

**Record Number:** 520  
**Author, Monographic:** Campbell, P. G. C.//Couture, P.//Lachance, M.//Talbot, L.  
**Author Role:**  
**Title, Monographic:** Étude intégrée de la qualité des eaux des bassins versants des rivières Saint-François et Yamaska. Volume 2 : secteur des substances nutritives  
**Translated Title:**  
**Reprint Status:**  
**Edition:**  
**Author, Subsidiary:**  
**Author Role:**  
**Place of Publication:** Québec  
**Publisher Name:** INRS-Eau  
**Date of Publication:** 1976  
**Original Publication Date:**  
**Volume Identification:**  
**Extent of Work:** xiv, 127  
**Packaging Method:** pages, 8 annexes  
**Series Editor:**  
**Series Editor Role:**  
**Series Title:** INRS-Eau, Rapport de recherche  
**Series Volume ID:** 52  
**Location/URL:**  
**ISBN:** 2-89146-055-3  
**Notes:** Rapport annuel 1975-1976  
**Abstract:** Rapport rédigé pour le ministère des Richesses naturelles du Québec  
50.00\$  
**Call Number:** R000052  
**Keywords:** rapport/ ok/ dl

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

Volume 2:  
secteur des substances nutritives

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

RAPPORT SCIENTIFIQUE No 52  
1976

Rapport rédigé pour  
le ministère des Richesses naturelles, Québec

par  
P.G. Campbell, P. Couture, M. Lachance, L. Talbot

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

RAPPORT SCIENTIFIQUE No 52  
1976

Rapport rédigé pour  
le ministère des Richesses naturelles, Québec

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

Volume 2:  
secteur des substances nutritives

par  
P.G. Campbell, P. Couture, M. Lachance, L. Talbot

ISBN 2-89146-055-3

DEPOT LEGAL 1976

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

© 1976 - Institut national de la recherche scientifique

PARTICIPANTS A L'ETUDE:

P.G. Campbell	professeur	INRS-Eau, responsable
B. Bobée	professeur	INRS-Eau
A. Caillé	professeur	INRS-Eau
P. Couture	agent de recherche	INRS-Eau
M. Lachance	agent de recherche	INRS-Eau
R. Robitaille	assistant de recherche	INRS-Eau
L. Talbot	assistant de recherche	INRS-Eau
M. Cantin	professionnel	INRS-Eau, rédacteur
G. Pelletier	professionnel	INRS
P. Lundahl	stagiaire	INRS-Eau
R. Fortin	technicien	INRS-Eau
M. Geoffroy	technicienne	INRS-Eau
A. Thibault	technicien	INRS-Eau
B. Veilleux	technicien	INRS-Eau
G. Boucher	technicien	MRN-Qualité
C. Poulin	technicienne	MRN-Qualité

## REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier bien sincèrement les personnes suivantes pour leur précieuse collaboration apportée à la réalisation de ce rapport:

- D. Cluis, A. Tessier et S.A. Visser, professeurs à l'INRS-Eau, pour leur apport scientifique à la rédaction de ce rapport.
- M. Beauparlant, R. Hamel, A. Parent et L. Raymond pour leur support technique à l'écriture de ce rapport.
- P. Auger, G. Bélanger, H. Durocher, R. Gagné et R. Labbé, du Service de la qualité des eaux du Ministère des Richesses naturelles, qui ont collaboré activement à la réalisation de ce rapport.

## RESUME

Dans le cadre d'une étude intégrée de la qualité des eaux des bassins versants des rivières Yamaska et Saint-François, une équipe conjointe du Ministère des Richesses naturelles (MRN-Qualité des Eaux) et de l'Institut national de la recherche scientifique (INRS-Eau) a entrepris une étude pilote du comportement des substances nutritives (C, N, P) dans ces deux rivières. Cette étude avait pour objectif la mise au point d'une méthode d'étude permettant de caractériser la qualité générale d'une rivière et d'établir des liens entre cet état de qualité et les activités se déroulant sur le territoire du bassin versant.

De janvier 1974 à novembre 1975, trente-six stations furent échantillonnées mensuellement (stations régulières) ou bi-mensuellement (stations spéciales): dix neuf (dont six stations spéciales) se situaient dans le bassin de la rivière Yamaska, et dix-sept (dont sept spéciales) se trouvaient dans celui de la rivière Saint-François.

Des paramètres physico-chimiques (*avant et après filtration*: C-inorganique, C-organique; N-NH<sub>4</sub>, N-NO<sub>2-3</sub>, N-organique; ortho-P, P-hydrolysable, P-total) ainsi que des paramètres biologiques (*sans filtration*: potentiel de fertilité, potentiel autotrophe, potentiel hétérotrophe) furent déterminés sur des échantillons d'eau prélevés à ces stations. Chaque paramètre fut considéré en fonction de sa variabilité temporelle (diurne, journalière, saisonnière) et de sa variabilité spatiale (ex.: évolution longitudinale de l'amont vers l'aval). De plus, à chacune des stations d'échantillonnage des relations entre le débit et les divers paramètres furent recherchées, et les charges de la rivière en éléments nutritifs furent calculées. Cette analyse a permis d'élaborer des recommandations précises portant sur la méthodologie d'acquisition de données relatives aux substances nutritives dans les eaux courantes (plan d'échantillonnage; choix de paramètres; méthodes analytiques; traitement des données) de même que sur des éléments de rationalisation du réseau actuel d'échantillonnage dans les bassins des rivières Yamaska et Saint-François.

MOTS CLE:

réseau / acquisition de données / qualité de l'eau /

substances nutritives / carbone / azote / phosphore / eutrophisation /

rivière / eaux courantes / production primaire / toxicité / fertilité

REFERENCE:

Campbell, P.G. *et al.* (1976). *Etude intégrée de la qualité des eaux des bassins versants des rivières Saint-François et Yamaska. Volume 2: Secteur des substances nutritives.* INRS-Eau, rapport scientifique no 52, 127 p., 108 t., 52 f., 8 annexes. (Rapport soumis au Ministère des Richesses naturelles, Québec).

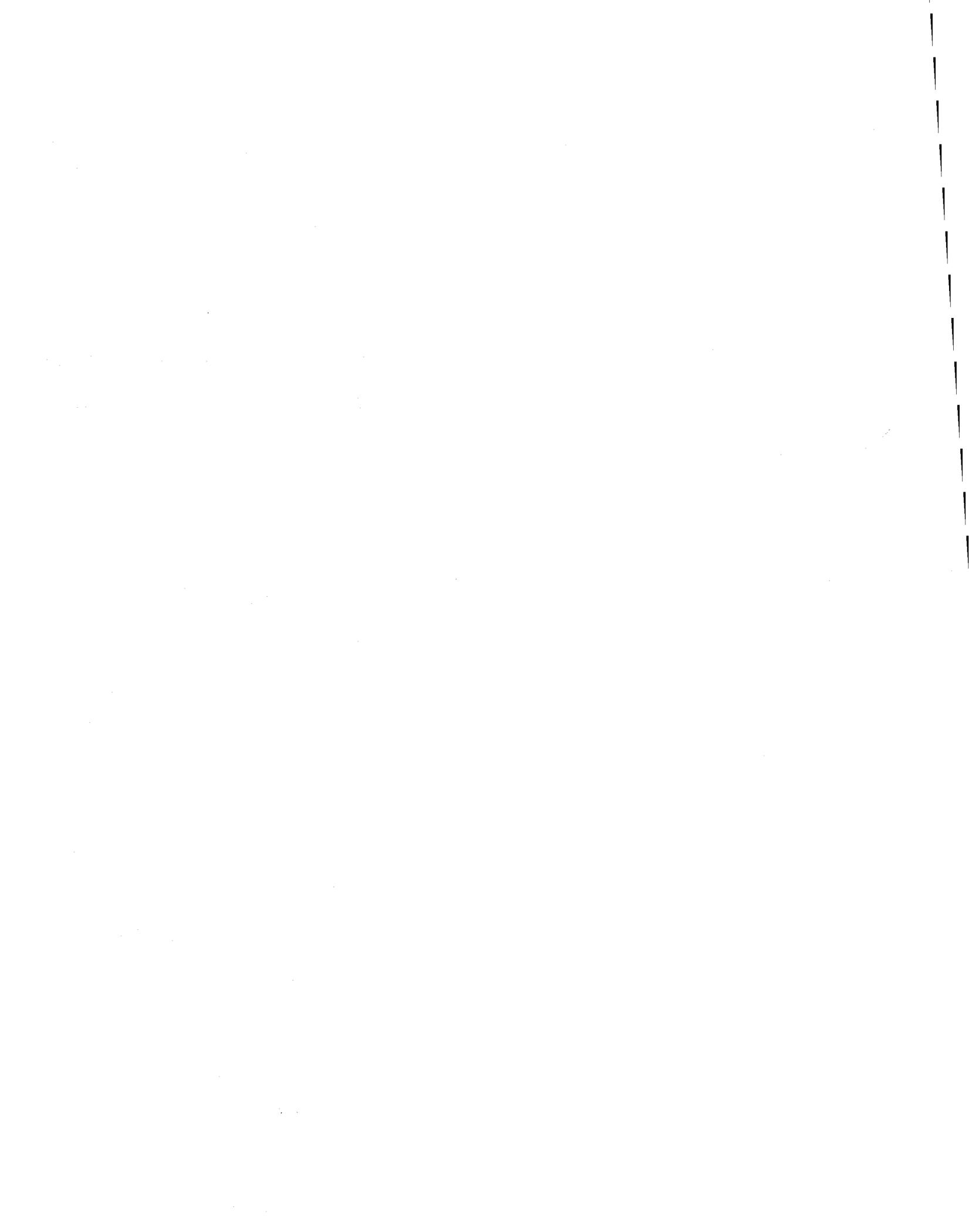
## TABLE DES MATIERES

1.	Introduction	1
2.	Description des travaux	5
2.1	Localisation des stations d'échantillonnage	6
2.2	Echantillonnage	7
2.3	Protocole expérimental	9
2.3.1	Qualité physico-chimique	9
2.3.2	Potentiel de fertilité	9
2.3.3	Facteur chimique limitant la production primaire	10
2.3.4	Toxicité	10
2.3.5	Potentiel autotrophe	11
2.3.6	Potentiel hétérotrophe - Assimilation de glucose marqué ( $^{14}\text{C}$ )	12
2.3.7	Potentiel hétérotrophe - Incorporation de sulfate marqué ( $^{35}\text{S}$ )	13
3.	Résultats et discussion	14
3.1	Qualité physico-chimique	15
3.1.1	Statistiques descriptives	15
3.1.2	Variabilité spatiale des concentrations en substances nutritives	17
3.1.3	Variabilité temporelle des concentrations en substances nutritives	21
3.1.4	Comparaison des concentrations en substances nutritives avec des critères de qualité	25

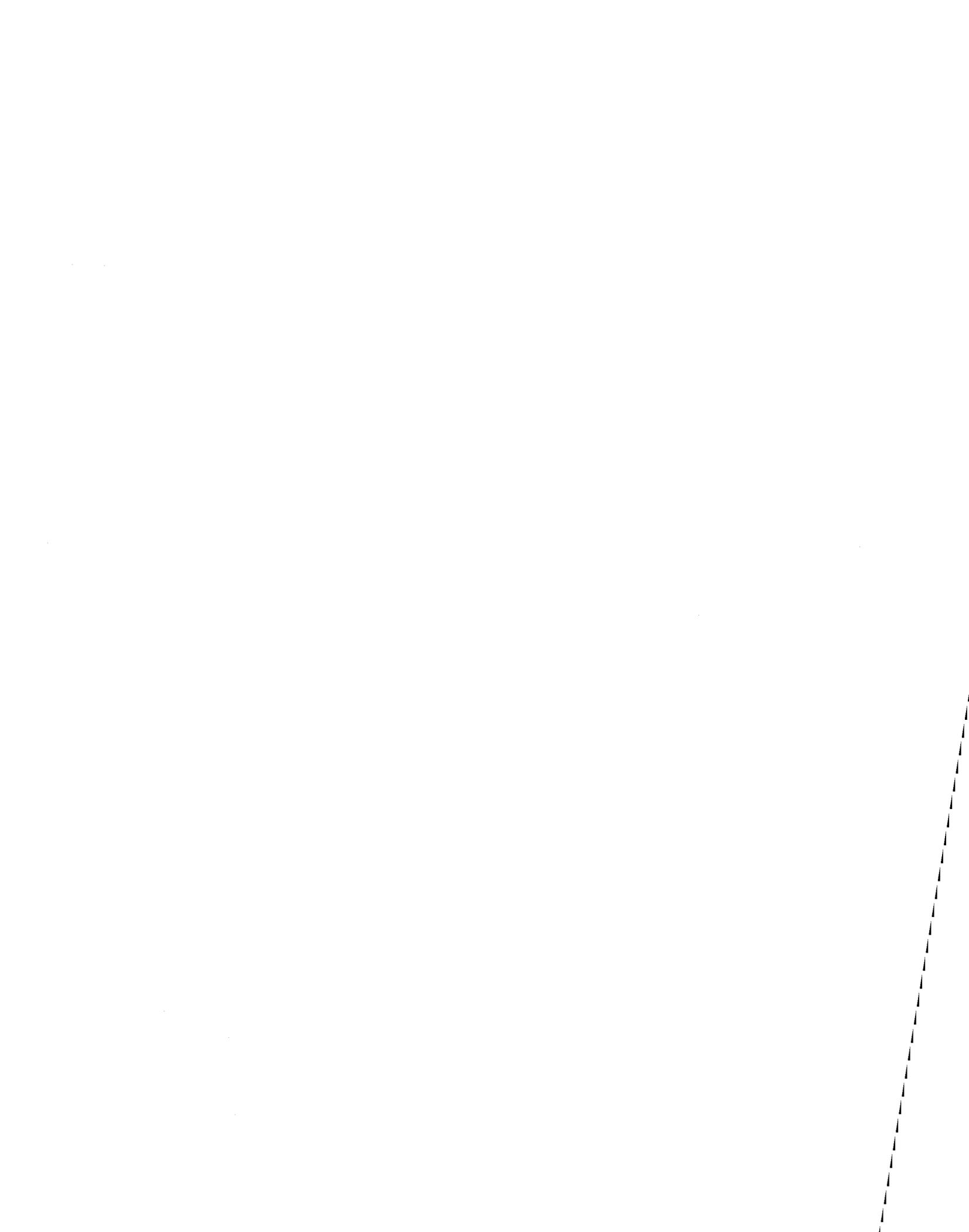
3.1.5	Spéciation des substances nutritives	30
3.1.6	Cheminement des substances nutritives dans les bassins des rivières Yamaska et Saint-François	39
3.2	Potentiel de fertilité et facteurs limitants	48
3.2.1	Introduction	48
3.2.2	Rivière Saint-François	50
3.2.3	Rivière Yamaska	55
3.3	Potentiel autotrophe	66
3.3.1	Introduction	66
3.3.2	Variations diurnes	68
3.3.3	Variations journalières	69
3.3.4	Evolution saisonnière	70
3.3.5	Evolution longitudinale	71
3.4	Potentiel hétérotrophe	79
3.4.1	Mode d'assimilation du glucose	80
3.4.2	Temps de renouvellement du glucose	81
3.4.3	Fraction de glucose respirée	83
3.4.4	Variations diurne et journalière des divers paramètres	87
3.5	Production hétérotrophe	95
3.6	Toxicité	97
3.6.1	Introduction	97
3.6.2	Comparaison des potentiels de fertilité mesurés et anticipés	98
3.6.3	Etude du rôle des oligo-éléments	99
3.6.4	Etude du rôle des substances toxiques	99
3.6.5	Variabilité temporelle de la toxicité	101
4.	Conclusion et recommandations	104
4.1	Plan d'échantillonnage	105
4.1.1	Fréquence de mesure	106

4.1.2	Localisation et densité des stations d'échantillonnage	108
4.2	Méthodologie analytique	110
4.2.1	Préparation du matériel	110
4.2.2	Prélèvement des échantillons d'eau	111
4.2.3	Préservation et conservation des échantillons	112
4.2.4	Choix de paramètres et méthodes d'analyse	113
4.3	Traitement mathématique des données	118
	<b>BIBLIOGRAPHIE</b>	<b>120</b>

---



## 1. INTRODUCTION



En 1972 et en 1973, le Ministère des Richesses naturelles (MRN-Qualité) et l'Institut national de la recherche scientifique ont réalisé une étude conjointe visant à développer une méthode d'acquisition des données de la qualité de l'eau sur l'ensemble du territoire québécois. Comme résultat de cette étude (MRN-INRS, 1974b), il a été suggéré de subdiviser l'acquisition des données en quatre secteurs d'opération:

- . étude de l'utilisation du territoire (secteur A);
- . caractérisation de la ressource (secteur B);
- . contrôle et surveillance de la ressource (secteur C);
- . compréhension de la ressource (secteur D).

A l'intérieur de chacun de ces secteurs, des unités d'investigation ont été identifiées et pour chacune d'elles, on a décrit des opérations en fonction d'objectifs précis. Après une analyse approfondie des recommandations de cette étude, il a été convenu que l'on devrait passer à l'application de la méthode proposée, à titre d'essai, dans le cadre d'une étude des bassins de la rivière Yamaska et de la rivière Saint-François. Le choix de la rivière Yamaska a été motivé par le fait que l'on pouvait procéder plus rapidement sur ce bassin que sur tout autre en utilisant l'ensemble des données déjà disponibles; quant à la rivière Saint-François, c'est une rivière différente de la Yamaska aux points de vue morphométrique et géologique et son choix permettait donc d'expérimenter la méthode dans des conditions naturelles différentes de celles de la rivière Yamaska. Par ailleurs, ces deux rivières comptaient parmi celles qui devraient être étudiées en premier lieu selon les priorités établies du Ministère des Richesses naturelles.

L'expérimentation de la méthode proposée s'est réalisée de novembre 1973 à novembre 1975. Quatre secteurs d'activité furent identifiés, dont un concernait les substances nutritives ou eutrophisantes, substances qui se trouvent impliquées presque sans exception dans les problèmes de qualité de l'eau qui surgissent dans les milieux influencés par l'homme et ses activités. Le présent rapport rend compte des travaux entrepris dans le cadre de cette étude pilote.

Les substances nutritives, se trouvant dans le milieu sous diverses formes, y sont soumises à des transformations physiques, chimiques et biologiques. Dans

un cadre conceptuel, il convient de grouper l'ensemble de ces réactions dans des cycles biogéochimiques (Allen et Kramer, 1972). Dans cette présente étude, l'accent a été mis sur le cycle du carbone, ce cycle ayant comme avantage le fait qu'il intègre ceux des autres éléments nutritifs.

La définition du cycle biogéochimique d'un élément implique l'identification des formes présentes, la détermination des voies ou mécanismes de transformation entre ces formes, ainsi que l'évaluation des vitesses de ces transformations. En ce qui concerne le cycle du carbone dans le milieu aquatique, de grands progrès dans l'éclaircissement de ces points ont été réalisés au cours des dernières années (ex.: Saunders, 1971; Wangersky, 1972; Wetzel et Rich, 1973). Pourtant, il faut admettre que notre compréhension quantitative de ce cycle demeure incomplète: même si une image statique de sa structure se dessine (divers réservoirs de carbone quantifiés; principaux mécanismes de transformation identifiés), les flux du carbone par ces diverses voies potentielles restent à préciser, notamment dans les eaux courantes. Les considérations physiques et hydrodynamiques mises à part, l'étude du cycle du carbone dans les eaux courantes se complique du fait que l'évolution temporelle se traduit nécessairement par un déplacement dans l'espace. L'évolution dans le temps du milieu dépend non seulement des processus chimiques et biologiques déjà mentionnés, mais également des apports allochtones que reçoit la masse d'eau en se déplaçant. La nature et l'importance de ces apports sont évidemment déterminées par les caractéristiques du bassin versant (ex.: topographie, géologie, pédologie, utilisation du territoire).

