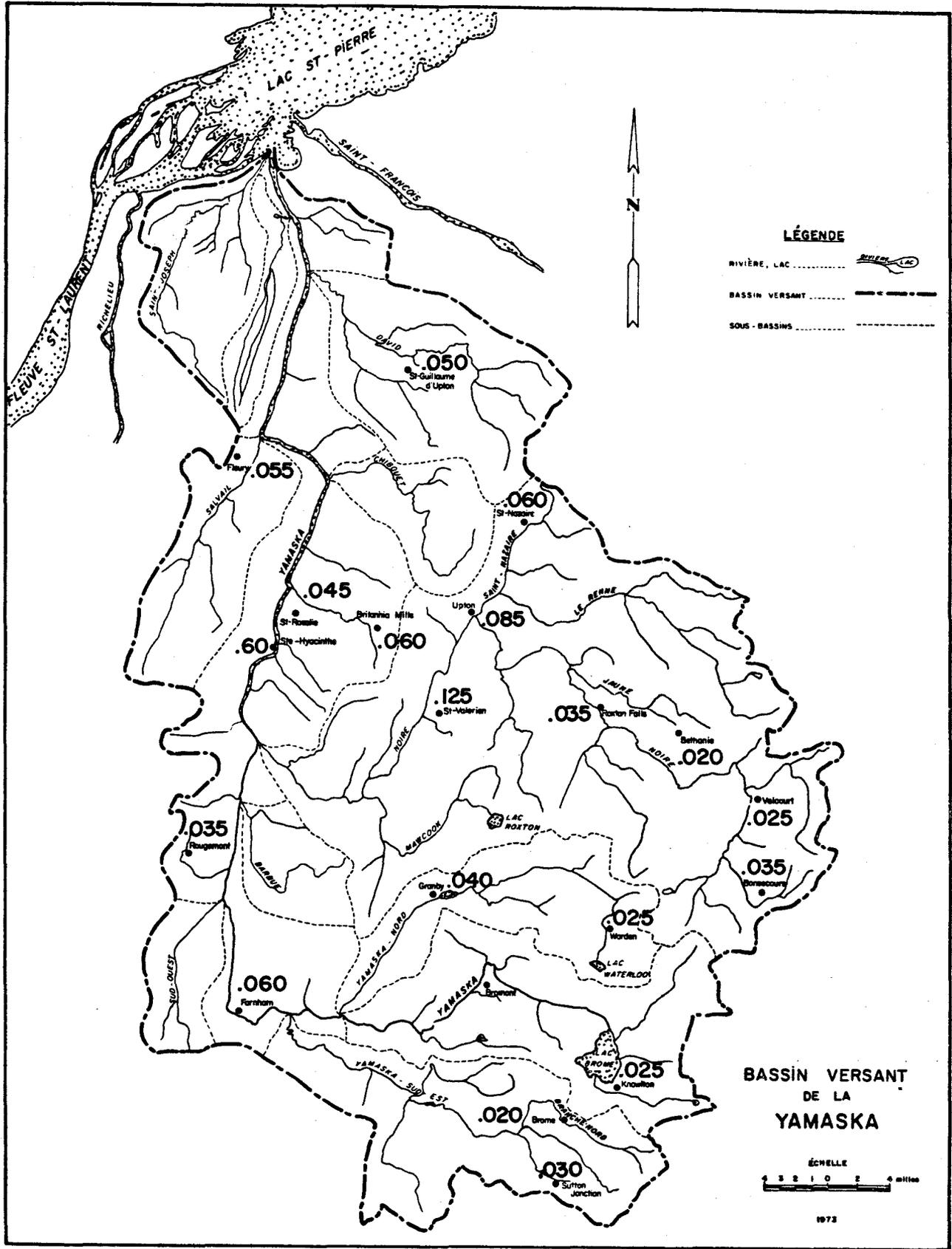


Figure 3.10. Variation spatiale des concentrations moyennes annuelles de phosphore total (exprimées en mg / l P).