L'objectif global visé par notre groupe était de mettre au point une méthode d'étude des substances nutritives qui renseignerait sur la qualité d'une rivière, et qui permettrait d'établir des liens entre cet état de qualité et les activités se déroulant sur le territoire du bassin versant. Cette méthode devait satisfaire aux exigences propres à l'opération d'un réseau d'acquisition de données de qualité de l'eau (MRN-INRS, 1974b). Dans ce contexte, nous nous sommes intéressés à certains aspects du cycle du carbone dans les eaux courantes, et à l'influence de l'homme et de ses activités sur ce cycle. L'intérêt a porté sur le rôle que jouent des micro-organismes planctoniques, autotrophes et hétérotrophes. Compte tenu de la taille de ces organismes, de leurs taux métaboliques élevés et variables, et de leur sensibilité aux conditions ambiantes, il nous a semblé plus important d'évaluer leur activité que de déterminer leur biomasse (Albright et Wentworth, 1973; Overbeck, 1974), ceci afin de mieux définir leur contribution à la dynamique du cycle du carbone.

La poursuite de cette étude a nécessité la mise au point ou l'adaptation de plusieurs techniques de mesure aux eaux courantes. Le programme d'activités a été subdivisé en trois parties: l'adaptation de techniques d'*analyse* pour le carbone, l'azote et le phosphore en suspension (responsabilité du MRN), la mise au point d'une mesure de la *disponibilité* des formes minérales des substances nutritives pour les organismes autotrophes (responsabilité de l'INRS), ainsi que la mise au point de mesures de l'*utilisation* des substances nutritives par les organismes autotrophes et par les organismes hétérotrophes (responsabilité de l'INRS). L'évaluation des techniques nouvelles ou adaptées se faisait dans le contexte de l'établissement d'un réseau d'acquisition de données sur la qualité de l'eau. Elle prenait donc en considération les difficultés techniques susceptibles d'intervenir dans la mesure routinière de chacun des paramètres, de même que les aspects liés à la logistique de l'établissement d'un réseau. De cette façon, on a pu vérifier la méthode d'étude initialement proposée (MRN-INRS, 1974b) et élaborer des recommandations précises quant à son amélioration. Ces recommandations, portant sur la méthodologie d'acquisition de données relatives aux substances nutritives dans les eaux courantes, figurent dans la section 4 de ce rapport.

## 2. DESCRIPTION DES TRAVAUX

## 2.1 Localisation des stations d'échantillonnage

Trente-six stations furent échantillonnées sur les deux bassins versants étudiés: dix-neuf étaient situées dans le bassin de la rivière Yamaska (Figure 2.1) et dix-sept dans celui de la rivière Saint-François (Figure 2.2). La localisation des stations a été faite en tenant compte de la distribution spatiale de la population et de la variation longitudinale des débits.

Des dix-neuf stations du bassin de la rivière Yamaska, sept sont situées sur le tronçon principal de la rivière: Adamsville, Farnham, Saint-Damase, Douville, Autoroute 20, Saint-Marcel et Yamaska. Quatre se situent à l'embouchure de rivières: David, Salvail, Chibouet et Saint-Nazaire. Trois stations sont situées dans le sous-bassin de la rivière Noire: Roxton Falls, Saint-Hector et Saint-Pie. Trois stations se trouvent dans le sous-bassin de la rivière Yamaska-Nord: Waterloo, Granby (aval) et Saint-Alphonse (aval). Enfin, deux stations sont situées sur la rivière Yamaska Sud-Est: Cowansville (aval) et Brigham (aval).

Des dix-sept stations échantillonnées sur le bassin versant de la rivière Saint-François, dix stations se situent sur le tronçon principal de la rivière: Pierreville, Drummondville, Richmond, Bromptonville, Lennoxville, Ascot Corner, East Angus, Au Saumon, Saint-Gérard et Disraëli. Sept stations se trouvent sur les tributaires de la rivière Saint-François: à l'embouchure de chacune des rivières Saint-Germain, Massawippi, Ascot, Eaton et Au Saumon, ainsi qu'aux décharges des lacs Memphrémagog et Magog.

## 2.2 Echantillonnage

Les échantillons d'eau destinés aux analyses physico-chimiques et à la détermination du potentiel de fertilité furent prélevés de novembre 1973 à novembre 1975 par l'équipe de terrain du MRN-Qualité (voir l'Annexe 4 pour les dates d'échantillonnage). A cause de la grande superficie des deux bassins, et des distances appréciables à parcourir entre les stations d'échantillonnage, cet échantillonnage mensuel s'étendait sur plusieurs jours. Pour la rivière Yamaska, une tournée suffisait pour l'échantillonnage de tout le bassin, alors que pour la rivière Saint-François, il s'avèrait nécessaire de réaliser deux campagnes par mois, la moitié du bassin étant visitée à chaque tournée<sup>1</sup>.

Aux stations échantillonnées par le MRN, c'est-à-dire à toutes les stations identifiées sur les Figures 2.1 et 2.2, l'eau était prélevée en un point central d'une section transversale de la rivière. Le remplissage des bouteilles à chaque point s'effectuait à l'aide d'un mouvement alternatif qui déplaçait l'échantillonneur de la surface vers le fond et vice-versa. Les échantillons ainsi prélevés étaient refroidis jusqu'à  $\leq 4^{\circ}\text{C}$  et acheminés à un laboratoire mobile. Une portion ( $\sim 500$  ml) de chaque échantillon était filtrée sur le terrain; pour les substances nutritives, on employait une membrane filtrante lavée préalablement à l'eau déminéralisée (Gelman TCM 450,  $0.45 \mu\text{m}$ ). Les filtrats, de même que les portions non filtrées des échantillons, furent conservés à  $\leq 4^{\circ}\text{C}$  jusqu'à la fin de période d'échantillonnage et ramenés par la suite aux laboratoires à Québec.

Les échantillons d'eau destinés aux mesures des potentiels autotrophe et hétérotrophe, et à la détermination du facteur chimique limitant la production primaire, furent prélevés mensuellement de janvier 1974 à novembre 1975 par l'équipe de terrain de l'INRS-Eau (voir le Tableau 2.1 pour le calendrier des activités).

---

<sup>1</sup> A la station de Lennoxville (SF-8; 03021V) dans le bassin de la rivière Saint-François, des prélèvements furent réalisés à chaque tournée, soit toutes les deux semaines. Cette station se distingue ainsi des autres.

Grâce au nombre restreint de stations à visiter<sup>1</sup>, une seule tournée mensuelle d'une durée de 3 à 4 jours suffisait pour l'échantillonnage des deux bassins versants. A ces stations spéciales, les prélèvements étaient effectués, autant que possible, en deux ou trois points d'une section transversale de la rivière suivant le mode d'échantillonnage décrit ci-haut. Les deux ou trois échantillons d'eau prélevés à une même station et destinés à la détermination du facteur limitant étaient acheminés à  $\leq 4^{\circ}\text{C}$  au laboratoire à Québec où, par la suite, ils étaient mélangés. Le facteur chimique limitant la production primaire était déterminé sur ces échantillons composites représentant la composition moyenne de l'eau au point d'échantillonnage. Les mesures des potentiels autotrophe et hétérotrophe étaient faites à partir d'échantillons prélevés de la même façon; ces mesures étaient faites sur place dans un laboratoire mobile le plus tôt possible après la prise des échantillons (voir la section 2.3).

En plus des déterminations régulières décrites ci-haut, deux campagnes intensives ont été réalisées par l'équipe de terrain de l'INRS-Eau aux stations types de Saint-Alphonse (03031D), grandement influencée par l'agglomération urbaine de Granby, et d'Adamsville (03031E), relativement peu influencée par l'homme et ses activités. Ces campagnes avaient pour but d'estimer les variations journalières et diurnes des paramètres mesurés (potentiel de fertilité; potentiel autotrophe; potentiel hétérotrophe-glucose) durant deux saisons différentes, soit en période d'étiage d'été durant la semaine du 7 au 10 juillet 1975 et en automne durant la semaine du 27 au 30 octobre 1975. Afin de cerner la variation journalière des paramètres mesurés, des prélèvements furent effectués, à heure fixe, pendant quatre jours consécutifs à chacune des stations ci-haut mentionnées. De plus, pour évaluer la variation diurne de chaque paramètre, nous avons effectué des prélèvements à toutes les six heures pendant une journée entière.

Bassin versant de la Yamaska, stations d'échantillonnage spéciales:	Saint-Marcel	03030Z
	Saint-Pie	03030C
	Saint-Damase	03031B
	Aval de Brigham	03031G
	Aval de Saint-Alphonse	03031D
	Adamsville	03031E
Bassin versant de la Saint-François, stations d'échantillonnage spéciales:	Pierreville	03021L
	Richmond	03021P
	Bromptonville	03021Q
	Rivière Magog	03021R
	Lennoxville	03021V
	Rivière Massawippi	03021U
	Saint-Gérard	03021Z

## 2.3 Protocole expérimental

### 2.3.1 Qualité physico-chimique

Les analyses des paramètres physico-chimiques étaient faites d'une part sur des échantillons d'eau "naturelle" (non filtrée) et d'autre part sur des échantillons d'eau filtrée (0.45  $\mu\text{m}$ ). Les analyses étaient effectuées au laboratoire du Service de la Qualité des Eaux du MRN. Les différentes techniques utilisées, leur précision et leur limites de détection apparaissent dans le Tableau 2.2 pour chacun des paramètres analysés.

Parmi les paramètres qui figurent dans le Tableau 2.2, seuls ceux pertinents à l'étude de la dynamique des substances nutritives seront considérés dans le cadre de ce rapport. A cause de la nature labile de ces substances, les déterminations analytiques étaient réalisées le plus rapidement possible après la réception des échantillons au laboratoire. La cédule d'analyse se résumait ainsi:

le mercredi	-	réception des échantillons;
le jeudi	-	analyse de N-NO <sub>3</sub> , o-PO <sub>4</sub> , P-hydrolysable;
le vendredi	-	analyse de N-NH <sub>4</sub> , C-organique, C-inorganique;
le lundi	-	analyse de N-Kjeldahl, P-total.

### 2.3.2 Potentiel de fertilité

La mesure du potentiel de fertilité est effectuée selon une technique développée par l' "Environmental Protection Agency" des Etats-Unis (EPA, 1971) et modifiée dans nos laboratoires. Un échantillon composite (eau non filtrée) est stérilisé et une souche d'algues (*Selenastrum capricornutum*) y estensemencée à raison de 5,000 algues/ml. La souche d'algues utilisée provient du "Pacific Northwest Water Laboratory", Corvallis, Oregon. La souche est repiquée à toutes les semaines et seules les cultures en phase de croissance exponentielle servent d'inoculum. Les conditions d'incubation des échantillons d'eau inoculés sont les suivantes: 16 heures de photo-période, 5380 lux, 24 $\pm$ 2°C. Les échantillons inoculés sont agités à la main tous les jours et la population d'algues est mesurée au moins sept fois durant la période d'incubation (21 jours), habituellement aux jours 1-2-3-4-7-14 et 21.

Ces mesures sont effectuées à l'aide d'un compteur de particules (Coulter Counter Model ZB).

La croissance de la population d'algues dans les différents échantillons d'eau est par la suite caractérisée à l'aide de trois paramètres: la mesure du potentiel de fertilité (PF), le calcul du coefficient de croissance maximale (CCM) et l'identification du moment d'incidence (MI) du CCM (Figure 2.3; voir aussi l'Annexe 1). La quantité d'algues obtenue après 21 jours de croissance est la mesure du potentiel de fertilité. Cette mesure est traduite en une mesure de biomasse (Annexe 1) et quatre niveaux d'enrichissement sont établis: faible, moyen, modérément élevé et élevé.

### 2.3.3 Facteur chimique limitant la production primaire

Le facteur limitant la production est déterminé à partir d'un test également développé par l' "Environmental Protection Agency" des Etats-Unis (EPA, 1971). Ce test consiste à diviser l'échantillon d'eau en trois sous-échantillons, après stérilisation et inoculation, et à ajouter au premier de l'azote, au deuxième du phosphore et au troisième un mélange d'azote et de phosphore<sup>1</sup>. Les différents échantillons sont incubés et agités à la main tous les deux jours. La population d'algues est mesurée après 21 jours, et l'élément (N ou P) qui provoque la meilleure stimulation de croissance de la population identifie le facteur chimique pouvant limiter la production primaire dans l'échantillon d'eau analysé.

### 2.3.4 Toxicité

Une revue bibliographique portant sur l'influence de substances toxiques sur le phytoplancton, ainsi que des essais préliminaires dans nos laboratoires (voir l'Annexe 2), nous ont amenés à tenter d'évaluer l'impact de substances toxiques sur les rivières Yamaska et Saint-François en employant la même espèce d'algue (*Selenastrum capricornutum*) que celle utilisée pour la

<sup>1</sup> Concentrations d'éléments chimiques utilisées:

Pour les échantillons d'eau prélevés:  
 en 1974  $\left\{ \begin{array}{l} [N] = 1.4 \text{ mg N/l} \\ [P] = 0.06 \text{ mg P/l} \end{array} \right.$  ; en 1975  $\left\{ \begin{array}{l} [N] = 0.7 \text{ mg N/l} \\ [P] = 0.06 \text{ mg P/l} \end{array} \right.$

détermination du potentiel de fertilité. Les résultats obtenus au cours des expériences préliminaires révèlent que l'impact de substances toxiques sur la croissance de la population d'algues se fait sentir tant au niveau de la biomasse finale de la culture (PF) qu'au niveau des autres caractéristiques générales de croissance, telles le coefficient de croissance maximale et le moment d'incidence de la croissance maximale. Cependant, l'utilisation de ces deux derniers paramètres restent problématique; en effet, étant donné, d'une part, que les valeurs de CCM obtenues se sont avérées assez peu fidèles (voir les sections 3.2.2 et 3.2.3), et, d'autre part, que l'utilisation efficace du MI repose sur la validité des valeurs de CCM, l'accent sera mis ici sur les données de potentiel de fertilité (PF).

Le potentiel de fertilité d'un échantillon d'eau dépend de la quantité de substances nutritives disponibles: une relation linéaire a été établie entre la valeur du potentiel de fertilité et la concentration de l'élément chimique limitant la production (Toerein *et al.*, 1971). Greene *et al.* (1974) ont de plus calculé la quantité d'algues produite pour chaque milligramme de phosphore et d'azote inorganique:

1 mg/l de P → 430 mg/l de *S. capricornutum* (poids/sec)

1 mg/l de N → 38 mg/l de *S. capricornutum* (poids/sec)

Pour un échantillon d'eau où la production primaire est limitée soit par l'azote, soit par le phosphore, il est donc possible de calculer la fertilité à partir de la concentration de l'élément limitant: cette valeur calculée définit le *potentiel de fertilité anticipé*.

Des substances toxiques, présentes sous formes disponibles à des concentrations significatives, auront tendance à réduire la croissance d'algues: les valeurs du "potentiel de fertilité mesuré" seront alors inférieures aux valeurs du "potentiel de fertilité anticipé". Pour les fins de cette étude, un seuil de -30% a été fixé; en d'autres termes un rapport { PF - mesuré/ PF - anticipé } inférieur à 0.7 est indicatif de la présence de substances toxiques.

### 2.3.5 Potentiel autotrophe

La détermination du potentiel autotrophe des eaux de lac et de rivière consiste à mesurer le taux d'assimilation, par le plancton présent, de bicar-

bonate marqué au carbone-14. Ces mesures furent effectuées en triple (ou même en quintuple, à partir de février 1975) dans des conditions expérimentales de température et de lumière contrôlées. La température était voisine de celle de l'eau lors de l'échantillonnage tandis que l'intensité lumineuse était toujours de 5,400 lux. La période d'incubation variait de 2 à 6 heures selon que la température était élevée ( $>20^{\circ}\text{C}$ ) en été ou basse ( $<5^{\circ}\text{C}$ ) en hiver. Des expériences témoins furent réalisées simultanément en triple (en double à partir de février 1975) et à l'obscurité, en maintenant inchangées les autres conditions expérimentales. Trois standards (deux, à partir de février 1975) étaient préparés afin de déterminer l'activité ajoutée et l'efficacité du comptage radioactif. Les détails du protocole expérimental sont présentés dans l'Annexe 3.

#### 2.3.6 Potentiel hétérotrophe - Assimilation de glucose marqué ( $^{14}\text{C}$ )

La détermination du potentiel hétérotrophe des eaux de rivière consiste à mesurer la vitesse d'assimilation de glucose marqué uniformément au carbone-14. Le choix du glucose comme substrat organique modèle est justifié par sa présence presque universelle dans les eaux de surface et son assimilation rapide par le bactérioplancton. Aux concentrations employées dans cette étude ( $< 30 \mu\text{g glucose-U-}^{14}\text{C l}^{-1}$ ), l'assimilation par le phytoplancton peut normalement être négligée (Wright et Hobbie, 1966).

Le protocole expérimental suivi était sensiblement le même que celui décrit par Hobbie et Crawford (1969a, 1969b). Les mesures du taux d'assimilation furent effectuées en triple, à quatre concentrations différentes (3.25, 6.5, 13.0 et 26.0  $\mu\text{g glucose l}^{-1}$ ); on mesurait à la fois la fraction de glucose incorporée et la fraction respirée. L'incubation s'est déroulée dans l'obscurité, sur un agitateur rotatif placé dans un incubateur dont la température était voisine de celle de l'eau de la rivière. Comme pour la détermination du potentiel autotrophe, la durée de l'incubation variait de 2 à 6 heures selon la température. Des expériences de contrôle furent réalisées en triple selon le même protocole, à ceci près que les milieux étaient acidifiés immédiatement après l'addition du glucose- $^{14}\text{C}$ , bloquant ainsi l'assimilation biologique dès le début de l'incubation. Une seule concentration du glucose (13  $\mu\text{g l}^{-1}$ ) a été utilisée pour ces expériences de contrôle; la fixation non-biologique aux autres concentrations fut calculée par extrapolation (Crawford *et al.*,

1974). Les détails du protocole expérimental sont présentés dans l'Annexe 3.

### 2.3.7 Potentiel hétérotrophe - Incorporation de sulfate marqué ( $^{35}\text{S}$ )

La méthode pour mesurer l'incorporation de sulfate marqué ( $^{35}\text{S}$ ) est fondamentalement la même que la technique pour mesurer l'incorporation de bicarbonate marqué (Monheimer, 1974). Les mesures du taux d'incorporation de sulfate marqué au soufre-35 furent effectuées en quintuple en l'absence de lumière dans un incubateur dont la température était ajustée selon celle de l'eau lors de l'échantillonnage. Comme pour les autres déterminations, la période d'incubation était fonction inverse de la température. Des expériences témoins furent effectuées simultanément, en double, selon le même protocole expérimental sauf que l'activité microbienne était arrêtée dès le début de la période d'incubation en acidifiant l'échantillon ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ). Pour chaque échantillon, deux standards furent préparés afin de déterminer l'activité ajoutée, l'efficacité du comptage radioactif et la décroissance radioactive du soufre-35. Les détails du protocole expérimental sont présentés dans l'Annexe 3.

### 3. RESULTATS ET DISCUSSION

### 3.1 Qualité physico-chimique

Comme il a déjà été souligné dans la section 2.3.1, plusieurs paramètres physico-chimiques étaient déterminés mensuellement sur les échantillons d'eau prélevés dans les bassins des rivières Yamaska et Saint-François (voir le Tableau 2.2). L'analyse des échantillons, ainsi que le dépouillement des résultats analytiques et l'établissement d'une banque de données physico-chimiques, ont été effectués par le Ministère des Richesses naturelles. Parmi tous les paramètres mesurés, seuls ceux pertinents à l'étude des substances nutritives ont été considérés dans le cadre de ce projet:

C	:	carbone organique
N	:	azote inorganique (N-NH <sub>4</sub> ; N-NO <sub>2-3</sub> ) azote organique (N-Kjeldahl - N-NH <sub>4</sub> )
P	:	phosphore inorganique (o-PO <sub>4</sub> ; P-hydrolysable) phosphore organique (P-total - P-hydrolysable)

Ces mesures ont d'abord servi au calcul des débits massiques (charges) en azote total (N<sub>T</sub>) et en phosphore total (P<sub>T</sub>) et, par la suite, à la calibration d'un modèle d'apports (MRN-INRS, 1976b). Dans un second temps, elles ont fait l'objet d'une étude qui, tout en visant à évaluer le niveau d'enrichissement en substances nutritives des eaux des deux bassins, a permis de dégager certaines conclusions relativement à la variabilité temporelle et spatiale de leurs concentrations, ainsi qu'à la spéciation de ces éléments. C'est de cette seconde étude que nous traitons dans la présente section.

#### 3.1.1 Statistiques descriptives

A partir de la banque de données physico-chimiques fournie par le Ministère des Richesses naturelles, on a procédé d'abord à un examen rapide des données disponibles en calculant, pour chacune des stations et pour les paramètres pertinents à l'étude, les principales caractéristiques d'une distribution statistique: moyenne, écart type, écart type de la moyenne, minimum, maximum et intervalles de confiance à 95% sur la moyenne. Ces résultats apparaissent dans

l'Annexe 5 sous forme de tableaux synoptiques (Tableaux A.5.1 à A.5.12). Pour chacun des paramètres pertinents et pour chaque bassin, on retrouve dans ces tableaux un numéro d'identification de la station. Ces numéros varient entre 1 et 19 pour les stations du bassin de la rivière Yamaska et entre 20 et 36 pour les stations du bassin de la rivière Saint-François. On retrouvera dans les Tableaux 3.1.1 et 3.1.2 le nom et la localisation de ces stations, alors que les concentrations moyennes des divers paramètres figurent dans les Tableaux 3.1.3 et 3.1.4. Signalons que dans le Tableau 3.1.2 qui décrit les stations du bassin de la rivière Saint-François, et dans le texte qui suit, les stations sont numérotées de 1 à 17 au lieu de 20 à 36.

Douze paramètres pertinents à l'étude des substances nutritives ont été retenus, soit:

- le phosphore total non filtré;
- le phosphore total filtré;
- le phosphore hydrolysable non filtré;
- le phosphore hydrolysable filtré;
- le phosphore organique non filtré;
- le phosphore organique filtré;
- l'azote total filtré;
- l'azote organique filtré;
- l'azote inorganique filtré;
- l'azote ammoniacal filtré;
- l'azote nitrate filtré;
- le carbone organique filtré.

Le choix de ces paramètres résulte d'un souci d'utiliser le maximum de données possibles tout en évitant la duplication de l'information. Après avoir étudié l'effet de la filtration (voir la section 3.1.4), on a retenu seulement les formes d'azote dissoutes. On a aussi négligé des paramètres comme les orthophosphates et l'azote Kjeldahl qui n'apportaient pas de renseignements supplémentaires.

La période couverte par cette étude descriptive débute en janvier 1974 pour les formes de phosphore et en novembre 1973 pour les formes d'azote et pour le carbone organique. On a éliminé les valeurs obtenues pour les différen-

tes formes de phosphore en novembre et en décembre 1973 à cause des difficultés analytiques rencontrées avec ce paramètre durant ces deux mois (voir la section 3.1.4).

L'examen rapide des résultats présentés dans les Tableaux 3.1.3 et 3.1.4 nous montre déjà certaines différences apparentes dans les concentrations moyennes des paramètres. Dans le bassin de la rivière Yamaska, on voit que trois stations ont des concentrations moyennes relativement élevées; ce sont les stations 03031D (Saint-Alphonse, aval), 03031C (Granby, aval) et 03031R (Waterloo, aval). Dans le bassin de la rivière Saint-François, une station seulement a des concentrations moyennes relativement élevées, soit la station 03021N (rivière Saint-Germain).

Afin d'avoir une meilleure idée de la variabilité rencontrée à chaque station, on a calculé les coefficients de variation pour chacun des paramètres (Tableaux 3.1.5 et 3.1.6). Comme on peut le constater, les coefficients de variation ont une très grande variabilité d'un paramètre à un autre, et d'une station à une autre. A certaines stations, on a réussi à expliquer la valeur élevée du coefficient de variation par une seule valeur de concentration démesurément élevée (Tableau 3.1.5).

Les coefficients de variation calculés pour l'ensemble des stations permettent de comparer la variation des paramètres entre eux. Dans le Tableau 3.1.7, on a groupé les coefficients de variation en trois classes. On peut voir que les formes de phosphore ont une plus grande variabilité que les formes d'azote et le carbone organique. Dans le bassin de la rivière Saint-François, les coefficients de variation du phosphore hydrolysable et de l'azote ammoniacal sont très élevés; ceci témoigne de l'influence des faibles concentrations mesurées et des difficultés analytiques découlant de la sensibilité inadéquate des méthodes analytiques employées pour doser ces éléments.

### 3.1.2 Variabilité spatiale des concentrations en substances nutritives

#### *Méthode d'étude*

Une étude statistique utilisant l'analyse de variance a été entreprise pour comparer les variations de concentration d'une station à une autre sur

Les bassins des rivières Yamaska et Saint-François. L'analyse de variance permet de tester l'égalité simultanée de plusieurs moyennes et de regrouper des séries homogènes. Dans l'analyse, on considère l'ensemble des valeurs d'un paramètre, mesurées à une station donnée, comme une série; on examine si les  $k$  séries provenant des  $k$  stations ont des moyennes égales. On pose comme hypothèse de départ ( $H_0$ )

$$\mu_1 = \mu_2 = \dots \mu_j \dots \mu_k$$

où  $\mu_j$ , la moyenne théorique de la  $i$ -ième population, est estimée par la moyenne de la série correspondante.

Dans le cas de l'analyse de variance à un critère, le rejet de l'hypothèse d'égalité des moyennes implique l'existence d'un effet spécifique à une série. On considère en effet que la variation totale peut être décomposée en deux parties: une première partie comprend la variation à l'intérieur d'une série et une seconde partie est due à la variation entre les moyennes des séries, c'est-à-dire celle qui est causée par l'effet spécifique à une série. On calcule ensuite une valeur de  $F$  à partir de ces deux sources de variation et on compare cette valeur à la valeur théorique de  $F$  qui suit une loi de Fisher avec, comme degrés de liberté,  $(k - 1)$ , le nombre de séries moins un, et  $(N - k)$ , le nombre total de mesures moins le nombre de séries. On fixe alors une zone d'acceptation de l'hypothèse selon le niveau de signification voulu. En fixant par exemple le seuil à 5%, on a 5% des chances de se tromper en rejetant l'hypothèse d'égalité des moyennes.

Lorsque l'hypothèse d'égalité des moyennes est rejetée, on utilise le test de Scheffe pour comparer toutes les combinaisons linéaires possibles de moyennes de séries. On peut ainsi grouper ensemble les moyennes de groupes qui sont semblables, et distinguer celles qui sont différentes.

Les paramètres retenus pour l'étude de la variabilité spatiale sont les mêmes que ceux énumérés dans la section précédente (voir la section 3.1.1). Les périodes de temps couvertes pour cette analyse sont également les mêmes.

*Résultats*

Les résultats de l'analyse de variance appliquée aux séries de valeurs mesurées à chaque station apparaissent dans l'Annexe 5 (Tableaux A.5.13 et A.5.14). Le premier tableau groupe les résultats de l'analyse appliquée aux 19 stations du bassin de la rivière Yamaska tandis que le second présente ceux de l'analyse appliquée aux 17 stations du bassin de la rivière Saint-François. A partir de la valeur calculée de F et des degrés de liberté, on a calculé la probabilité de se tromper en rejetant l'hypothèse de l'égalité des moyennes. On voit que pour tous les paramètres considérés, on doit rejeter l'hypothèse de l'égalité des moyennes et dire qu'il existe des différences de comportement pour certaines stations à l'intérieur de chaque bassin. Le test de Scheffe, qui a été appliqué par la suite aux stations du bassin de la rivière Yamaska et à celles de la rivière Saint-François, donne les groupements possibles de stations qui ont des moyennes semblables (Tableaux 3.1.8 et 3.1.9).

Dans le bassin de la rivière Yamaska, on remarque que deux stations se retrouvent avec des concentrations moyennes significativement plus élevées en phosphore total, en phosphore hydrolysable, ainsi qu'en azote total, soit les stations 03031D (Saint-Alphonse, aval) et 03031R (Waterloo, aval). On constate aussi que ces deux stations sont celles où sont observées les concentrations les plus élevées en phosphore organique et azote ammoniacal, mais pour ces deux paramètres les différences de comportement sont moins significatives, particulièrement en ce qui concerne la station 03031R. Si on considère le phosphore total et le phosphore hydrolysable, la station 03031R se classe la première pour les concentrations maximums, mais en ce qui concerne le phosphore organique, l'azote organique, l'azote ammoniacal et l'azote total, c'est la station 03031D qui se retrouve avec les valeurs maximums. Aux stations 03031N (rivière Salvail) et 03031P (rivière Chibouet), on trouve des concentrations moyennes maximums en nitrate et en carbone organique. Les concentrations en nitrates observées à ces deux stations sont relativement élevées, car elles permettent d'obtenir deux groupements possibles de stations sur le bassin, tandis qu'avec les concentrations en carbone organique, un seul groupement est possible (voir le Tableau 3.1.8). Ces deux stations se classent parmi celles où on observe des concentrations moyennement élevées pour tous les autres paramètres, sauf pour le phosphore organique. Une autre station, 03031C, située

en aval de Granby, est caractérisée par des valeurs élevées en phosphore, en azote organique, en azote ammoniacal ainsi qu'en azote total. L'examen du Tableau 3.1.8 montre cependant que cette station, pour ces paramètres, peut se grouper aussi bien avec des stations de concentrations maximums, qu'avec les stations de concentrations plutôt faibles.

Si on considère les stations caractérisées par des valeurs minimums de concentrations, on retrouve les stations 03031E (Adamsville) et 03031J (Roxton Falls). La station d'Adamsville se classe la première pour tous les paramètres, exception faite du phosphore organique non filtré, tandis que la station de Roxton Falls se classe la seconde pour l'ensemble des paramètres sauf pour le carbone organique et le phosphore organique. Cependant, les concentrations moyennes de l'ensemble des paramètres mesurés à ces stations ne sont pas significativement différentes des concentrations moyennes obtenues aux autres stations (voir le Tableau 3.1.8), indiquant que ces deux stations ne se comportent pas de façon aussi singulière que les stations caractérisées par des valeurs maximums de concentration.

En considérant maintenant les stations du bassin de la rivière Saint-François, on observe d'abord que la station 03021N (rivière Saint-Germain) se distingue nettement des autres stations, et ceci pour l'ensemble des paramètres considérés (Tableau 3.1.9). En effet, pour tous les paramètres sauf le phosphore organique, le carbone organique et les nitrates, il est impossible de grouper cette station avec d'autres stations en appliquant le test de Scheffe. Cette station a des concentrations moyennes maximums pour presque tous les paramètres.

Il ne semble pas y avoir dans le bassin de la rivière Saint-François d'autres stations qui ont des comportements singuliers. Les stations 03021X (rivière Au Saumon) et 03021R (rivière Magog) sont caractérisées par des valeurs de concentration minimums, mais elles n'apparaissent cependant pas avoir de comportement singulier. On peut donc conclure que les eaux du bassin de la rivière Saint-François sont relativement homogènes du point de vue des substances nutritives. Comme explications possibles de cette absence apparente de singularités dans ce bassin il faut considérer l'utilisation plutôt faible de son territoire (MRN-INRS, 1976b), et la localisation des quelques villes importantes (Sherbrooke, Drummondville) vers l'aval du bassin où le débit de la rivière est suffisamment grand pour réduire leur impact. Soulignons aussi que

les concentrations observées pour plusieurs éléments nutritifs sont souvent inférieures aux limites de sensibilité des méthodes analytiques employées, et que la variabilité temporelle des divers paramètres est importante (voir les coefficients de variation présentés dans le Tableau 3.1.6); dans de telles circonstances, la possibilité de discriminer entre les différentes stations d'échantillonnage est considérablement réduite.

En conclusion, la méthode utilisée ici pour étudier les variations de concentration d'une station à une autre a permis de faire ressortir quelques stations ayant des comportements différents pour un ou pour plusieurs paramètres. Cette méthode n'a cependant pas été utilisée avec rigueur, à cause du non respect des hypothèses de normalité des populations statistiques et d'égalité des variances, comme démontré par les résultats de l'application du test de Bartlett sur l'homogénéité des variances. Une analyse plus poussée nécessiterait l'élimination de certaines stations et la transformation initiale des valeurs mesurées pour certains paramètres. Cependant, malgré le manque de rigueur dans l'utilisation de cette méthode, on obtient des résultats consistants pour les différents paramètres considérés; on peut ainsi accepter les conclusions générales de l'analyse sans se compromettre. Pour mieux différencier les stations, on devrait utiliser une analyse mathématique multivariée qui tiendrait compte de l'ensemble des paramètres en même temps (voir l'Annexe 6).

### 3.1.3 Variabilité temporelle des concentrations en substances nutritives

#### *Méthode d'étude*

La comparaison des stations d'échantillonnage a permis de mettre en évidence des différences de comportement entre les stations (voir la section 3.1.2). Afin de comprendre le comportement des substances nutritives, il est également nécessaire d'étudier la variabilité temporelle des concentrations de ces éléments. L'échantillonnage mensuel des 36 stations réparties sur les deux bassins s'étendait sur une période de 4 semaines. Les conditions météorologiques et hydrologiques, ainsi que les activités se déroulant sur les deux bassins, auraient donc pu modifier le milieu durant la période d'échantillonnage. Un problème se pose alors: comment étudier la variabilité temporelle de l'ensemble des paramètres mesurés au cours de cette étude à autant de stations

et à des temps différents? Ne connaissant pas les facteurs qui font varier journallement les concentrations, il serait illusoire de les estimer par interpolation entre les dates d'échantillonnage. Puisque la fréquence d'échantillonnage ne permet pas de connaître la variation journalière des paramètres d'intérêt, il a été décidé de grouper les données pour tenter de mettre en évidence la variation saisonnière des concentrations sur chaque bassin. On a choisi de grouper les données par périodes de trois mois et d'en faire la moyenne. Ces périodes trimestrielles, qui correspondaient sensiblement aux saisons, incluaient les mois suivants:

<u>période</u>	<u>mois</u>
1	déc. 73, jan. 74, fév. 74
2	mars 74, avril 74, mai 74
3	juin 74, juil. 74, août 74
4	sept. 74, oct. 74, nov. 74
5	déc. 75, janv. 75, fév. 75
6	mars 75, avril 75, mai 75
7	juin 75, juil. 75

Les paramètres retenus pour cette étude étaient les mêmes que ceux utilisés dans la section précédente. Leur choix a été dicté, comme auparavant, par le souci d'utiliser le maximum de données possibles tout en évitant la duplication de l'information.

Les moyennes périodiques obtenues à chaque station furent groupées par bassin, afin d'obtenir des séries de valeurs (chaque série représentant une période), à partir desquelles on pouvait utiliser des méthodes statistiques permettant d'étudier la signification des variations saisonnières. On a donc utilisé de nouveau l'analyse de variance à un critère, et le test de Scheffe au niveau de signification de 5%, pour faire une comparaison multiple des moyennes saisonnières pour chaque bassin. On sait que l'analyse de variance nécessite une certaine homogénéité des données. Afin de satisfaire en partie à cette exigence, on a éliminé de l'analyse trois stations pour le bassin de la rivière Yamaska (03031D, 03031E et 03031R) et une station pour le bassin de la rivière Saint-François (03021N), lesquelles stations se retrouvaient avec des concentrations moyennes pour plusieurs paramètres qui étaient significativement

plus élevées que celles observées aux autres stations (voir la section 3.1.2).

Les concentrations moyennes périodiques pour le bassin de la rivière Yamaska et pour celui de la rivière Saint-François sont portées en graphiques sur les Figures 3.1.1 et 3.1.2. Comme le montrent les Tableaux A.5.15 et A.5.16 dans l'Annexe 5, les variations que l'on observe sur ces graphiques sont presque toutes significatives (niveau de confiance > 95%), exception faite du phosphore hydrolysable non filtré dans le bassin de la rivière Saint-François. Les résultats du test de comparaison multiple (Scheffe), présentés dans les Tableaux 3.1.10 et 3.1.11, permettent d'identifier les périodes qui sont semblables ou différentes.

#### *Variation saisonnière des formes d'azote*

Pour le bassin de la rivière Yamaska, on observe une variation saisonnière très marquée pour l'azote ammoniacal, l'azote nitrique et, conséquemment, pour l'azote inorganique et l'azote total; les concentrations minimums sont observées pendant les mois d'été et d'automne, tandis que les valeurs maximums se manifestent surtout en hiver. Un tel cycle s'expliquerait par l'assimilation biologique de l'azote inorganique et par sa transformation subséquente en formes organiques. Qu'il s'agisse de la végétation aquatique dans le cours d'eau lui-même ou des plantes terrestres, cette assimilation suivrait un cycle annuel contrôlé en grande partie par la fluctuation saisonnière de la température ambiante; la vitesse d'assimilation atteindrait un maximum pendant les mois d'été. L'observation de concentrations maximums en azote organique durant cette même période appuie cette hypothèse. Signalons que ce même genre de comportement a été observé pour d'autres rivières (ex.: Hubbard Brook: Johnson *et al.*, 1969; rivière Bulstrode: MRN-INRS, 1976c).

La variation saisonnière des formes d'azote dans les eaux du bassin de la rivière Saint-François ressemble à celle observée pour la rivière Yamaska. Seul l'azote ammoniacal se comporte de manière différente; en effet, aucune variation cyclique n'apparaît pour ce paramètre dans les eaux de la rivière Saint-François, probablement à cause de l'imprécision qui résulte du fait que les concentrations se situent souvent près de la limite de détection (0.07 mg N-NH<sub>4</sub>/litre).