4. DISCUSSION

L'utilisation de la concentration médiane pour calculer les charges mensuelles sur le bassin peut sembler discutable à première vue. Cependant, la médiane est plus représentative du bassin qu'une moyenne calculée à partir de valeurs pondérées ou non par la quantité de précipitation mesurée à chaque mois, ou par la superficie de territoire correspondant à une station d'échantillonnage (Figure 2.4). En effet, dans un ensemble de valeurs quelconques, la moyenne est toujours influencée par les valeurs extrêmes tandis que la médiane ne l'est pas. Ainsi, dans le cas du phosphore, de l'azote organique et de l'azote ammoniacal, les moyennes mensuelles sont plus élevées que les médianes (Tableau 3.2) et elles sont toutes influencées par quelques valeurs élevées obtenues à des stations particulières soupçonnées de résulter de contamination. En rejetant ces valeurs élevées, on obtiendrait des concentrations moyennes plus faibles et probablement plus représentatives; toutefois, cette façon de procéder demeure arbitraire tant qu'on ne possède pas de critères précis permettant de les éliminer. Par contre, les concentrations médianes obtenues à partir d'un nombre relativement élevé de stations (18 à 20) permettent d'obtenir des valeurs peu influencées par les contaminations et représentatives de l'ensemble du bassin.

Pour comparer les stations entre elles, on a utilisé la moyenne des valeurs mensuelles de préférence à la médiane. Dans ce cas, la médiane n'était pas représentative, car elle ne rendait pas compte de l'importance des fluctuations saisonnières et ne permettait pas d'identifier les stations où les échantillons avaient été contaminées. Par exemple, la valeur de la médiane dans le cas des formes de phosphore reflète uniquement la variabilité des faibles valeurs obtenues durant la période hivernale (Figure 3.3). Par contre, la moyenne obtenue en pondérant les concentrations mensuelles par la quantité de précipitation permet une meilleure représentation de la variation des apports mensuels au cours d'un cycle annuel à une station.

Dans le calcul des moyennes à chaque station, on a préféré utiliser les valeurs obtenues au cours des 12 derniers mois de la période d'étude, la précipitation moyenne sur le bassin pendant cette période (102 cm) étant normale et les concentrations de phosphore et d'azote obtenues de août à octobre 1975 paraissant plus représentatives de cette période de temps que celles mesurées en 1974 au cours des mêmes mois. En effet, les concentrations de nitrate et d'azote ammoniacal me-

surées dans les précipitations d'octobre 1974 apparaissaient anormalement élevées (Figure 3.2) et les concentrations de phosphore dans les précipitations du mois d'août 1974 semblaient trop faibles (Figure 3.3).

Les deux méthodes employées pour calculer les charges annuelles et les concentrations moyennes à chaque station ne sont pas contradictoires. En effet, si on calcule pour le bassin une concentration moyenne annuelle à partir de la charge annuelle et qu'on la compare à la médiane des concentrations moyennes annuelles de chaque station, on obtient des valeurs semblables pour les nitrates et le carbone organique et des valeurs un peu plus faibles avec la première méthode pour les autres paramètres (Tableau 4.1). Les petites différences se font sentir au niveau des paramètres sensibles à la contamination et démontrent qu'on ne peut déterminer avec beaucoup de précision les contributions atmosphériques de ces éléments.

Les concentrations en azote et en phosphore mesurées au cours de la période d'étude ont des variations saisonnières importantes qui se comparent à celles rencontrées en Europe et aux Etats-Unis. D'après Junge (1963), les nitrates et l'azote ammoniacal ont des concentrations plus élevées au printemps et en été dans les régions non polluées comme la majeure partie de la Suède, de l'Australie et certaines parties des Etats-Unis; dans les régions considérées comme polluées, telles le Nord-Est des Etats-Unis, le maximum est parfois en hiver. Les variations saisonnières en nitrate sont cependant moins prononcées que pour l'azote ammoniacal. Dans notre étude, on observe pour l'azote ammoniacal un comportement semblable à celui observé aux Etats-Unis et en Europe. Par contre, les nitrates atteignent un maximum en hiver, contrairement à ce qu'on s'attendrait d'obtenir à partir des travaux de Junge (1958) et d'Eriksson (1952a); il faut ajouter cependant que leurs échantillons, recueillis sans préservation au cours d'une période d'un mois, n'étaient pas à l'abri des transformations biologiques. Il n'est donc pas surprenant que ces chercheurs observent un comportement semblable pour ces deux formes d'azote. La comparaison avec la littérature des variations saisonnières en phosphore est plus difficile à cause de la carence de données. Uttomark *et al.* (1974) rapportent une étude au Delaware dans laquelle on a observé une variation saisonnière en phosphore comparable à celle observée dans cette étude: les concentrations en phosphore étaient environ 20 fois plus élevées durant l'été que durant l'hiver et le printemps, suggérant que la source principale du phosphore proviendrait de poussières du sol soulevées par le vent.