### *Variation saisonnière des formes de phosphore*

Si on considère les stations du bassin de la rivière Yamaska, on voit que la période comprenant les mois de juin et juillet 1975 (période 7) a les valeurs les plus élevées pour les formes de phosphore avant et après filtration. On n'observe pas cet effet avec les stations du bassin de la rivière Saint-François. Les valeurs élevées de cette période pour le bassin de la rivière Yamaska résultent surtout des valeurs élevées du mois de juillet 1975, un mois d'étiage prononcé. Pour le bassin de la rivière Saint-François, les données du mois de juillet 1975 n'étaient pas disponibles pour l'étude statistique, de telle sorte qu'on a dû utiliser pour ce bassin la seule valeur du mois de juin 1975 comme représentative d'une période de trois mois.

Si on exclut la période 7 et qu'on considère les variations des formes de phosphore pour les deux bassins, on se rend compte qu'il existe peu de différence de comportement d'un bassin à un autre, car les différences entre les périodes sont assez faibles. Dans le bassin de la rivière Saint-François on remarque une valeur maximum de phosphore organique pour la période comprenant les mois de septembre, d'octobre et de novembre 1974, tandis que dans le bassin de la rivière Yamaska, les valeurs élevées de phosphore organique apparaissent surtout au printemps et en été. Compte tenu du décalage de 2 semaines entre l'échantillonnage des deux bassins, il est possible qu'on obtienne entre les deux bassins des différences de comportement difficilement explicables. Il faut aussi tenir compte du fait que les concentrations de phosphore dans les eaux de la rivière Saint-François se situent près de la limite de détection, et que l'imprécision qui en résulte peut influencer indûment les variations rencontrées. La variation de phosphore organique non filtré observée dans le bassin de la rivière Yamaska semble plus réelle: comme pour l'azote organique filtré, elle est caractérisée par des valeurs plus élevées en période estivale qu'en période hivernale, ce qui suggère une origine biologique pour cette forme de phosphore.

### *Variation saisonnière du carbone organique*

Les variations saisonnières en carbone organique ne sont pas aussi évidentes que celles observées pour l'azote. Malgré le fait qu'on ne dispose pas de données pour la période estivale 1974, on remarque pour les deux bassins

une tendance vers des valeurs élevées en été et des valeurs faibles en hiver.

*Commentaire sur le regroupement des mois*

La méthode utilisée pour étudier la variation temporelle de l'ensemble des stations a permis de bien faire ressortir la signification statistique des variations saisonnières. Un regroupement différent des mois à l'intérieur des périodes aurait pu modifier un peu l'allure des courbes obtenues ainsi que l'ordre et l'importance des périodes de temps. On a donc repris l'analyse de variance, en décalant les périodes d'un mois, afin de tenter de faire ressortir des variations qui auraient pu être masquées. Les résultats de cette analyse n'apparaissent pas ici, car on n'a pas observé de changements de comportement importants. Par exemple, en regroupant dans les périodes 2 et 6 les mois de février, de mars et d'avril (au lieu de mars, avril et mai), on a observé que les valeurs d'azote ammoniacal, d'azote inorganique et d'azote total sont plus élevées pour cette période que pour la période subséquente, alors qu'auparavant on avait obtenu un ordre différent (voir les Tableaux 3.1.10 et 3.1.11). En général, le fait de regrouper différemment les mois causait surtout un décalage dans les variations, mais ne faisait pas ressortir d'autres tendances importantes.

### 3.1.4 Comparaison des concentrations en substances nutritives avec des critères de qualité

*Problématique*

Une façon courante d'examiner les données de qualité de l'eau consiste à comparer les concentrations observées à des normes ou à des critères de qualité<sup>1</sup> (MRN-INRS, 1974a). L'examen des divers critères de qualité exigés par les utilisateurs de la ressource eau (ex.: les consommations domestique, industrielle et agricole, la récréation, la navigation, la production hydroélectrique) montre que les substances nutritives (celles renfermant C, N ou P) ne sont que

<sup>1</sup> Critère de qualité: renseignement scientifique à partir duquel on peut juger de la valeur d'une eau pour différents usages. Il permet souvent d'établir, pour différentes substances, un seuil ou une concentration limite au delà de laquelle l'eau est inacceptable pour l'usage voulu.

Standard de qualité, ou norme: règlement promulgué par une autorité (gouvernementale) pour le contrôle de la pollution du milieu.

rarement citées explicitement. D'ailleurs, lorsqu'elles le sont, les concentrations limites citées pour ces utilisations de l'eau sont généralement très élevées. A titre d'exemple, mentionnons les teneurs de 10 mg N-NO<sub>3</sub>/litre, de 0.5 mg N-NH<sub>4</sub>/litre et de 0.2 mg PO<sub>4</sub>/litre qui figurent dans les normes pour l'eau potable (MRN-INRS, 1974a).

Lorsque l'on s'intéresse au maintien d'une vie aquatique saine et équilibrée, en vue par exemple de l'utilisation de la ressource pour des fins récréatives, les critères de qualité relatifs aux substances nutritives deviennent cependant beaucoup plus exigeants. Ces critères ont généralement été établis dans le but d'éviter l'eutrophisation du milieu et la prolifération exagérée de populations d'algues, lesquelles nuisent évidemment aux autres utilisations du milieu. Plusieurs chercheurs ont suggéré des concentrations limites d'azote et de phosphore qui peuvent être tolérées dans les eaux naturelles sans occasionner le développement massif de populations d'algues. Comme l'indique le Tableau 3.1.12, deux types de critères existent: d'une part, des concentrations limites au delà desquelles il y a danger de surproduction d'algues et, d'autre part, des concentrations limites au delà desquelles la production primaire (du périphyton) n'augmente plus.

Un des premiers développements de critères du premier type fut suggéré par Sawyer (1947) lors d'une étude d'une série de 17 lacs dans l'état de Wisconsin. Il a démontré que l'incidence de fleurs d'eau dans ces lacs durant l'été dépendait des concentrations vernales en phosphore inorganique et en azote inorganique. Les concentrations limites qui ont découlé de cette étude (0.3 mg N-inorg/litre; 0.01 mg P-inorg/litre) se sont avérées applicables à plusieurs autres lacs, et leur usage s'est perpétué dans la littérature limnologique.

Par contre, l'application de critères de ce type aux eaux courantes s'avère beaucoup plus hasardeuse. D'abord on ne peut plus se limiter aux concentrations vernales; il faut plutôt tenir compte de la concentration "moyenne" dans le temps des éléments en question. Pour les algues attachées (le périphyton ou les microphytes benthiques), qui connaissent un milieu changeant, on peut considérer la moyenne arithmétique des concentrations, obtenue à partir de n prélèvements réalisés à des intervalles de temps égaux (Montgomery et Hart, 1974). Pour les algues qui se développent dans un lac ou dans un réservoir alimenté par la rivière étudiée, il faut plutôt considérer la moyenne pondérée des

concentrations dans le cours d'eau, laquelle est obtenue en tenant compte à la fois des concentrations mesurées et des débits relevés lors des prélèvements. Cette approche donne un estimé de la concentration moyenne dans le plan d'eau situé en aval, là où se développeront davantage les algues. Outre ces considérations, il faut aussi tenir compte des différences intrinsèques entre les milieux lotiques (eaux courantes) et lénétiques (eaux stagnantes). Les facteurs influant sur la productivité primaire sont évidemment les mêmes dans les deux milieux, mais l'importance relative de ceux-ci peut être très différente. Par exemple, les facteurs *physiques* (ex.: pénétration de lumière, turbulence, vitesse de courant, substratum disponible) contrôlent souvent la productivité primaire dans un cours d'eau; dans un milieu lacustre, par contre, les facteurs *chimiques* deviennent souvent prépondérants. Les concentrations limites établies pour le milieu lacustre (ex.: Tableau 3.1.12A) ne peuvent donc s'appliquer directement aux eaux courantes, sauf si on prend comme objectif la protection des milieux lénétiques qui se trouvent en aval (ex.: lac, réservoir, estuaire). Si on vise plutôt le cours d'eau lui-même, il faut développer de nouveaux critères spécifiquement pour ce milieu.

Mackenthun (1968) fut un des premiers chercheurs à fixer des critères de qualité pour les eaux courantes; il a suggéré des concentrations en phosphore total de 0.05 ou de 0.1 mg P/litre, selon qu'il s'agit d'un cours d'eau interrompu ou non par des lacs ou réservoirs. A première vue, ces concentrations paraissent beaucoup plus élevées que celles préconisées pour les eaux lénétiques (0.01 mg P-inorg/litre). Il faut cependant noter que les concentrations limites de Mackenthun sont basées sur les concentrations en phosphore *total* (inorganique + organique; soluble + particulaire), alors que celles de Sawyer (1947) et de Sylvester (1961) correspondent à des concentrations de phosphore *soluble*.

En s'inspirant de données disponibles sur des cours d'eau français, Nisbet et Verneaux (1970) ont publié des critères de qualité pour les eaux courantes (voir le Tableau 3.1.12). Sans déprécier ce travail, il faut néanmoins mentionner que leur classification (c'est-à-dire la subdivision de la plage de variation pour chaque paramètre, pour donner de 3 à 6 "classes") semble avoir été faite de façon plutôt intuitive ou arbitraire. De plus, dans leur schéma de classification on retrouve à la fois des critères relatifs à la productivité du cours d'eau et des critères indicatifs d'une pollution grossière.

Pour éviter toute ambiguïté, il importe de bien distinguer ces deux concepts: dans des conditions physiques optimales la productivité d'un cours d'eau répond aux ajouts de substances nutritives jusqu'à une certaine concentration limite (phénomène de saturation); les concentrations plus élevées n'auront pas d'effet sur la productivité primaire, *mais* elles peuvent néanmoins servir d'indication d'une pollution grossière. Selon notre estimation l'applicabilité du schéma de Nisbet et Verneaux aux eaux du Québec reste à démontrer.

Une autre approche fut développée indépendamment par Wuhrmann et Eichenburger (1975) et par Wong et Clark (1976). Plutôt que de définir des concentrations limites au delà desquelles il y a danger d'une surproduction d'algues, ces chercheurs ont établi des concentrations *maximums* au delà desquelles la production primaire (du périphyton) n'augmentait plus (voir le Tableau 3.1.12B). A des concentrations supérieures, un autre facteur (vraisemblablement physique) devient le facteur limitant la production primaire. Il est à noter que la concentration en P-soluble à laquelle arrive Wuhrmann et Eichenburger (0.008 mg P/litre) est semblable à celle citée pour les eaux lacustres (0.010 mg P/litre); la limite suggérée par Wong et Clark (1976) est de 0.060 mg P/litre, mais elle comprend les formes soluble et particulaire du phosphore.

A la lumière des résultats discutés plus haut, des critères de qualité s'appliquant aux substances nutritives ont été choisis pour les fins de cette étude. Deux concentrations limites ont été fixées pour l'azote inorganique soluble (0.10 et 0.30 mg N/litre) et pour le phosphore inorganique soluble (0.009 et 0.027 mg P/litre); dans chaque cas la valeur inférieure correspond à une concentration "acceptable", alors que la valeur supérieure représente plutôt un seuil critique au delà duquel on peut s'attendre à une surabondance de végétation aquatique si les conditions physiques sont propices. Signalons que ces deux limites se rapprochent de celles suggérées pour les eaux lénétiques (*cf.* Tableau 3.1.12A); selon notre opinion, *l'introduction de critères de qualité moins exigeants pour les eaux courantes ne peut que difficilement se justifier.* Compte tenu du rôle souvent prédominant que jouent les facteurs physiques dans le contrôle de la production primaire dans les eaux courantes (y compris les rivières Yamaska et Saint-François; voir la section 3.3), le développement de critères de qualité spéciaux pour ces milieux, exprimés en termes de concentrations de substances nutritives (c'est-à-

dire des facteurs chimiques), n'a pas beaucoup de signification. Il faut transposer le problème vers l'aval jusqu'à la prochaine zone de stagnation (lac, réservoir, estuaire), là où les critères de concentration s'appliqueront de nouveau, tout en tenant compte de la qualité de l'eau des tributaires qui confluent en amont de cette zone.

Outre les concentrations limites pour l'azote inorganique et pour le phosphore inorganique, qui furent établies en fonction du danger d'eutrophisation, nous avons également retenu une concentration limite de 0.10 mg N-NH<sub>4</sub>/litre comme seuil indicatif de la pollution grossière du milieu par les rejets humains et animaux (Nisbet et Verneaux, 1970).

### *Résultats*

En considérant d'abord la rivière Yamaska et ses tributaires (Tableau 3.1.13), on note que les teneurs en azote et en phosphore dépassent fréquemment les concentrations limites choisies; seule la station d'Adamsville (03031E) constitue une exception à cette règle. Aux 18 autres stations, la limite inférieure pour le phosphore inorganique (0.009 mg P/litre) est dépassée pour 87-100% des échantillons, selon la station considérée; celle pour l'azote inorganique (0.10 mg N/litre) l'est pour 82-100% des échantillons. Quant aux limites supérieures, elles sont également excédées pour la plupart des échantillons: la fréquence de dépassement varie selon les stations, de 56 à 100% pour le phosphore inorganique et de 42 à 100% pour l'azote inorganique. A certaines stations, notamment celles de Waterloo (03031R) et de Saint-Alphonse (03031D), ces limites supérieures sont même toujours dépassées. En faisant abstraction de la station d'Adamsville (03031E), qui pourrait constituer une station témoin pour le bassin de la rivière Yamaska, le niveau d'enrichissement en substances nutritives des eaux du bassin est, sans aucun doute, excessif! Il y a peu de chances qu'un facteur chimique (N ou P) vienne limiter la production primaire dans les cours d'eau de ce bassin.

Quant à la rivière Saint-François, elle se distingue nettement de la Yamaska. L'examen du Tableau 3.1.14 montre que les concentrations limites pour l'azote et pour le phosphore y sont dépassées beaucoup moins fréquemment, exception faite de la station 03021N située sur la rivière Saint-Germain en

aval de la ville de Drummondville. Les différences entre les deux bassins versants sont davantage évidentes pour le phosphore inorganique; la limite supérieure (0.027 mg P/litre) n'est presque jamais dépassée dans le bassin de la rivière Saint-François, alors qu'elle l'est fréquemment aux stations situées dans le bassin de la rivière Yamaska. Pour les eaux de la rivière Saint-François la comparaison du niveau d'enrichissement en azote avec le degré d'enrichissement en phosphore suggère que le phosphore est le facteur chimique le plus susceptible de limiter la production primaire *in vitro*, sinon *in situ* (cf. la section 3.2).

Le Tableau 3.1.15 présente les résultats obtenus en confrontant les concentrations en azote ammoniacal observées avec le seuil de 0.1 mg N-NH<sub>4</sub>/litre choisi comme indication d'une pollution grossière par les rejets humains ou animaux. Encore une fois les deux bassins versants se distinguent nettement l'un de l'autre; l'utilisation intensive du territoire dans le bassin de la Yamaska est reflétée par une fréquence de dépassement élevée. Comme ce fut le cas pour les critères de qualité relatifs à l'eutrophisation, seulement une station dans le bassin de la Saint-François (03021N; rivière Saint-Germain) ressemble à celles dans le bassin de la rivière Yamaska. Parmi les stations situées dans ce dernier bassin, celles qui présentent les fréquences de dépassement les plus élevées se trouvent soit en aval de villes importantes (03031R, en aval de la ville de Waterloo; 03030D, en aval de la ville de Saint-Hyacinthe), soit à l'exutoire de sous-bassins à vocation agricole où la densité d'élevage d'animaux est élevée (03031P, rivière Chibouet).

### 3.1.5 Spéciation des substances nutritives

Les substances nutritives peuvent exister sous diverses formes dans les eaux naturelles (ex.: soluble, particulaire; organique vivante, organique morte, inorganique; oxydée, réduite). La distribution d'un élément nutritif parmi ces différentes formes, c'est-à-dire la *spéciation* de l'élément considéré, peut renseigner sur la qualité d'un cours d'eau; de même, les changements de spéciation dans l'espace, ou encore dans le temps, nous informent sur les transformations subies par la substance étudiée.

*Spéciation physique - comparaison d'échantillons filtrés et non filtrés*

A la suite de deux années d'échantillonnage, pendant lesquelles on effectuait des analyses physico-chimiques à la fois sur une fraction naturelle et sur une fraction filtrée des échantillons, il importe de vérifier si les concentrations en éléments nutritifs dans les échantillons naturels sont vraiment supérieures à celles dans les échantillons filtrés. S'il existe des différences significatives entre ces deux types de mesure, on pourra ensuite se demander comment ces différences nous renseignent sur la spéciation des différentes substances dans les eaux des rivières Yamaska et Saint-François.

L'approche statistique employée pour comparer les échantillons naturels aux échantillons filtrés est le test des observations paires, un test connexe au test de Student employé pour comparer l'égalité de moyennes. Dans ce test on considère uniquement la différence entre la mesure effectuée sur un échantillon naturel et celle effectuée sur l'échantillon filtré correspondant. Soit:

$$D_i = X_{1i} - X_{2i}$$

où:  $X_{1i}$  = la mesure obtenue sur un échantillon naturel;  
 $X_{2i}$  = la mesure sur l'échantillon filtré correspondant.

On obtient alors n valeurs de D qui constituent l'échantillon de la population à considérer. On peut alors tester si la moyenne de l'échantillon,  $\bar{D}$ , est significativement différente de la moyenne théorique de la population,  $\mu$ . En effet, si on pose comme hypothèse de départ ( $H_0$ ) qu'il n'existe pas d'effet provenant de la filtration ( $\mu = 0$ ), on peut alors calculer une valeur de t:

$$t = \frac{\bar{D} - \mu}{s / \sqrt{n}}$$

où s est l'écart type des n différences obtenues en comparant les échantillons naturels aux échantillons filtrés. Puisque t suit une loi de Student à (n-1) degrés de liberté, on peut fixer, suivant différents niveaux de confiance, un

intervalle de valeurs de  $t$  correspondant au domaine d'acceptation de l'hypothèse de départ. Si on pose comme hypothèse alternative ( $H_1$ ) qu'il existe un effet positif provenant de la filtration ( $\mu > 0$ ) et qu'on obtient une valeur de  $t$  correspondant à une probabilité inférieure à 0.05, on a alors moins de 5 chances sur 100 de se tromper en rejetant l'hypothèse de départ ( $H_0$ ) alors qu'elle est vraie. Si on obtient une valeur négative pour  $t$ , on peut reformuler l'hypothèse alternative ( $H_1$ ) et tester ainsi si la filtration cause une augmentation de concentration dans les échantillons filtrés ( $\mu < 0$ ).

Ce test statistique exige que la moyenne des différences obtenues,  $\bar{D}$ , suive une loi normale. Cette exigence est remplie si la population des différences obtenues suit une loi normale, ou si le nombre d'observations pairées est suffisamment grand ( $> 30$ ). Notons que ce test est plus puissant que celui effectué sur des observations non pairées et qu'il ne nécessite pas l'égalité des variances des deux populations.

On disposait d'environ 600 mesures effectuées pendant la période s'étendant de novembre 1973 à juillet 1975 sur des échantillons provenant des 36 stations d'échantillonnage situées sur les bassins des rivières Yamaska et Saint-François. Le test statistique a été appliqué d'abord sur l'ensemble des stations pour chacun des mois de la période considérée. Les différences moyennes obtenues pour les substances nutritives apparaissent dans le Tableau 3.1.16; les différences qui sont statistiquement plus petites ou plus grandes que zéro y sont indiquées.

Si on compare globalement tous les échantillons pour la période de novembre 1973 à juillet 1975 (Tableau 3.1.16, dernière ligne), on obtient une valeur *négative* significative pour l'azote organique (-5.3%), des valeurs *positives* significatives pour l'azote ammoniacal (8.3%) et pour le phosphore sous toutes les formes (de 12.5 à 28.1%) et des valeurs non significativement différentes de zéro pour l'azote total, l'azote Kjeldahl, les nitrates et le carbone organique. En considérant par mois les résultats présentés dans ce tableau, on note régulièrement des valeurs *positives* significatives pour le phosphore total, le phosphore hydrolysable, les orthophosphates, l'azote ammoniacal, l'azote Kjeldahl et l'azote total. Pour l'azote organique, les nitra-

tes, le phosphore organique et le carbone organique, on obtient des valeurs positives et négatives significatives, ainsi que beaucoup de valeurs qui ne sont pas significativement différentes de zéro. On observe des valeurs *négatives* significatives pour l'azote organique pour les mois de mars 1974 à juillet 1974 (de -36% à -65%), pour les nitrates au cours des mois de décembre 1973 (-60%), d'avril 1974 (-12%), de juillet 1974 (-5%) et de décembre 1974 (-1%), et pour l'azote ammoniacal en février 1974 (-5%). On observe aussi des valeurs négatives significatives pour le phosphore total en décembre 1973 (-152%), pour le phosphore organique en mars 1974 (-37%) et en février 1975 (-45%) et pour le carbone organique en septembre 1974 (-13%). *Ces valeurs négatives doivent résulter d'une contamination provenant des filtres utilisés, ou d'erreurs résultant de difficultés analytiques, puisqu'il est évidemment impossible d'avoir une fraction soluble plus grande que le total.*<sup>1</sup> A cause de ces problèmes, qui se manifestent surtout pour les formes de l'azote, on ne peut tirer de conclusions sur l'effet de la filtration sur les formes de cet élément si on n'exclut pas du test les mesures provenant des échantillons obtenus avant août 1974.

Par la suite, les données disponibles ont été groupées par bassin et on a distingué les mesures faites sur les échantillons prélevés de novembre 1973 à juillet 1974 de celles réalisées d'août 1974 à juillet 1975 (Tableau 3.1.17). L'examen de ce tableau fait ressortir sur quels échantillons on a obtenu des différences négatives significatives pour l'azote. Pour la période précédant août 1974, ce sont les échantillons provenant du bassin de la rivière Saint-François qui ont, après filtration, des concentrations significativement plus élevées en nitrates (-8%) et en azote organique (-32%). Pour la période postérieure à juillet 1974 on n'observe plus cet effet pour les formes d'azote: les échantillons naturels ont maintenant des concentrations plus élevées que les échantillons filtrés en azote ammoniacal (rivière Yamaska, 8%; rivière Saint-François, 11%) ainsi qu'en azote organique (rivière Saint-François seulement, 2.9%), et des concentrations semblables en nitrates.

<sup>1</sup> A cause des problèmes analytiques rencontrés, le laboratoire du Service de la Qualité des Eaux du Ministère des Richesses naturelles a cessé d'utiliser les membranes Millipore en avril 1974 pour adopter les membranes Gelman.

Si on considère le carbone organique et les formes de phosphore, on voit que ces paramètres se comportent de la même façon pour les échantillons provenant de l'un ou l'autre bassin, peu importe la période considérée. On voit aussi la puissance du test dans le cas du phosphore organique. Plus le nombre d'échantillons considérés augmente, plus une petite différence dans la moyenne devient significative, de telle sorte que si on considère tous les échantillons (541 valeurs) la petite différence obtenue (0.003 mg P/l) devient hautement significative statistiquement.

On peut maintenant se demander si les différences de concentration obtenues nous apportent des renseignements sur la spéciation physique des substances nutritives. Selon les formes chimiques considérées, la fraction soluble devrait fluctuer d'une station à une autre en fonction de la nature, de l'importance et de la proximité des différents apports que reçoit la rivière. Les transformations physiques, chimiques et biologiques que subissent ces apports dans le cours d'eau, ainsi que les conditions hydrologiques qui prévalent, devraient influencer sur le rapport {soluble/particulaire}.

A cause des différences plutôt faibles obtenues en comparant les échantillons naturels et les échantillons filtrés (voir ci-haut), et de la grande variabilité de ces différences (coefficient de variation,  $\{s/\bar{D}\} > 1$  pour tous les paramètres considérés), on a dû grouper les résultats afin d'avoir un échantillon statistique valable. Le rapport des concentrations moyennes après et avant filtration  $\{F/NF\}$  est calculé pour les échantillons de chaque bassin (voir le Tableau 3.1.18); pour les fins de ce calcul, on utilise les données d'août 1974 à juillet 1975 pour les formes d'azote, et de janvier 1974 à juillet 1975 pour le carbone organique ainsi que pour les formes de phosphore. Pour les deux bassins on obtient des valeurs semblables pour l'azote total et l'azote Kjeldahl (de 0.96 à 0.98), de même que pour l'azote ammoniacal (de 0.89 à 0.92). Par contre, pour le phosphore on obtient des rapports  $\{F/NF\}$  beaucoup plus élevés pour le bassin de la rivière Yamaska que pour celui de la rivière Saint-François. Pour le phosphore total, le phosphore hydrolysable et les orthophosphates, les rapports se situent autour de 0.80 pour le bassin de la rivière Yamaska et 0.50 pour le bassin de la rivière Saint-François. Sauf pour le phosphore organique dans le bassin de la rivière Saint-François, les

rapports pour les trois formes organiques des substances nutritives (C-organique, N-organique, P-organique) se rapprochent de l'unité.

Afin de vérifier si les différences observées entre les deux bassins versants sont significatives, particulièrement en ce qui concerne la distribution des différentes formes de phosphore, on a comparé les moyennes à l'aide du test de Student. Les résultats de cette comparaison, présentés dans l'Annexe 5 (Tableau A.5.17), confirment que le phosphore se comporte de manière différente dans les deux bassins: la fraction soluble est significativement plus élevée dans les eaux du bassin de la rivière Yamaska. Signalons que les concentrations moyennes des différentes formes du phosphore sont aussi plus élevées dans ces eaux (de 2.5 à 8 fois plus grandes: voir le Tableau 3.1.18). A première vue il semblerait que, dans un cours d'eau comme la rivière Yamaska qui reçoit d'importants apports non géologiques en phosphore (ex.: rejet d'eaux résiduelles domestiques), seulement une partie du phosphore additionnel soit transformée en phosphore particulaire (ex.: par adsorption sur les sédiments en suspension ou par assimilation biologique de la part du plancton); le restant demeurerait soluble et donc facilement disponible pour le biota. Cependant, la comparaison des deux bassins versants est compromise par le fait que le phosphore est souvent indécélable dans les échantillons filtrés provenant de la rivière Saint-François. En effet, puisque chaque observation d'une valeur inférieure à la limite de détection est nécessairement considérée comme voulant dire une concentration de 0, la concentration moyenne pour les échantillons filtrés prélevés dans le bassin de la rivière Saint-François est sous-estimée; cet artefact pourrait expliquer, au moins en partie, les différences observées entre les deux bassins.

On peut tenter maintenant de comparer par station la fraction soluble ou particulaire des paramètres qui présentent des différences de comportement par bassin. Les Tableaux 3.1.19 et 3.1.20 donnent la fraction soluble moyenne pour le phosphore total, le phosphore organique, les orthophosphates et le phosphore hydrolysable pour chacune des stations. L'examen de ces tableaux démontre qu'on ne peut tirer de conclusions pour le phosphore organique, spécialement pour les stations du bassin de la rivière Yamaska, à cause des valeurs souvent plus grandes que l'unité. Les rapports obtenus pour les autres formes de phosphore ont moins de variation pour les stations du bassin de la

rivière Yamaska que pour celles du bassin de la rivière Saint-François, suggérant que ces rapports deviennent moins fiables lorsque les concentrations se situent près de la limite de détection (voir ci-haut).

Afin de vérifier si la fraction soluble de phosphore total et de phosphore hydrolysable calculée pour une station donnée était significativement différente de celle obtenue aux autres stations, on a utilisé la méthode d'analyse de variance à un critère. Pour chaque station et pour chaque paramètre, la différence de concentration entre les échantillons naturels et les échantillons filtrés a été divisée par la concentration moyenne pour l'échantillon naturel, c'est-à-dire  $\{ (X_1 - X_2) / \bar{X}_1 \}$ . On a ainsi procédé à une comparaison multiple des fractions particulières moyennes de phosphore total et de phosphore hydrolysable. Le test de Scheffe, appliqué à un niveau de signification de 0.05 aux stations de la rivière Yamaska, n'a pas fait ressortir des différences significatives entre les stations pour ces deux formes de phosphore, sauf pour le phosphore hydrolysable à la station 03031E (Adamsville). A cette station, la fraction particulière moyenne de phosphore hydrolysable (0.70) est significativement différente des fractions particulières moyennes des stations 03031C (Granby, aval: 0.14) et 03031R (Waterloo, aval: 0.12). Pour les stations de la rivière Saint-François, le test de Scheffe n'a pas démontré de différences significatives entre les stations, même si les fractions particulières moyennes pour chacune des stations avaient beaucoup de variation entre elles.

A partir de ces résultats, on ne devrait cependant pas conclure qu'entre les stations il n'existe pas de différences de comportement pour les formes solubles et particulières de phosphore. En effet, il s'agit plutôt du fait que la variabilité à chaque station est trop grande et le nombre d'observations trop faible pour faire ressortir des différences significatives.

En conclusion, plusieurs facteurs contribuent à compliquer la simple comparaison d'échantillons naturels et filtrés:

- les difficultés analytiques rencontrées pour arriver à un dosage total des différents éléments dans les échantillons naturels (ex.: digestion incomplète; sédiments en suspension prélevés sélectivement par l'é-

chantillonneur de l'Autoanalyseur Technicon);

- . Les dangers de contamination résultant de la filtration;
- . Les limitations inhérentes aux méthodes analytiques employées (ex.: précision, justesse, limite de sensibilité);
- . Les faibles différences généralement obtenues en comparant les échantillons naturels avec les échantillons filtrés correspondants, et la variabilité plutôt grande de cette différence.

A la lumière de ces constatations, *une telle approche ne peut plus être recommandée pour évaluer la distribution des substances nutritives entre les formes solubles et les formes particulières* (Voir la section 4.1).

*Spéciation chimique - distribution de l'azote et du phosphore parmi différentes formes chimiques*

Les méthodes décrites précédemment dans la section 3.1.3 peuvent servir à suivre l'évolution saisonnière de la spéciation chimique de l'azote et du phosphore. Dans la partie présente, on s'attachera donc à étudier l'évolution des rapports suivants<sup>1</sup>:

- .  $\{N-NH_4/N\text{-inorganique}\}_F$ , mesure du degré d'oxydation de l'azote minéral;
- .  $\{N\text{-organique}/N\text{-total}\}_F$ , mesure inverse du degré de minéralisation de l'azote et indice de la disponibilité de l'azote pour les organismes autotrophes;
- .  $\{P\text{-organique}/P\text{-total}\}_F$  et  $N_F$ , mesure inverse du degré de minéralisation du phosphore et indice de la disponibilité du phosphore pour les organismes autotrophes.

Les données provenant des échantillons non filtrés (NF) n'ont pas été utilisées pour étudier les formes d'azote à cause du peu de différence obser-

<sup>1</sup> A noter: F = échantillon filtré; NF = échantillon non filtré.

vée entre les échantillons filtrés et les échantillons naturels (voir la section précédente). Les moyennes des rapports obtenus à chaque période de temps ont constitué les séries de valeurs nécessaires à l'application de la méthode d'analyse de variance. Les périodes de temps étaient les mêmes que décrites dans la section 3.1.3; elles correspondent sensiblement aux saisons. La méthode d'analyse de variance permettait donc de comparer pour chacun des bassins la variation saisonnière de la spéciation chimique de l'azote et du phosphore.

L'examen des résultats de cette analyse (voir Annexe 5, Tableaux A.5.18 et A.5.19) montre qu'il existe des différences significatives entre les périodes de temps pour chacun des rapports considérés. Le Tableau 3.1.21 présente les groupements possibles de périodes de temps semblables, selon le test de Scheffe au niveau de signification de 5%. Afin de mieux visualiser l'évolution temporelle des divers rapports, on les a portés en graphiques sur la Figure 3.1.3.

Le rapport de l'azote ammoniacal sur l'azote inorganique total ( $N-NH_4 + N-NO_2 + N-NO_3$ ) diminue durant la période estivale pour les eaux du bassin de la rivière Yamaska. En effet, le degré d'oxydation de l'azote minéral, qui est de l'ordre de 50% en hiver, augmente graduellement et atteint en été une valeur moyenne supérieure à 70%. Cette tendance pourrait s'expliquer par une nitrification plus rapide en été (Curtis *et al.*, 1975), ou encore par une assimilation préférentielle de l'azote ammoniacal par le biota. Dans les eaux du bassin de la rivière Saint-François, le pourcentage d'azote ammoniacal est beaucoup plus faible (5-15%) et il ne montre pas de variation saisonnière cyclique. Si on se réfère aux Figures 3.1.1 et 3.1.2, on constate une évolution saisonnière différente pour l'azote ammoniacal entre les deux bassins. Dans les eaux du bassin de la rivière Saint-François les teneurs en azote ammoniacal se rapprochent de la limite de détection, ce qui a pour effet de masquer à la fois l'évolution saisonnière de ce paramètre et celle du rapport  $\{N-NH_4/N\text{-inorganique}\}$ .

Le rapport de l'azote organique sur l'azote total ( $N\text{-organique} + N\text{-inorganique}$ ) est faible en hiver, mais augmente au printemps pour atteindre un maximum en été. Cette variation cyclique se retrouve dans les eaux des deux bassins. Elle ressemble à celle observée dans les milieux lacustres, là où

la production primaire entraîne pendant les mois d'été une accumulation de matière organique autochtone renfermant de l'azote. Signalons que dans le cas de la rivière Yamaska les pourcentages d'azote organique sont inférieurs à ceux observés dans les eaux du bassin de la rivière Saint-François; la valeur moyenne pour les deux années étudiées se situe à 33% dans le cas du bassin de la rivière Yamaska et à 49% dans le cas de celui de la rivière Saint-François.

Quant aux pourcentages de phosphore organique {P-organique/P-total}, ils sont également plus élevés en été qu'en hiver. Les valeurs maximums ont apparu au printemps sur le bassin de la rivière Yamaska et en automne sur celui de la rivière Saint-François. Cette différence de comportement entre les bassins est cependant difficilement explicable; elle pourrait être un artefact provenant des difficultés analytiques inhérentes à la détermination du phosphore organique dans les eaux de faible teneur en phosphore.

### 3.1.6 Cheminement des substances nutritives dans les bassins des rivières Yamaska et Saint-François

Dans le cadre du développement d'un modèle mathématique simulant le cheminement des substances nutritives dans les bassins versants des rivières Yamaska et Saint-François, les débits massiques journaliers en azote total et en phosphore total furent calculés à chacune des stations d'échantillonnage. A partir de mesures mensuelles de concentration, on a calculé des valeurs journalières par interpolation; chaque concentration journalière fut ensuite multipliée par le débit journalier correspondant pour donner un débit massique journalier ou une charge journalière. Par la suite ces charges journalières furent cumulées pour des périodes déterminées (ex.: pour l'année entière, ou encore pour les saisons individuelles).

Les charges saisonnières et annuelles aux différentes stations ont d'abord servi à la calibration du modèle d'apports; les détails du calcul des charges et de la calibration subséquente du modèle mathématique sont présentés dans le volume 3 de ce rapport (MRN-INRS, 1976b). Par après, dans le but de mieux comprendre le comportement des substances nutritives dans les deux bassins étudiés, ces charges ont été comparées entre elles et confrontées avec des valeurs déterminées par d'autres chercheurs. C'est de cette dernière étude que nous traitons dans cette section.

De nombreux facteurs, liés à la géomorphologie du bassin versant et à l'utilisation de son territoire, font varier les coefficients d'exportation des substances nutritives (Uttomark *et al.*, 1974; MRN-INRS, 1976b). Une énumération non exhaustive des facteurs importants comprendrait:

- . la topographie (contours) et le réseau hydrographique (densité de drainage; lacs);
- . les caractéristiques des précipitations (quantité, durée, nature) et le régime hydrologique résultant;
- . la couverture végétale (type, densité, permanence);
- . les modifications dans l'utilisation du sol (pavage, labourage, irrigation, inondation, fertilisation);
- . les populations animales (type, densité);
- . la population humaine (densité) et les systèmes d'évacuation et de traitement des eaux résiduaires;
- . les industries (type, volume de production) et les systèmes d'évacuation et de traitement des eaux résiduaires.

D'après une comparaison avec des résultats représentatifs dans la littérature (Tableau 3.1.24), les coefficients d'exportation de l'azote et du phosphore observés dans le bassin de la rivière Yamaska sont supérieurs à la moyenne. Par contre, ceux trouvés dans le bassin de la rivière Saint-François sont largement plus faibles que les valeurs citées par d'autres chercheurs. En examinant de plus près les valeurs obtenues pour les sous-bassins individuels, on peut discerner l'influence de certains des facteurs énumérés ci-haut; le Tableau 3.1.25 en donne des exemples. Pour une discussion plus approfondie de l'influence de l'utilisation du territoire sur l'exportation des éléments nutritifs, le lecteur devrait consulter le volume 3 de ce rapport (MRN-INRS, 1976b).

*Variation saisonnière des charges en azote et en phosphore*

Afin de mettre en évidence la variation temporelle des charges en substances nutritives, l'année comprise entre le 1er mars 1974 et le 28 février 1975 fut divisée en quatre saisons selon des critères hydrologiques et climatiques (MRN-INRS, 1976b), et les charges journalières moyennes en azote total ainsi qu'en phosphore total furent calculées pour chaque saison. Comme le montrent les résultats présentés dans les Tableaux 3.1.26 à 3.1.27, les charges en azote et en phosphore varient beaucoup d'une saison à l'autre. Un cycle annuel se dessine à toutes les stations: les valeurs maximums sont toujours observées au printemps, alors que les valeurs minimums apparaissent généralement en hiver et/ou en été. En d'autres termes, l'évolution des charges suit sensiblement le cycle annuel des débits (*cf.* Taylor *et al.*, 1971).

L'amplitude du cycle annuel des charges varie d'une station à l'autre. Aux stations influencées surtout par des sources *ponctuelles*, dont les apports sont relativement constants, le débit massique est relativement moins influencé par le débit hydrique (ex.: rivière Yamaska-Nord, station 03031R; rivière Saint-Germain, station 03021N) que les stations influencées par des sources *diffuses* (ex.: rivière Au Saumon, station 03021X; rivière Eaton, station 03030C; rivière Ascot, station 03021T). Notons que l'amplitude du cycle est également différente pour les deux éléments nutritifs. Les plus grandes fluctuations se produisent normalement dans le cas de l'azote, la contribution de sources diffuses étant généralement plus importante pour cet élément que pour le phosphore.