Le Tableau 4.2 présente une comparaison des concentrations moyennes avec celles obtenues à proximité de la région d'étude. La méthodologie d'échantillonnage, les techniques analytiques, la localisation géographique des stations, les transformations provenant de l'activité biologique et l'influence des poussières locales sont autant de facteurs qui peuvent expliquer les différences observées.

La concentration moyenne en nitrate calculée pour cette étude (0.58 mg N/l) est légèrement supérieure aux valeurs obtenues à Hamilton par Matheson (1951) et aux Etats-Unis par U.S. Department of Interior (1971). Toutefois cette valeur est nettement supérieure à celles obtenues par Pearson et Fisher (1971), par Junge (1958) et par Herman et Gorham (1957) et plus faible que celles mesurées par Shiomi et Kuntz (1973). Il est impossible présentement d'identifier les principaux facteurs responsables de ces différences à cause des descriptions trop brèves des protocoles employés dans les autres études. Ces différences sont d'autant plus étonnantes que la variabilité obtenue dans cette étude pour les nitrates est très faible.

La concentration en azote ammoniacal obtenue (0.64 mg N/l) semble un peu plus élevée que les données rapportées de la littérature si on exclut les données de Shiomi et Kuntz (1973). Nous avons vu cependant, sur la Figure 3.6, que les concentrations moyennes d'ammonium par station avaient une variabilité très grande et il est fort possible que les activités agricoles se déroulant à proximité de plusieurs stations soient en partie responsables de la concentration moyenne relativement élevée obtenue dans cette étude.

Les concentrations de phosphore total et d'orthophosphates sont du même ordre de grandeur que les valeurs obtenues autour du lac Ontario. A cause de la limite de détection analytique de ces éléments et des faibles concentrations mesurées, peu de chercheurs se sont intéressés à mesurer ces éléments et on possède ainsi peu de points de comparaison. On possède également peu de données comparatives pour le carbone organique, l'azote organique et le phosphore hydrolysable. Neuman *et al.* (1959) ont obtenu en Suède une distribution assez uniforme en carbone organique total avec des valeurs comprises entre 1.7 et 3.4 mg C/l pour la pluie et 0.8 et 1.9 mg C/l pour la neige. Ces valeurs sont plus faibles que les nôtres, mais la distribution des valeurs a une uniformité semblable.

On pourrait comparer également les apports calculés (Tableau 3.3) avec les apports rapportés par les autres chercheurs dans des régions semblables à la région du bassin de la Yamaska. Par exemple, on pourrait comparer la charge annuelle calculée dans cette étude pour les nitrates, l'azote ammoniacal et le phosphore total (587, 654 et 35.6 kg/km²) avec les charges obtenues par Shiomi et Kuntz (1973) autour du lac Ontario (662, 348 et 36 kg/km²) et dire que les valeurs obtenues dans cette étude se comparent avantageusement à leurs valeurs. En comparant les charges, on introduit cependant une variable supplémentaire: la précipitation. La quantité de précipitation, variable d'une année à l'autre et d'une région à une autre, rend difficilement transposables les résultats. De plus, la relation entre la quantité de précipitation et la concentration n'est pas une relation linéaire comme le soulignent Uttomark *et al.* (1974). Le manque de corrélation linéaire entre ces deux variables est le résultat de beaucoup de facteurs dont le principal apparaît être les retombées sèches. Matheson (1951) a déterminé que les retombées sèches contribuaient à 40% de la contribution totale de l'atmosphère en azote, tandis que Junge (1958) estimait que 70% de la contribution de l'atmosphère en azote provenait des retombées sèches dans les régions de climat sec et aride.