*Evolution longitudinale des charges en azote et en phosphore*

Afin de mieux suivre le cheminement des substances nutritives dans les bassins versants des rivières Yamaska et Saint-François, notamment en ce qui concerne leur comportement après avoir atteint le cours d'eau, les charges en azote et en phosphore ont été comparées entre stations, en procédant de l'amont vers l'aval de chaque bassin. Cette comparaison avait pour but de mettre en évidence les transformations subies par les éléments nutritifs lors de leur transport vers l'aval du bassin (ex.: la sédimentation, l'assimilation biologique, la dénitrification).

*Export de l'azote et du phosphore*

Dans un premier temps les charges annuelles ont été considérées pour les sous-bassins individuels; dans chaque sous-bassin on s'est limité à la station d'échantillonnage située le plus près de l'exutoire du bassin, c'est-à-dire, à celle localisée vers l'aval du bassin. Afin de permettre la comparaison des différents sous-bassins, les charges annuelles en azote total et en phosphore total furent divisées par la superficie du bassin versant, et ramenées sur une base journalière ce qui donnait des charges spécifiques journalières ( $\text{kg}/\text{km}^2\text{-j}$ ) ou des coefficients d'exportation par ruissellement.

L'examen des résultats pour les sous-bassins de la rivière Yamaska (Tableau 3.1.22) montre que les coefficients d'exportation de l'azote varient de 1.2 à 5.6  $\text{kg N}/\text{km}^2\text{-j}$  et ceux pour le phosphore de 0.1 à 1.16  $\text{kg P}/\text{km}^2\text{-j}$ . Les valeurs maximums sont observées, à la fois pour l'azote et le phosphore, dans le cas du bassin de la rivière Yamaska-Nord (station 03031D); elles se détachent nettement de celles observées pour les autres sous-bassins, surtout en ce qui concerne le phosphore. Comme on aurait pu l'anticiper, les valeurs minimums apparaissent pour le sous-bassin de la rivière Yamaska-Centre en amont d'Adamsville (station 03031E) et pour celui de la rivière Noire en amont de Roxton Falls (station 03031J). Pour le bassin entier de la rivière Yamaska (station 03030Y), les coefficients globaux d'exportation s'élèvent à 3.1  $\text{kg N}/\text{km}^2\text{-j}$  et 0.28  $\text{kg P}/\text{km}^2\text{-j}$ .

Dans le cas des sous-bassins de la rivière Saint-François (Tableau 3.1.23), les coefficients d'exportation pour l'azote varient de 0.6 à 2.3  $\text{kg N}/\text{km}^2\text{-j}$  et ceux pour le phosphore de 0.02 à 0.28  $\text{kg P}/\text{km}^2\text{-j}$ . Les valeurs maximums sont observées pour les deux éléments nutritifs dans le cas du bassin de la rivière Saint-Germain (station 03021N); nettement plus élevées que les valeurs calculées pour les autres sous-bassins, ces coefficients se rapprochent de ceux observés dans le cas des tributaires de la rivière Yamaska. A l'autre extrême de la gamme de variation se trouvent les valeurs observées pour les bassins des rivières Ascot (station 03021T) et Au Saumon (station 03021X). Pour le bassin entier de la rivière Saint-François (03021L) on obtient des coefficients globaux d'exportation (1.22  $\text{kg N}/\text{km}^2\text{-j}$ ; 0.21  $\text{kg P}/\text{km}^2\text{-j}$ ) qui sont nettement inférieurs à ceux calculés pour le bassin adjacent de la rivière Yamaska.

De nombreux facteurs, liés à la géomorphologie du bassin versant et à l'utilisation de son territoire, font varier les coefficients d'exportation des substances nutritives (Uttomark *et al.*, 1974; MRN-INRS, 1976b). Une énumération non exhaustive des facteurs importants comprendrait:

- . la topographie (contours) et le réseau hydrographique (densité de drainage; lacs);
- . les caractéristiques des précipitations (quantité, durée, nature) et le régime hydrologique résultant;
- . la couverture végétale (type, densité, permanence);
- . les modifications dans l'utilisation du sol (pavage, labourage, irrigation, inondation, fertilisation);
- . les populations animales (type, densité);
- . la population humaine (densité) et les systèmes d'évacuation et de traitement des eaux résiduaires;
- . les industries (type, volume de production) et les systèmes d'évacuation et de traitement des eaux résiduaires.

D'après une comparaison avec des résultats représentatifs dans la littérature (Tableau 3.1.24), les coefficients d'exportation de l'azote et du phosphore observés dans le bassin de la rivière Yamaska sont supérieurs à la moyenne. Par contre, ceux trouvés dans le bassin de la rivière Saint-François sont largement plus faibles que les valeurs citées par d'autres chercheurs. En examinant de plus près les valeurs obtenues pour les sous-bassins individuels, on peut discerner l'influence de certains des facteurs énumérés ci-haut; le Tableau 3.1.25 en donne des exemples. Pour une discussion plus approfondie de l'influence de l'utilisation du territoire sur l'exportation des éléments nutritifs, le lecteur devrait consulter le volume 3 de ce rapport (MRN-INRS, 1976b).

### *Variation saisonnière des charges en azote et en phosphore*

Afin de mettre en évidence la variation temporelle des charges en substances nutritives, l'année comprise entre le 1er mars 1974 et le 28 février 1975 fut divisée en quatre saisons selon des critères hydrologiques et climatiques (MRN-INRS, 1976b), et les charges journalières moyennes en azote total ainsi qu'en phosphore total furent calculées pour chaque saison. Comme le montrent les résultats présentés dans les Tableaux 3.1.26 à 3.1.27, les charges en azote et en phosphore varient beaucoup d'une saison à l'autre. Un cycle annuel se dessine à toutes les stations: les valeurs maximums sont toujours observées au printemps, alors que les valeurs minimums apparaissent généralement en hiver et/ou en été. En d'autres termes, l'évolution des charges suit sensiblement le cycle annuel des débits (cf. Taylor *et al.*, 1971).

L'amplitude du cycle annuel des charges varie d'une station à l'autre. Aux stations influencées surtout par des sources *ponctuelles*, dont les apports sont relativement constants, le débit massique est relativement moins influencé par le débit hydrique (ex.: rivière Yamaska-Nord, station 03031R; rivière Saint-Germain, station 03021N) que les stations influencées par des sources *diffuses* (ex.: rivière Au Saumon, station 03021X; rivière Eaton, station 03030C; rivière Ascot, station 03021T). Notons que l'amplitude du cycle est également différente pour les deux éléments nutritifs. Les plus grandes fluctuations se produisent normalement dans le cas de l'azote, la contribution de sources diffuses étant généralement plus importante pour cet élément que pour le phosphore.

### *Evolution longitudinale des charges en azote et en phosphore*

Afin de mieux suivre le cheminement des substances nutritives dans les bassins versants des rivières Yamaska et Saint-François, notamment en ce qui concerne leur comportement après avoir atteint le cours d'eau, les charges en azote et en phosphore ont été comparées entre stations, en procédant de l'amont vers l'aval de chaque bassin. Cette comparaison avait pour but de mettre en évidence les transformations subies par les éléments nutritifs lors de leur transport vers l'aval du bassin (ex.: la sédimentation, l'assimilation biologique, la dénitrification).

Dans un premier temps on s'est limité aux débits massiques annuels et saisonniers de l'azote total et du phosphore total (Tableaux 3.1.26 à 3.1.29). En tenant compte de la nature du réseau hydrographique et de l'emplacement des stations d'échantillonnage, on a comparé les débits massiques à diverses stations, notamment en amont et en aval des confluent de tributaires ainsi qu'à l'entrée et à la sortie de sections du tronçon principal. Les comparaisons effectuées sont indiquées dans le Tableau 3.1.30. Notons qu'en procédant de gauche à droite dans ce tableau, c'est-à-dire de l'amont vers l'aval sur le bassin versant, on s'attend à ce que les débits massiques en azote total et en phosphore total augmentent en réponse aux apports drainés à la rivière à partir du territoire compris entre les stations successives. Une diminution ne peut s'y produire que par voies de sédimentation, d'assimilation biologique (périphyton) ou de dénitrification. Ce sont donc les *pertes* de l'azote ou du phosphore qui devraient attirer une attention particulière; on passera sous silence les gains de l'un ou de l'autre élément notés en passant de l'amont vers l'aval. Les cas où on observe des pertes importantes en azote et/ou en phosphore sont résumés dans les Tableaux 3.1.31 (bassin de la rivière Yamaska) et 3.1.32 (bassin de la rivière Saint-François). Compte tenu de l'imprécision des débits massiques, qui peut atteindre  $\pm 20\%$  pendant les périodes de débit variable (MRN-INRS, 1976b), seules les pertes supérieures à 20% ont été considérées comme "significatives".

Après avoir identifié les tronçons de rivière et les périodes de l'année où il se produisait des pertes significatives de l'azote et/ou du phosphore (Tableaux 3.1.31 et 3.1.32, colonne 3), on y a comparé les débits massiques pour les différentes formes d'azote ( $N-NH_4$ ,  $N-NO_{2-3}$ , N-organique) et de phosphore (P-inorganique, P-organique). Ces observations, présentées dans la colonne 4 de ces tableaux, ont permis de formuler des explications possibles des pertes observées (ex.: assimilation biologique en été; sédimentation en hiver ou à l'automne). Dans certains cas, cependant, les pertes d'azote ou de phosphore se sont produites au printemps, en période de forts débits, sur des tronçons de rivière ne présentant pas de zones propices à la sédimentation (ex.: Tableau 3.1.31, rivière Yamaska, stations 03031A  $\rightarrow$  03030D; Tableaux 3.1.32, rivière Saint-François, stations 03021Y  $\rightarrow$  03021W). Aucune explication évidente de ces observations ne semble s'offrir.

Enfin, signalons le gain exceptionnel de phosphore (+447%) noté au printemps entre les stations 03021M et 03021L sur le tronçon principal de la rivière Saint-François. Comme indiqué dans le Tableau 3.1.32, c'est surtout la charge en phosphore particulaire qui augmente brusquement entre les deux stations; celle en phosphore soluble n'augmente que légèrement (+38%) entre les mêmes stations. Cette observation laisse supposer une érosion physique importante des rives, ou encore une remise en suspension des sédiments de fond à l'intérieur du tronçon de rivière compris entre les deux stations. Il est intéressant de noter qu'un phénomène semblable est observé dans le cas de certains métaux traces (Fe, Mn, Zn, Cu: MRN-INRS, 1976a).

RESUMEOBSERVATIONS GENERALES

## . Méthodologie

- L'analyse de variance à un critère s'avère une méthode utile pour faire ressortir les particularités observées à certaines stations et à certaines périodes de l'année.
- Le test de Student sur les observations pairées permet de vérifier l'effet de la filtration sur les analyses effectuées et de détecter des problèmes analytiques.
- Le dosage des substances nutritives avant et après filtration est une méthode inadéquate pour différencier entre les formes solubles et particulières de ces éléments.

## . Variabilité temporelle

- On observe une variation saisonnière cyclique des formes inorganiques d'azote ( $N-NH_4$ ,  $N-NO_{2-3}$ , N-inorganique, N-total). Le maximum est en hiver et le minimum en été.
- On observe une variation inverse de N-organique (minimum en hiver, maximum en été) et une tendance semblable pour C-organique et P-organique.
- Il n'y a pas de variation saisonnière cyclique des formes de phosphore inorganique. Le coefficient de variation est élevée (>100%).
- Les charges en azote total et en phosphore total suivent un cycle annuel avec un maximum au printemps et un minimum en hiver et/ou en été.

OBSERVATIONS RELATIVES AUX RIVIERES YAMASKA ET SAINT-FRANCOIS

Variabilité spatiale des concentrations

- Singularités dans le bassin de la rivière Yamaska:  
 concentrations maximums: station 03031 C  
 station 03031 D  
 station 03031 R
- Singularités dans le bassin de la rivière Saint-François:  
 concentrations maximums: station 03021 N  
 homogénéité élevée des autres stations

Concentrations limites dépassées (en excluant 03021 N et 03031 E)

			intervalle (%)	médiane (%)
N-inorganique: 0.10 mg N/l	YAMASKA		82-100	100
	SAINT-FRANCOIS		59-100	94
0.30 mg N/l	YAMASKA		71-100	89
	SAINT-FRANCOIS		6- 56	41
P-inorganique: 0.09 mg P/l	YAMASKA		87-100	100
	SAINT-FRANCOIS		7- 63	23
0.027 mg P/l	YAMASKA		56-100	85
	SAINT-FRANCOIS		0- 7	0
N-NH <sub>4</sub> : 0.10 mg N/l	YAMASKA		53-100	78
	SAINT-FRANCOIS		0- 24	12

- Spéciation physique

- Le pourcentage de phosphore particulaire dans les eaux du bassin de la rivière Saint-François ( $\sim 50\%$ ) est plus élevé que dans les eaux du bassin de la rivière Yamaska ( $\sim 20\%$ ).

- Cheminement des substances nutritives

- Coefficients globaux d'exportation

N-total	YAMASKA	3.1	kg N/km <sup>2</sup> -j
	SAINT-FRANCOIS	1.2	kg N/km <sup>2</sup> -j
P-total	YAMASKA	0.28	kg P/km <sup>2</sup> -j
	SAINT-FRANCOIS	0.21	kg P/km <sup>2</sup> -j

- Gain exceptionnel ( $> 400\%$ ) de phosphore au printemps entre les stations 03021 M (Drummondville) et 03021 L (Pierreville) sur le tronçon principal de la rivière Saint-François.

## 3.2 Potentiel de fertilité et facteurs limitants

### 3.2.1 Introduction

#### *Problématique*

Avant d'utiliser des indicateurs biologiques pour caractériser la ressource "eau", il faut choisir parmi une foule d'approches possibles. Ce choix doit être basé sur l'efficacité de ces indicateurs à mettre en évidence différents phénomènes, comme l'apparition de concentrations excessives de substances nutritives ou de substances toxiques dans un cours d'eau; ces phénomènes sont habituellement liés aux divers processus de dégradation de la qualité de la ressource.

Les bioessais, effectués en laboratoire (ex.: mesure du *potentiel de fertilité* à l'aide d'une population d'algues), se sont avérés des techniques très efficaces pour l'étude de ces phénomènes. La valeur de ces techniques repose sur le fait que les caractéristiques physiologiques et métaboliques des organismes utilisés sont sensibles à la qualité du milieu aquatique. Ainsi, par exemple, alors que l'analyse chimique d'un échantillon d'eau nous révèle la nature et la concentration des éléments chimiques présents, la mesure du potentiel de fertilité en établit le degré de disponibilité.

Enfin, un tel bioessai peut servir de critère dans le choix des analyses physico-chimiques à effectuer sur les échantillons tirés d'un milieu donné. En intégrant toute la gamme des propriétés ou caractéristiques physico-chimiques du milieu, le bioessai nous permet à la fois d'identifier lequel des différents éléments chimiques (substances nutritives ou substances toxiques) peut contrôler la production primaire de l'échantillon d'eau analysé, et de doser biologiquement la concentration de cet élément.

#### *Description des données disponibles*

Les Tableaux 3.2.1 à 3.2.8 montrent les valeurs mensuelles du potentiel de fertilité (PF) mesurées au cours des années 1974-1975 sur les échantillons d'eau des trente six-stations d'échantillonnage situées sur les deux

bassins versants étudiés. Chacune de ces valeurs représente une moyenne corrigée calculée à partir de trois mesures. La moyenne est corrigée lorsque la moyenne arithmétique des trois mesures présente un coefficient de variation excédant 20% (Annexe 1-1). Les coefficients de variation qui apparaissent dans ces tableaux représentent les variations obtenues pour les mesures conservées lors du calcul des PF. Les indices d'enrichissement (IE) des différents échantillons d'eau sont aussi présentés; on distingue quatre niveaux d'enrichissement: faible, moyen, moyen + et fort. Ces indices furent développés pour le milieu lacustre par Miller *et al.* (1974): l'indice "faible" correspond au niveau trophique oligotrophe, l'indice "moyen" est associé au niveau mésotrophe alors que les indices "moyen +" et "fort" se rapportent au niveau eutrophe. Enfin, les potentiels de fertilité moyens annuels ( $\overline{PF}$ ) et les plages de variation (PV) apparaissent aussi dans ces tableaux.

Les Tableaux 3.2.9 à 3.2.16 montrent les coefficients de croissance maximale (CCM) de la population d'algues inoculées. Le CCM est calculé selon une technique décrite à l'Annexe 1 et seules les valeurs corrigées apparaissent ici. Les coefficients de variation présentés dans ces tableaux sont calculés à partir des valeurs conservées lors du calcul du CCM corrigé. A chaque station une moyenne annuelle est calculée ( $\overline{CCM}$ ) et la plage de variation est indiquée.

Les Tableaux 3.2.17 à 3.2.20 présentent les valeurs calculées pour les coefficients de stimulation aux ajouts d'azote (N), de phosphore (P) et du mélange azote + phosphore (NP). Ces coefficients sont établis à partir du calcul des facteurs de stimulation de croissance aux différents ajouts. La valeur de la moyenne annuelle du coefficient de stimulation ( $\overline{N}$ ,  $\overline{P}$ ,  $\overline{NP}$ ) est aussi calculée. Elle met en évidence le facteur chimique limitant le plus souvent la production de ces eaux au cours de l'année. Les plages de variation des différents coefficients de stimulation sont aussi présentées dans ces tableaux.

### *Variabilité diurne / journalière*

Les campagnes d'échantillonnage intensif (voir la section 2.2) ont permis d'évaluer la variabilité temporelle du potentiel de fertilité. Les résultats obtenus à la suite de ces prélèvements apparaissent dans les Tableaux 3.2.21 et 3.2.22.

Les variations journalières observées montrent qu'en général la mesure du potentiel de fertilité présente peu de variation au cours de quatre jours consécutifs de débit stable (Tableau 3.2.21: échantillonnage de juillet, Saint-Alphonse (aval), CV = 20%; échantillonnage d'octobre, Adamsville, CV = 15%). Les fluctuations importantes enregistrées au cours de ces campagnes (Tableau 3.2.21: Adamsville le 8 juillet 1975, PF = 0.8; Saint-Alphonse (aval) le 29 octobre 1975, PF = 0.4) reflètent des événements particuliers. L'analyse des variations diurnes (Tableau 3.2.22) nous aide à mettre davantage en évidence ces phénomènes perturbateurs qui seront discutés dans les sections suivantes (sources diffuses: voir la section 3.2.3, rivière Yamaska-Centre; toxicité: voir la section 3.6).

### 3.2.2 Rivière Saint-François

#### *Observations générales*

Les mesures du potentiel de fertilité des échantillons d'eau prélevés sur le bassin versant de la rivière Saint-François au cours des années 1974 et 1975 montrent une grande hétérogénéité du milieu: les potentiels de fertilité varient en fonction de la date et du lieu de prélèvement. Les Tableaux 3.2.1 à 3.2.4 indiquent, par exemple, que les indices d'enrichissement de l'ensemble des stations varient au cours des deux années étudiées entre "moyen" et "fort". Seules les eaux de la rivière Saint-Germain conservent habituellement un indice d'enrichissement "fort".

Les potentiels de fertilité moyens calculés pour l'année 1975 sont supérieurs à ceux de l'année 1974 pour l'ensemble des stations étudiées (Figure 3.2.1). De plus, pour l'année 1974 il semble que les stations situées vers l'aval du bassin, telles les stations de Pierreville, de Drummondville, de Richmond, de Bromptonville et les stations des rivières Saint-Germain,

Magog et Massawippi aient présenté des potentiels de fertilité moyens plus élevés que les stations situées en amont du bassin. Cette tendance devient cependant moins évidente durant l'année 1975. L'augmentation de l'activité du phytoplancton mesurée au cours de cette dernière année aux stations de Richmond et de Bromptonville (voir la section 3.3.5: potentiel autotrophe, évolution longitudinale) pourrait diminuer la concentration des formes assimilables des substances nutritives, et influencer ainsi la mesure du potentiel de fertilité. Les fortes valeurs de fertilité mesurées à Pierreville persistent durant les deux années d'étude (Tableaux 3.2.1A et 3.2.3A) et reflètent l'enrichissement des eaux de la rivière Saint-François par la rivière Saint-Germain. Ce phénomène se manifeste aussi à partir de l'étude de l'évolution des coefficients de stimulation aux ajouts de phosphore (voir la section 3.2.2: facteur limitant).

Une analyse des valeurs moyennes des coefficients de croissance maximum calculées pour l'année 1974 met aussi en évidence ces deux groupes de stations, les stations situées vers l'aval étant caractérisées par des valeurs de  $\overline{CCM}$  élevées (Tableaux 3.2.9 et 3.2.10). Toutefois, les valeurs calculées pour l'année 1975 ne semblent pas présenter de différences significatives; seules les stations de la rivière Saint-Germain et du lac Memphrémagog font exception à cette règle. Cette homogénéité des valeurs du  $\overline{CCM}$  pour l'année 1975 est attribuable à l'augmentation générale, déjà mentionnée, de la fertilité des eaux du bassin. Pour des eaux où la concentration en phosphore était supérieure à  $6 \mu\text{g}$  par litre, Porcella *et al.* (1971) ont démontré qu'il était difficile de différencier les taux de croissance d'une population de *S. capricornutum*. De plus, les hauts coefficients de variation qui caractérisent la détermination du CCM nous invitent à beaucoup de prudence lors de l'interprétation des résultats obtenus avec ce paramètre. En d'autres termes, puisqu'on ne peut reproduire fidèlement les mesures, ce paramètre ne permet que rarement de différencier les stations les unes des autres.

Des études antérieures réalisées par des organismes gouvernementaux (MRN, 1970; REQ, 1970) ont déjà mis en évidence des problèmes de qualité sur le bassin versant de la rivière Saint-François. Les valeurs calculées du potentiel de fertilité moyen (Tableaux 3.2.1 à 3.2.4:  $\overline{PF}$ ) indiquent que le niveau d'enrichissement de l'eau des stations situées soit sur le tronçon

principal, soit sur les tributaires, est au moins "moyen +" et correspond au niveau eutrophe pour le milieu lacustre.

#### *Normes, limites*

Les problèmes de qualité de l'eau sont souvent associés à la prolifération de populations massives d'algues. Plusieurs chercheurs ont ainsi défini des concentrations limites d'azote et de phosphore à tolérer dans les eaux naturelles pour éviter de telles populations d'algues; ces limites sont généralement plus exigeantes pour les eaux stagnantes que pour les eaux courantes (voir la section 3.1.4). Pour les fins de cette étude, deux limites ont été établies pour l'azote inorganique (0.1 et 0.3 mg N par litre) et pour le phosphore inorganique (0.009 et 0.027 mg P par litre): dans chaque cas, la valeur inférieure correspond à une concentration "acceptable", alors que la valeur supérieure représente plutôt un seuil critique au delà duquel on peut s'attendre à une surabondance de végétation aquatique. Signalons que ces concentrations assureraient respectivement un potentiel de fertilité de 4 et de 11 mg d'algues par litre.

La Figure 3.2.2 montre la situation du  $\overline{PF}$  aux différentes stations par rapport à une *zone critique* définie à l'aide des concentrations limites établies ci-haut (4-11 mg d'algues par litre). Pour les années 1974 et 1975, une forte majorité des stations se situent à l'intérieur ou au voisinage de la zone critique. Pour l'année 1974, certaines stations situées en amont du bassin, telles les stations d'Ascot Corner, d'East Angus, de Saint-Gérard et de la rivière Au Saumon, présentent des potentiels de fertilité moyens nettement inférieurs à la zone critique; seule la station de la rivière Saint-Germain présente un potentiel de fertilité moyen significativement supérieur à la zone critique.

#### *Variation saisonnière*

Une analyse de l'évolution saisonnière du niveau d'enrichissement des eaux du bassin de la Saint-François, à l'aide des mesures du potentiel de fertilité (Tableaux 3.2.1 à 3.2.4), peut nous renseigner sur la nature (diffuse; ponctuelle) des sources des éléments nutritifs. Les sources ponctuelles ont un impact important sur le milieu aquatique durant les mois d'hiver et d'été: cet impact se traduit par une augmentation de la concentration en

substances nutritives dans le milieu récepteur. Durant l'été, cependant, cette augmentation n'est pas toujours évidente dans l'eau de la rivière: les différents groupes de végétaux présents dans le milieu aquatique puisent à même ces réserves les substances essentielles à leur développement. D'autre part, les sources diffuses se manifestent surtout durant les mois d'automne et de printemps; elles se caractérisent par une augmentation de la concentration de substances nutritives dans le milieu concurremment à une augmentation du débit.

L'évolution saisonnière du potentiel de fertilité à la rivière Saint-Germain (Figures 3.2.3 et 3.2.4) donne un bon exemple de l'impact des sources ponctuelles sur la fertilité d'une rivière. Une augmentation des valeurs du potentiel de fertilité se produit en période d'étiage soit durant les mois d'hiver et d'été (Figure 3.2.3: 13 février 1974 et 5 septembre 1974; Figure 3.2.4: 20 février 1975 et 30 juillet 1975) alors qu'une diminution significative est notée au cours des périodes de crues (Figure 3.2.3: 10 avril 1974; Figure 3.2.4: 23 avril 1975). Cet effet de diminution durant les crues est aussi perceptible pour la station de Pierreville (Figures 3.2.5 et 3.2.6: voir les valeurs de PF mesurées au cours des mois d'avril et mai pour les années 1974 et 1975).

Par ailleurs, à certaines stations situées en amont du bassin, telles les stations de Au Saumon, de Saint-Gérard et de Disraëli, l'évolution saisonnière du potentiel de fertilité montre des valeurs maximums au printemps, ainsi qu'en automne, soit un comportement différent de celui décrit au paragraphe précédent. Les Figures 3.2.7 et 3.2.8, sur lesquelles est présentée l'évolution du potentiel de fertilité à la station de la rivière Au Saumon, donnent un exemple caractéristique de ce genre de comportement. Bien que cette tendance soit moins perceptible pour l'année 1974 (Figure 3.2.7) elle devient évidente au cours de l'année 1975 (Figure 3.2.8: 15 avril, 15 octobre et 20 novembre 1975).

L'observation de tels résultats suggère que les rivières mentionnées ci-haut répondent soit à l'impact de sources diffuses d'éléments nutritifs, soit à l'influence du retournement des eaux dans les lacs dimictiques localisés en amont (lacs Saint-François et Aylmer en amont respectivement des stations de Disraëli et de Saint-Gérard). Dans le premier cas, les valeurs maximums du potentiel de fertilité se manifesteraient durant les épisodes de crues, soit des périodes caractérisées par un ruissellement important. Notons que de telles eaux de

ruissellement sont normalement plus chargées en azote qu'en phosphore (MRN-INRS, 1976b). Dans le second cas, les valeurs maximums du potentiel de fertilité correspondraient aux périodes de déstratification des lacs, où les substances nutritives sont remises en circulation dans le milieu sous forme inorganique; cette fois-ci, la rivière en aval recevrait des eaux chargées à la fois en azote et en phosphore. En principe, cette différence de composition pourrait servir de critère de choix entre les deux explications offertes.

L'évolution saisonnière du potentiel de fertilité aux autres stations d'échantillonnage situées sur ce bassin montrent une combinaison des effets de sources ponctuelles et de sources diffuses. Ainsi, par exemple, on peut observer des augmentations des valeurs du potentiel de fertilité au cours des mois d'été et des mois de printemps ou encore des mois d'automne. Les (Figures 3.2.9 et 3.2.10) donnent un exemple de ce genre de comportement.

#### *Facteur limitant*

Le niveau d'enrichissement des eaux en substances nutritives est fonction des caractéristiques physiques du cours d'eau lui-même, et de l'utilisation des territoires drainés. L'impact de ces deux facteurs sur la qualité de l'eau peut être suivi à l'aide de l'évolution du facteur chimique limitant la production de ces eaux. Les valeurs maximums pour les coefficients moyens de stimulation aux ajouts de phosphore ( $\bar{P}$ ) ont été observées aux stations de Saint-Gérard et de Massawippi (Tableaux 3.2.17 et 3.2.18). Ce résultat s'explique du fait que ces stations sont situées à la décharge de lacs, lesquels servent de piège à sédiments (Sawyer, 1966). Compte tenu de la tendance du phosphore à s'associer aux sédiments, cette sédimentation aura pour effet de diminuer la disponibilité de cet élément. On remarque le résultat contraire aux stations de Pierreville, de Richmond, de Bromptonville et de Lennoxville: les coefficients de stimulation au phosphore y sont plus faibles (Tableaux 3.2.17 et 3.2.18). Une explication évidente en est que les effluents municipaux que reçoit la rivière dans les tronçons en aval des lacs sont relativement plus chargés en phosphore qu'en azote (ex.: Fohrenbach, 1974).

L'évolution du coefficient de stimulation aux ajouts de phosphore et d'azote renseigne indirectement sur l'importance relative des sources ponc-

tuelles et diffuses d'éléments nutritifs. Les valeurs maximums du coefficient de stimulation aux ajouts de P ont été mesurées aux cours des mois où des débits maximums ont été enregistrés (Figures 3.2.11 et 3.2.12). De fortes charges d'azote sont acheminées à la rivière durant ces périodes. Ce phénomène vient augmenter le rapport {N/P} dans l'eau de la rivière et faire ainsi du phosphore le facteur chimique susceptible de contrôler la production primaire (Figures 3.2.5 à 3.2.10). Par ailleurs, les coefficients de stimulation aux ajouts de P sont plutôt faibles durant l'été. On conclut que l'influence des sources diffuses durant cette période est de beaucoup diminuée: l'absence de ruissellement intensif et la présence d'une végétation terrestre active ont pour effet de réduire la quantité d'azote qui atteint le cours d'eau. De plus, l'utilisation du phosphore et de l'azote par les végétaux aquatiques au cours des mois d'été diminuent les quantités de phosphore et d'azote disponibles. Durant ces périodes d'étiage, les apports de phosphore sont maintenus par la voie des sources ponctuelles (lesquelles sont généralement plus chargées en phosphore qu'en azote), alors que les apports d'azote sont de beaucoup réduits. Il s'en suit donc un appauvrissement en azote plus marqué qu'en phosphore, et le rapport {N/P} dans l'eau de la rivière diminue (Figures 3.2.5 à 3.2.10). L'azote aurait tendance à devenir l'élément de contrôle de la production primaire. Un phénomène semblable a été observé par Potash (1956) sur des étangs de ferme: le phosphore contrôlait la production durant l'hiver alors que l'azote devenait le facteur de contrôle durant l'été. Des observations analogues ont amené Hannan (1972) à attribuer la carence en azote observée durant l'été à l'assimilation de cet élément par des organismes autotrophes. *Ce changement saisonnier du facteur limitant est observé pour les stations de Pierreville, de Richmond et de Bromptonville, soit là où l'impact des villes se fait le plus sentir.*

### 3.2.3 Rivière Yamaska

#### *Observations générales*

Les mesures du potentiel de fertilité des échantillons d'eau prélevés sur le bassin versant de la rivière Yamaska au cours des années 1974 et 1975 présentent moins de variations que celles observées sur le bassin de la rivière Saint-François pendant cette période (comparer les Figures 3.2.1

et 3.2.13). Bien que certains changements soient perçus au cours des saisons, il n'en reste pas moins que peu de différences ont été notées entre les valeurs moyennes du potentiel de fertilité mesurées aux différentes stations (Figure 3.2.13). Les Tableaux 3.2.5 à 3.2.8 montrent à cet effet que seule la station située à Adamsville présente un  $\overline{PF}$  nettement inférieur aux autres stations. Les potentiels de fertilité mesurés à cette station varient entre les limites correspondant aux indices d'enrichissement "moyen +" et "élevé"; l'indice d'enrichissement des autres stations situées sur le tronçon principal est en général fixé à "élevé".

Comme nous l'avons déjà montré pour le bassin de la rivière Saint-François, les potentiels de fertilité moyens calculés pour l'année 1975 sont supérieurs à ceux de l'année 1974 pour l'ensemble des stations étudiées (comparer les Tableaux 3.2.5 et 3.2.6 aux Tableaux 3.2.7 et 3.2.8). Il n'en reste pas moins, cependant, que même en 1974 les valeurs des potentiels de fertilité moyens pour l'ensemble des stations situées sur ce bassin sont nettement supérieures à celles mesurées sur le bassin de la rivière Saint-François. Toutefois, les eaux des stations situées dans la région du Piedmont, telles les stations d'Adamsville et de Roxton Falls, présentent les niveaux d'enrichissement les moins élevés. Les fortes valeurs des potentiels de fertilité mesurées aux stations situées dans la région des basses-terres, telles les stations de Yamaska, de Saint-Marcel, d'Autoroute 20 et de Douville, reflètent bien les problèmes de qualité de l'eau du tronçon principal de la rivière Yamaska. A titre de comparaison, rappelons que pour le bassin de la rivière Saint-François, seule la station de la rivière Saint-Germain présente des valeurs comparables à ces dernières stations (Tableaux 3.2.7 et 3.2.4).

L'analyse des valeurs moyennes des coefficients de croissance maximale calculées pour les années 1974 et 1975 ne mettent pas clairement en évidence ces deux groupes de stations. Rappelons ici que pour des eaux où le niveau d'enrichissement en substances nutritives est plus élevé que  $6 \mu\text{g}$  de P par litre, la mesure du CCM ne permet pas de discriminer entre stations (Porcella *et al.*, 1971). Il n'en reste pas moins, cependant, que la plupart des valeurs des  $\overline{CCM}$  pour les échantillons prélevés sur la rivière Yamaska restent en général supérieures aux  $\overline{CCM}$  des échantillons de la rivière Saint-François.

Depuis quelques années, le bassin versant de la rivière Yamaska a fait l'objet de nombreuses études. Le "Rapport de la mission technique de la Yamaska" (OPDQ, 1972), par exemple, a fait un inventaire des problèmes de qualité rencontrés sur ce bassin. Ces problèmes avaient alors été mis en évidence à partir d'analyses chimiques de l'eau et de relevés de population d'organismes aquatiques. Les résultats de la présente étude démontrent encore plus clairement les problèmes majeurs de qualité de l'eau rencontrés sur ce bassin.

#### *Normes, limites*

La Figure 3.2.14 montre la situation du  $\overline{PF}$  aux différentes stations par rapport à une *zone critique* définie à l'aide des concentrations limites établies précédemment (4-11 mg d'algues par litre; voir la section 3.2.2, normes, limites). La majorité des stations présente un  $\overline{PF}$  nettement supérieur à la zone critique. Seule la station d'Adamsville présente un  $\overline{PF}$  qui se situe à l'intérieur de cette zone. Contrairement à ce qui a été observé dans le cas de la rivière Saint-François, aucune station ne montre un  $\overline{PF}$  inférieur à la zone critique pour les années 1974 et 1975.

Le niveau d'enrichissement des eaux de cette rivière correspondrait à un état d'eutrophisation pour un milieu lacustre. Les très fortes densités de production calculées pour l'azote et le phosphore (MRN-INRS, 1976b) nous invitent à imputer aux activités humaines le haut niveau d'enrichissement rencontré dans ces eaux.

#### *Variation saisonnière*

Les fortes concentrations en substances nutritives mises en évidence par les mesures du potentiel de fertilité proviennent de sources ponctuelles et de sources diffuses. Comme nous l'avons observé précédemment (section 3.2.2), l'importance de l'impact de ces différents types d'apport peut être caractérisée à l'aide du comportement de la fertilité des eaux en fonction des événements hydrologiques (débits).

L'évaluation de l'importance relative de chaque type d'apport est faite à six stations représentatives des différents sous-bassins qui se trouvent dans le bassin versant de la rivière Yamaska. Quatre stations sont associées chacune à un sous-bassin particulier:

Sous-bassin	Station
Rivière Yamaska-nord	Saint-Alphonse (aval)
Rivière Yamaska sud-est	Brigham (aval)
Rivière Yamaska-centre	Adamsville
Rivière Noire	Saint-Pie

De plus, deux stations viennent caractériser le comportement du tronçon principal de la rivière Yamaska, soit les stations de Saint-Damase et de Saint-Marcel.

#### Rivière Yamaska-nord

Le comportement de la fertilité des eaux de la rivière Yamaska-nord montre que les valeurs maximums du potentiel de fertilité sont mesurées durant les périodes d'étiage (Figure 3.2.15; mois de septembre 1974; Figure 3.2.16; mois de juillet et d'août 1975). De plus, des différences significatives observées entre des mesures faites sur des échantillons prélevés au cours de la même journée (Figure 3.2.15: 6 novembre 1974; Figure 3.2.16: 28 mai 1975), ou encore à l'intérieur d'un intervalle d'une journée (Figure 3.2.15: 10 et 11 septembre 1974), nous amènent à attribuer à des sources de nature ponctuelle les différentes variations mesurées. L'importance de ces apports est aussi mise en évidence par la diminution de la fertilité des eaux lors des crues (Figure 3.2.16: comparer, par exemple, le potentiel de fertilité mesuré sur les échantillons du 9 juillet 1975 avec celui du 23 juillet 1975). Enfin, les faibles valeurs du rapport  $\{NTi/PTi\}^1$  (Figures 3.2.15 et 3.2.16) traduisent bien un déséquilibre des éléments nutritifs qui fait de l'azote l'élément chimique susceptible de contrôler la production primaire; un tel comportement est souvent associé à l'impact de rejets d'origine urbaine.

<sup>1</sup> NTi = azote total inorganique, soluble + particulaire

PTi = phosphore total inorganique, soluble + particulaire

En résumé, l'analyse de l'évolution temporelle des mesures du potentiel de fertilité en fonction des débits nous invite à attribuer aux sources ponctuelles le haut niveau d'enrichissement en substances nutritives mesuré à l'exutoire de ce sous-bassin. De plus, une comparaison de l'évolution du potentiel de fertilité à cette station avec celle notée aux stations plus en amont (stations de Granby (aval) et Waterloo (aval): Figures 3.2.17 et 3.2.18) vient confirmer l'impact des sources ponctuelles sur tout le tronçon de la rivière Yamaska-nord situé en aval de Waterloo.