Les retombées atmosphériques en azote, phosphore et carbone sont donc susceptibles de varier beaucoup d'une région à une autre. Dans le Tableau 4.3, on donne à titre indicatif certaines valeurs de retombées d'azote et de phosphore à différents pays. On peut remarquer entre autres que les retombées d'azote sont très élevées à certains endroits en Afrique. Il n'est pas nécessaire cependant de comparer les charges atmosphériques d'un pays à l'autre pour observer de grandes variations. Si on calculait une charge annuelle pour chaque station du bassin de la rivière Yamaska à partir de la précipitation annuelle et des concentrations moyennes représentées dans les Figures 3.5 à 3.11, on obtiendrait également des variations importantes pour les formes de phosphore ainsi que pour l'azote ammoniacal et l'azote organique.

Les variations qu'on observerait d'une station à une autre en effectuant un calcul de charges soulèvent la question de la représentativité spatiale des stations utilisées dans notre étude et nous amènent à s'interroger sur la signification des valeurs rapportées dans la littérature. Pour répondre à cette question, il conviendrait d'étudier dans une étape ultérieure la représentativité spatiale des stations pour mesurer les apports atmosphériques. Il serait possible avec la période d'étude (15 mois) et la densité du réseau utilisée (une station par

10 km) d'évaluer la densité optimale d'un réseau de capteurs de précipitations et d'améliorer ainsi les connaissances sur la variabilité des phénomènes atmosphériques.

TABLEAU 4.1: COMPARAISON ENTRE DEUX METHODES DE CALCUL DE LA CONCENTRATION MOYENNE ANNUELLE SUR LE BASSIN DE LA RIVIERE YAMASKA.

Paramètre	Concentration moyenne annuelle selon la méthode A (mg/l)	Concentration moyenne annuelle selon la méthode B (mg/l)
N-NO ₂₋₃	.58	.59
N-NH ₄	.64	.68
N-organique	.06	.11
P-PO ₄	.020	.030
P-hydrolysable	.020	.030
P-total	.035	.040
C-organique	3.4	3.3

Méthode A : conc. moy. annuelle = $\left\{ \frac{\text{charge annuelle sur le bassin (Tableau 3-3)}}{\text{précipitation moyenne annuelle sur le bassin (Tableau 3-1)}} \right\}$

Méthode B : conc. moy. annuelle = médiane des concentrations moyennes annuelles obtenues à chaque station (Tableau 3-4)

TABEAU 4.2: COMPARAISON DES CONCENTRATIONS EN AZOTE, PHOSPHORE ET CARBONE MESUREES DANS LES PRECIPITATIONS A PROXIMITE DE LA REGION D'ETUDE.

Endroit	Méthode	Concentration (mg/l)				Références
		N-NO ₃	N-NH ₄	P-PO ₄	P-total	
Lac Ontario	retombées globales	1.53	0.62	0.024	0.058	Shiomi et Kuntz (1973)
Nord-est des Etats-Unis	retombées globales	0.08	0.17	0.015		Pearson et Fisher (1971)
Nord-est des Etats-Unis	retombées humides	0.23	0.16			Junge (1958)
Kentville, Nouvelle-Ecosse	retombées globales	0.11	0.29			Herman et Gorham (1957)
Mays Point, Etats-Unis	retombées globales	0.51	0.20		0.022	U.S. Department of the Interior (1971)
Hamilton, Ontario	retombées globales	0.41	0.55			Matheson (1951)
Nord-Ouest de l'Ontario	neige au sol	0.17-1.0	0.01-0.10	0.001-0.01	0.003-0.03	Barica et Armstrong (1971)
Bassin de la rivière Yamaska	retombées globales	0.58	0.64	0.020	0.035	étude présente

TABLEAU 4.3: RETOMBÉES ATMOSPHERIQUES D'AZOTE INORGANIQUE ET DE PHOSPHORE (modifié d'après Gore, 1968)

Endroit	Précipitation annuelle (cm)	Azote inorganique total (kg/km ²)	Phosphore total (kg/km ²)
Grande-Bretagne (North Lancashire)	162	628	43
Danemark	61	690	-
Suède (Alnarp) (1958-1959)	64	614	-
Suède	57	-	10-20
Suisse	-	681	-
Russie (Europe)	-	300-450	-
Nigeria	107	5470	258
Gambie (Yundum)	105	4710	31
Nouvelle-Zélande (Taita)	135	280	22
Australie (Melbourne)	98.2	-	< 30
Australie (Katherine, N.T.)	92.5	150	-

5. RECOMMANDATIONS

A la suite de l'expérience acquise sur le fonctionnement d'un réseau d'acquisition de données sur la qualité des précipitations, on peut faire les recommandations suivantes:

- Afin de mieux évaluer le protocole d'échantillonnage utilisé dans cette étude, on recommande l'étude des effets de la congélation sur la préservation des formes dissoutes des substances nutritives mesurées dans les précipitations.
- Dans le but d'améliorer la méthodologie utilisée, il serait souhaitable de modifier légèrement les collecteurs de pluie en installant autour de l'entonnoir qui capte la précipitation une série de tiges verticales empêchant les oiseaux de se poser sur l'entonnoir et de la contaminer.
- Afin de continuer à acquérir sur le bassin de la Yamaska des connaissances sur la chimie des précipitations, principalement en ce qui concerne leur évolution à long terme, il faudrait continuer à opérer sur ce bassin au moins 4 stations de collecte d'échantillons des précipitations. Ces quatre stations pourraient être choisis parmi les stations suivantes qui ont eu des comportements réguliers durant toute la période d'étude:
 - Béthanie,
 - Bonsecours,
 - Brome,
 - Farnham,
 - Rougemont,
 - Roxton-Falls,
 - Saint-Nazaire,
 - Valcourt.

Le même protocole d'échantillonnage pourrait être utilisé.

- Afin d'améliorer les connaissances acquises aux stations permanentes, on recommande l'installation de collecteurs qui s'ouvrent automatiquement durant les épisodes de précipitation. Ceci permettrait de distinguer les apports provenant des retombées humides de ceux provenant des retombées globales. Ces collecteurs pourraient être ceux de type Wong (Wong Laboratories, Cincinnati, Ohio).

- Afin d'acquérir des connaissances sur la variabilité de la qualité des précipitations sur une plus grande échelle, il faudrait installer de façon progressive des stations sur d'autres bassins.

- Enfin, afin d'évaluer les apports atmosphériques en métaux lourds, on recommande de mesurer sur certains échantillons de précipitation des concentrations des métaux traces tels le plomb, le zinc, le cuivre et le mercure (MRN-INRS, 1976).

BIBLIOGRAPHIE

- BARICA, J. et ARMSTRONG, F.A.J. (1971).
Contribution by snow to the nutrient budget of some small northwest Ontario lakes. *Limnology and Oceanography*, 16(6): 891-899.
- BROSSET, C. (1973).
Air-Borne acid. *Ambio*, 2(1-2): 2-9.
- CLARKE, F.W. (1920).
Data of geochemistry. 4th ed. U.S. Government Printing Office, Washington.
- EGNER, H. et ERIKSSON, E. (1955).
Current data on the chemical composition of air and precipitation. *Tellus*, 7: 134-139.
- EGNER, H., ERIKSSON, E. et EMANUELSSON, A. (1949).
Composition of atmospheric precipitation. Royal Agr. Coll. (Sweden) *Annals*, 16: 593-602.
- ERIKSSON, E. (1952a).
Composition of atmospheric precipitation. I. Nitrogen compounds. *Tellus*, 4: 215-235.
- ERIKSSON, E. (1952b).
Composition of atmospheric precipitation. II. Sulphur, chloride, iodine compounds. *Tellus*, 4: 280-303.
- ERIKSSON, E. (1966).
Air precipitation as sources of nutrients.
IN: "Handbuch der Pflanzenernahrung und Dunnung", Bd II. Springer-Verlag, Wien - New-York.
- FISHER, D.W., GAMBELL, A.W., LIKENS, G.E. et BORMANN, F.H. (1968).
Atmospheric contributions to water quality of streams in the Hubbard Brook Experimental Forest, New Hampshire. *Water Resources Research*, 4: 1115-1126.
- GAMBELL, A.W. et FISHER, D.W. (1966).
Chemical composition of rainfall Eastern North Carolina and Southeast Virginia. Geological Survey Water-Supply Paper 1535-K.
- GORE, A.J.P. (1968).
The supply of six elements by rain to an upland peat area. *Journal of Ecology*, 56: 483-494.
- HERMAN, F.H. et GORHAM, E. (1957).
Total mineral material, acidity, sulphur and nitrogen in rain and snow at Kentville, Nova Scotia. *Tellus*, 9(2): 180-183.
- HUTTON, J.T. (1958).
The chemistry of rainwater with particular reference to conditions in south eastern Australia.
IN: *Climatology and microclimatology - Proceedings of the Canberra Symposium*: UNESCO, p. 285-291.

- HUTTON, J.T. et LESLIE, T.I. (1958).
Accession of non-nitrogenous ions dissolved in rainwater to soils in Victoria. Australian Journal of Agricultural Research, 9: 492-507.
- JUNGE, C.E. (1958).
The distribution of ammonia and nitrate in rain water over the United States. Trans. Am. Geophys. Union, 39: 241-248.
- JUNGE, C.E. (1963).
Air Chemistry and Radioactivity. Academic Press, N.Y., 382 p.
- JUNGE, C.E. et GUSTAFSON, P.E. (1956).
Precipitation sampling for chemical analysis. Bull. Amer. Meteor. Soc., 37: 244.
- JUNGE, C.E. et WERBY, R.T. (1958).
The concentration of chloride, sodium, potassium, calcium and sulfate in rain water over the United States. Journal of Meteorology, 15: 417-425.
- KAROL, I.L. et MYATCH, L.T. (1972).
Contribution to the planning of the station network for measuring the chemical composition of precipitation. Tellus, 24: 421-427.
- LIKENS, G.E., BORMANN, F.H., JOHNSON, N.M. et PIERCE, R.S. (1967).
The calcium, magnesium, potassium and sodium budgets for a small forested ecosystem. Ecology, 48: 772-785.
- *LODGE, J.P. *et al.* (1968).
Chemistry of United States precipitation: final report of the National Precipitation Sampling Network. Boulder, Colorado, National Centre for Atmospheric Research, (citée par Shiomi et Kuntz, 1973).
- MACKU, M., PODZIMEK, J. et SRAMEK, L. (1959).
Results of chemical analyses of precipitation collected on territory of Czechoslovak Republic in IGY. Trav. Inst. Geophys. Acad. Tchec. Sc., 124: 441-519.
- MATHESON, D.H. (1951).
Inorganic nitrogen in precipitation and atmospheric sediments. Can. J. Technol., 29: 406-412.
- MILLER, J.M. (1974).
The precipitation chemistry network in the United States. Presentation at the Symposium on Chemistry of atmospheric precipitation, 55th Annual meeting of the American Geophysical Union, Washington, D.C.
- MRN-INRS. (1976).
Etude intégrée de la qualité des eaux des bassins versants des rivières Saint-François et Yamaska. Volume 1: secteur des métaux traces, p.
- NEUMANN, G.H., FONSELIUS, S. et WAHLMAN, L. (1959).
Measurements on the content of non-volatile organic material in atmospheric precipitation. Int. J. Air Pollut., 2: 132-141.
- PEARSON, F.J. et FISHER, D.W. (1971).
Chemical composition of atmospheric precipitation in the Northeastern United States. Geological Survey Water-Supply Paper 1535-P.

- SELEZNEVA, E.S. (1971).
Estimation of the background contamination of the atmosphere from the chemical composition of precipitation. *Tellus*, 24: 122-127.
- SHIOMI, M.T. et KUNTZ, K.W. (1973).
Great Lakes precipitation chemistry. Part 1. Lake Ontario Basin. Proc. 16th Conf. Great Lakes Res., Internat. Assoc. Great Lakes Res., p. 581-602.
- STEVENSON, C.M. (1969).
An analysis of the chemical composition of rain-water and air over the British Isles and Eire for the years 1959-1964. *Quart. Journal of Royal Meteorological Soc.*, 94: 56-70.
- U.S. DEPARTMENT OF THE INTERIOR. (1971).
1969 Water resources data for New York: Part 2. Water quality Records. U.S. Geological Survey.
- UTTOMARK, P.D., CHAPIN, J.D. et GREEN, K.M. (1974).
Estimating nutrient loadings of lakes from non-point sources. Wisconsin Univ., Water Resources Centre, Madison, Wisconsin, 112 p.
- VOLLENWEIDER, R.A. (1968).
Les bases scientifiques de l'eutrophisation des lacs et des eaux courantes sous l'aspect particulier du phosphore et de l'azote comme facteurs d'eutrophisation. Organisation de coopération et de développement économique, DAS/CSI/68.27, 216 p.

*

REFERENCE NON CONSULTÉE PAR LES AUTEURS DE CE RAPPORT.