### Rivière Yamaska sud-est

Le comportement des eaux de la rivière Yamaska sud-est se distingue de celui de la rivière Yamaska-nord. En effet, à la station située en aval de Brigham, de faibles valeurs du potentiel de fertilité sont mesurées durant des périodes d'étiages (Figure 3.2.19: 11 septembre 1974; Figure 3.2.20: 8 juillet 1975), alors que des valeurs plus élevées sont observées durant des périodes de crues (Figure 3.2.19: comparer la mesure du 17 avril 1974 avec celle du 11 septembre 1974; Figure 3.2.20: comparer la mesure du 26 avril 1975 avec celle du 20 juillet 1975). Ce mode de réponse du potentiel de fertilité en fonction des crues suggère l'impact de sources diffuses. De plus, l'analyse de l'évolution du rapport  $\{NT_i/PT_i\}$  montre que les valeurs maximums de ce rapport ont été observées durant les crues du printemps (Figure 3.2.19: 23 avril 1974,  $\{NT_i/PT_i\} = 72$ ; Figure 3.2.20: 25 mars 1975,  $\{NT_i/PT_i\} = 52$ ). Les importantes charges en azote drainées à la rivière à cette époque ont pour effet de débalancer en faveur de l'azote les apports en substances nutritives. Une revue intensive de la littérature effectuée par Uttormark *et al.* (1974) nous permet de mieux mettre en évidence ce phénomène; en effet, le calcul du rapport  $\{N/P\}$  des différentes charges spécifiques drainées (Tableau 3.2.25) montre clairement que les valeurs maximums du rapport se retrouvent à l'intérieur des régions forestières et agricoles des bassins étudiés. Ce sont justement des régions où l'impact des sources diffuses sur la qualité de l'eau est prédominant.

Toutefois, la partie supérieure de la rivière Yamaska sud-est en amont de la station de Cowansville (aval) semble être influencée surtout par des sources ponctuelles. Les Figures 3.2.21 et 3.2.22 montrent en effet que les valeurs maximums du potentiel de fertilité sont mesurées durant les périodes

d'étiage: 10 septembre 1974, 8 juillet et 5 août 1975. Ainsi, le cours supérieur de la rivière serait influencé par des sources ponctuelles alors que la partie en aval répondrait davantage à l'impact de sources diffuses.

#### Rivière Yamaska-centre

Parmi les sous-bassin étudiés, celui de la rivière Yamaska-centre est le sous-bassin dont la qualité de l'eau semble la moins détériorée. L'analyse de l'évolution du potentiel de fertilité montre que le niveau d'enrichissement des eaux est intimement associé aux débits; en effet, d'après les Figures 3.2.23 et 3.2.24, les valeurs maximums du potentiel de fertilité sont observées en période de crues: 24 avril et 5 novembre 1974, 25 février et 23 juillet 1975. De plus, notons qu'à ces mêmes dates, les valeurs du rapport  $\{NTi/PTi\}$  témoignent de l'arrivée d'importantes charges d'azote dans la rivière. Un tel comportement, tant au niveau de l'évolution des mesures du potentiel de fertilité qu'en ce qui concerne les changements des valeurs du rapport  $\{NTi/PTi\}$ , confirme l'importance de l'impact de sources diffuses sur les eaux du cours supérieur de la rivière Yamaska-centre.

L'effet de sources diffuses sur le niveau d'enrichissement des eaux de la Yamaska-centre s'est également manifesté lors des campagnes d'échantillonnage intensif (voir la section 3.2.1). Le Tableau 3.2.21 montre la variabilité diurne de la mesure du potentiel de fertilité en période de beau temps (28-29 octobre 1975) et en période de pluie (8-9 juillet 1975). En période de beau temps et de régime hydrologique stable, le potentiel de fertilité est peu variable; en période de pluie, cependant, des variations importantes se produisent, reflétant le transport de substances nutritives à la rivière par les eaux de ruissellement (c'est-à-dire le cheminement d'apports provenant de sources diffuses).

#### Rivière Noire

L'évolution du potentiel de fertilité aux stations situées sur la rivière Noire semble traduire à la fois la présence dans le bassin de sources ponctuelles et de sources diffuses. Bien qu'en général les augmentations de débit à la station de Saint-Pie correspondent à des augmentations du niveau d'en-

richissement de la rivière (Figures 3.2.25 et 3.2.26), il n'en reste pas moins que les valeurs mesurées en période d'étiage demeurent importantes (Figure 3.2.25: 3 et 6 février 1975, 20 août 1975). De plus, l'augmentation du potentiel de fertilité notée entre le 10 et le 20 août 1975, une période de débit décroissant (Figure 3.2.25), montre bien l'influence d'une source ponctuelle; une telle évolution en période d'étiage, alors que les rapports  $\{NTi/PTi\}$  restent faibles, témoigne de la présence d'un tel type de source.

Une comparaison de l'évolution des potentiels de fertilité mesurés aux stations situées en amont de Saint-Pie dans le sous-bassin de la rivière Noire montre que les stations de Roxton Falls et de Saint-Hector présentent le même profil de variation que la station située à Saint-Pie (Figures 3.2.27 et 3.2.28). En bref, selon une analyse du comportement des mesures du potentiel de fertilité au cours des différentes saisons, les eaux de la rivière Noire répondraient à l'influence combinée de sources ponctuelles et de sources diffuses.

#### Tronçon principal de la rivière Yamaska

Le comportement des eaux du tronçon principal de la rivière Yamaska intègre les différents phénomènes mis en évidence dans les divers sous-bassins étudiés précédemment: l'évolution des mesures du potentiel de fertilité aux stations de Saint-Damase et de Saint-Marcel le montre bien (Figures 3.2.29, 3.2.30, 3.2.31 et 3.2.32). Le niveau d'enrichissement des eaux de ces deux stations varie en fonction des débits. Des augmentations du potentiel de fertilité sont observées aussi bien en période d'étiage (Figure 3.2.29: 12 et 16 septembre 1974; Figure 3.2.30: 11 et 20 août 1975; Figure 3.2.31: 3 et 10 décembre 1974; Figure 3.2.32: 13 et 19 août 1975) qu'en période de crue. De plus l'évolution des valeurs du rapport  $\{NTi/PTi\}$  souligne bien la présence des deux types d'apports.

Ainsi, le tronçon principal de la rivière Yamaska répond à la fois à la présence de sources diffuses et de sources ponctuelles. La présence de villes importantes telles Saint-Hyacinthe, Farnham, Granby et Cowansville, met en évidence l'impact possible de sources ponctuelles, alors que la faible concentration de forêt ainsi que l'importance des activités agricoles favorisent l'influence de sources diffuses.

### *Facteur limitant*

L'identification du facteur chimique limitant la production des eaux met aussi en évidence la mauvaise qualité des eaux sur l'ensemble du bassin de la rivière Yamaska. Miller *et al.* (1974) ont déjà remarqué qu'habituellement le phosphore était le facteur chimique limitant la production de lacs oligotrophes; par contre, pour la plupart des lacs eutrophes, l'azote venait déplacer le phosphore comme facteur limitant. Dans le cas du bassin de la rivière Yamaska, seules les eaux de la station d'Adamsville présentent un effet de stimulation au phosphore (Tableaux 3.2.19 et 3.2.20). Les stations de Saint-Marcel, de Saint-Damase, de Saint-Pie, de Brigham (aval) et de Saint-Alphonse (aval) ont toutes des coefficients de stimulation  $\bar{N}$  supérieurs aux coefficients de stimulation  $\bar{P}$ . Ce fait traduit bien l'enrichissement des eaux de la Yamaska, et les distingue de celles de la Saint-François. La comparaison entre valeurs  $\{NTi/PTi\}$  de ces deux bassins met aussi en évidence cette distinction.

Les apports en phosphore d'origines tant urbaines qu'agricoles sont responsables du haut niveau d'enrichissement des eaux (MRN-INRS, 1976b); l'absence de stimulation du potentiel de fertilité aux ajouts de phosphore notée pour les stations de Saint-Marcel, de Saint-Damase, de Brigham (aval), de Saint-Pie et de Saint-Alphonse (aval) témoigne de l'abondance, dans ces eaux, de phosphore disponible (Tableaux 3.2.19 et 3.2.20). Seule la station d'Adamsville fait exception; d'ailleurs les territoires se trouvant en amont de ce site d'échantillonnage sont surtout utilisés à des fins récréatives.

Les grandes quantités de substances nutritives disponibles dans les eaux de ce bassin proviennent de sources ponctuelles et de sources diffuses. L'étude des variations du coefficient de stimulation de croissance de la population d'algues aux ajouts d'azote (Figures 3.2.33 et 3.2.34) et de phosphore (Tableaux 3.2.19 et 3.2.20) nous renseigne sur l'importance relative que prennent ces deux types de sources au cours des saisons. Par exemple, les fortes valeurs de stimulation de croissance observées à l'aide d'ajouts d'azote durant la saison estivale, en période d'étiage, traduisent bien, comme nous l'avons déjà expliqué (section 3.2.2: facteur limitant), la con-

tribution importante de sources ponctuelles à l'enrichissement des eaux (Figures 3.2.33 et 3.2.34). Notons de plus que ce phénomène devient plus évident au cours de l'été 1975 à cause des conditions hydrologiques exceptionnelles rencontrées à cette époque qui provoquèrent des étiages sévères. Enfin, les valeurs maximums des coefficients de stimulation aux ajouts de phosphore se rencontrent surtout durant les périodes de crue (Tableaux 3.2.19 et 3.2.20). Ce comportement suggère la présence de sources diffuses qui ne contribuent de façon significative à l'enrichissement des eaux qu'en périodes de ruissellement, cette contribution étant plus importante pour l'azote que pour le phosphore (*cf.* Tableau 3.2.23).

En résumé, l'analyse des coefficients de stimulation aux ajouts d'azote ou de phosphore permet d'identifier clairement trois types de stations:

- la station en aval de Saint-Alphonse, qui répond surtout à l'effet des sources ponctuelles; l'absence de stimulation aux ajouts de P en témoigne (Tableaux 3.2.19 et 3.2.20);
- la station d'Adamsville, où l'importance des sources diffuses se manifeste par l'absence de stimulation aux ajouts d'azote (Figures 3.2.33 et 3.2.34) et par les fortes valeurs du coefficient de stimulation aux ajouts de phosphore en période de crue (Tableaux 3.2.19 et 3.2.20);
- les stations de Saint-Marcel, Saint-Damase, Brigham (aval) et Saint-Pie, qui répondent selon les saisons à l'impact des sources ponctuelles ou des sources diffuses: l'évolution des coefficients de stimulation aux ajouts d'azote le montre bien (Figures 3.2.33 et 3.2.34).

RESUMEOBSERVATIONS GENERALES

- . Potentiel de fertilité
  - Constitue un bon indice du niveau d'enrichissement des eaux en substances nutritives.
  - Son évolution en fonction du débit met en évidence l'importance relative des sources diffuses et des sources ponctuelles d'éléments nutritifs.
  
- . Coefficient de stimulation
  - Identifie le facteur chimique susceptible de contrôler la production primaire.
  - Son évolution en fonction du débit met en évidence l'importance relative des sources diffuses et des sources ponctuelles d'éléments nutritifs.
  
- . Coefficient de croissance maximale
  - Mesure relativement imprécise.

OBSERVATIONS RELATIVES AUX RIVIERES YAMASKA ET SAINT-FRANCOIS

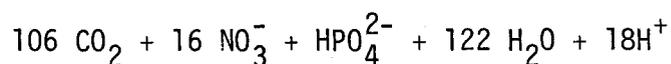
- . Potentiel de fertilité moyen: Yamaska > Saint-François
  
- . Niveau d'enrichissement des eaux:
  - bassin de la rivière Yamaska: *élevé*  
exception: station 03031 E *critique*
  
  - bassin de la rivière Saint-François: *acceptable ou critique*  
exception: station 03021 N *élevé*
  
- . Facteur chimique susceptible de contrôler le plus souvent la production primaire des eaux:
  - bassin de la rivière Yamaska: *azote*  
exception: station 03031 E *phosphore*
  
  - bassin de la rivière Saint-François: *phosphore*
  
- . Nature des sources prédominants d'éléments nutritifs:
  - bassin de la rivière Yamaska: *diffuses* aux mois de printemps et d'automne;  
*ponctuelles* aux mois d'été et d'hiver  
exceptions: station 03031 D }  
                   station 03031 C } *ponctuelles en tout temps*  
                   station 03031 R }  
                   station 03031 E *diffuses* " " "
  
  - bassin de la rivière Saint-François: *diffuses* aux mois de printemps et d'automne;  
*ponctuelles* aux mois d'été et d'hiver  
exceptions: station 03021 N *ponctuelles en tout temps*  
                   station 03021 X *diffuses* " " "

### 3.3 Potentiel autotrophe

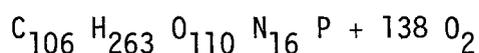
#### 3.3.1 Introduction

Les quatre groupes d'organismes responsables de la production primaire dans les eaux de surface sont le phytoplancton, le périphyton, les macrophytes et les épiphytes. Les macrophytes et les épiphytes se rencontrent généralement en milieu lacustre et sur les rives des rivières dans les zones à faible courant (milieux lenticques). Leur contribution à la production autochtone en rivière est habituellement faible par rapport à la contribution du périphyton, que l'on rencontre généralement dans le rythron d'un cours d'eau, et du phytoplancton, qui est plus universellement répandu. Dans cette étude, nous nous sommes limités à l'évaluation de l'activité phytoplanctonique dans les rivières Yamaska et Saint-François.

L'équation chimique générale qui traduit le phénomène de photosynthèse (Stumm et Morgan, 1970):



↓ énergie;  
↓ éléments traces



suggère que la productivité phytoplanctonique pourrait être suivie soit par un changement de pH, par une assimilation de  $\text{CO}_2$ , d'azote inorganique ou de phosphore inorganique, ou encore par une production d'oxygène ou de matière organique.

Les premières méthodes, basées sur la mesure des variations diurnes de pH, de concentration de carbone inorganique ou de concentration en oxygène dissous, sont difficilement applicables en rivière à cause surtout des échanges rapides du gaz carbonique et de l'oxygène avec l'atmosphère. L'isolation d'échantillons d'eau dans des bouteilles transparentes et opaques contourna

ce problème; cette technique, malgré son manque de sensibilité, connaît une certaine popularité et est encore parfois utilisée pour déterminer la production phytoplanctonique des eaux courantes eutrophes (Kowalczewski et Lack, 1971). La mise au point de la technique d'assimilation du carbone marqué au  $^{14}\text{C}$  (Steeman Nielsen, 1952) améliora de plus de deux ordres de grandeur la sensibilité des mesures et permit d'estimer la productivité primaire des eaux oligotrophes.

L'évaluation de la production annuelle d'un milieu reste quand même une tâche assez laborieuse. Parmi les facteurs à considérer pour déterminer la fréquence des mesures, l'intensité lumineuse est l'un des plus variables. Cette grande variation intrinsèque implique que les mesures soient rapprochées dans le temps, qu'elles couvrent la plus grande partie de la photopériode, que l'intensité lumineuse soit enregistrée et que sa pénétration dans l'eau soit mesurée. De cette façon, la production primaire peut être estimée en interpolant entre les mesures tout en tenant compte du facteur lumière.

Cette approche, très utile pour caractériser le niveau d'eutrophisation d'une eau stagnante et pour évaluer l'importance des apports autochtones en matière organique par rapport aux apports allochtones, n'est cependant pas essentielle pour comparer les eaux d'une station à une autre sur un cours d'eau. Une application simplifiée de la méthode décrite ci-haut permet de comparer les stations les unes par rapport aux autres, et de suivre l'évolution de l'activité phytoplanctonique dans le temps. Cette approche (*potentiel autotrophe*), adoptée lors de cette étude, consiste à placer les échantillons d'eau dans un incubateur où les conditions physiques et chimiques reproduisent le plus fidèlement possible les conditions du milieu sauf en ce qui concerne l'intensité lumineuse, laquelle reste la même pour l'ensemble des stations pendant toute la durée du projet. Cette modification permet d'effectuer des mesures *comparatives* à des intervalles de temps plus longs. Le potentiel autotrophe d'une eau, déterminée selon cette technique, traduit à la fois l'abondance du phytoplancton dans la prise d'essai, son état physiologique, et la disponibilité d'éléments nutritifs ou toxiques dans le milieu.

### 3.3.2 Variations diurnes

Dans le but de vérifier la variabilité diurne et journalière du potentiel autotrophe, deux campagnes intensives de mesures ont été réalisées à deux stations types du bassin de la rivière Yamaska. La première (Adamsville) est une des stations où l'eau est la moins enrichie en substances nutritives; la qualité de l'eau y est surtout influencée par des sources diffuses. Par contre, la deuxième (Saint-Alphonse) est une des stations où l'eau est la plus enrichie en substances nutritives et où l'influence des sources ponctuelles est prédominante. La première campagne intensive a été effectuée en période d'étiage estival (du 7 au 10 juillet 1975) alors que la deuxième a été effectuée en automne (du 27 au 30 octobre 1975). Les résultats de ces campagnes intensives sont présentés dans les Tableaux 3.3.1 (variation diurne) et 3.3.2 (variation journalière). En plus de présenter les valeurs du potentiel autotrophe, ces tableaux présentent les résultats obtenus concurremment pour le potentiel de fertilité (*cf.* la section 3.2.1).

Le Tableau 3.3.1, représenté graphiquement par la Figure 3.3.1, met en évidence un cycle journalier passant par un minimum entre 22.00 h. et 05.00 h. Quant au maximum, il semble se produire généralement en fin d'avant-midi, corroborant ainsi les résultats obtenus par Stross *et al.* (1973) ainsi que par Lorenzen (1963). *Lors des campagnes régulières, la prise de nos échantillons ayant été effectuée entre 10.00 h. et 15.00 h., nous pouvons estimer que la variabilité de nos résultats due au cycle diurne de l'activité autotrophe du phytoplancton est de l'ordre de 50%.*

La comparaison des variations du potentiel autotrophe avec celles du potentiel de fertilité, à la station d'Adamsville en juillet et en octobre (Tableau 3.3.1), suggère que le cycle diurne du potentiel autotrophe est principalement causé par le rythme physiologique intrinsèque des algues (c'est-à-dire une oscillation de leur *potentiel photosynthétique*) plutôt que par des changements de concentration des éléments nutritifs dans le milieu extracellulaire. La première de ces deux hypothèses, citée par Stross *et al.* (1973), est encore confirmée par les mesures effectuées à Saint-Alphonse les 8 et 9

juillet 1975. Quant aux mesures faites à Saint-Alphonse les 28 et 29 octobre 1975, elles ne sont pas en contradiction avec cette hypothèse puisque la baisse d'environ 50% du potentiel autotrophe est beaucoup moins importante que la baisse de l'ordre de 99% du potentiel de fertilité. Cette dernière diminution est plutôt expliquée par l'apparition de substances toxiques dans le milieu (voir la section 3.6). *Ces mesures montrent également que les algues du milieu sont moins sensibles à la présence de substances toxiques que l'espèce cultivée en laboratoire pour effectuer le test de potentiel de fertilité (*Selenastrum capricornutum*).*

### 3.3.3 Variations journalières

Les variations journalières du potentiel autotrophe à Adamsville et à Saint-Alphonse (Tableau 3.3.2) montrent qu'à une même station une mesure effectuée une journée peut être très différente de celle effectuée le lendemain à la même heure; des différences allant jusqu'à un facteur de 4 ont été observées en octobre. Il n'est cependant pas surprenant de mesurer de telles variations, ni de constater de telles différences de comportement entre deux stations, puisque le potentiel autotrophe traduit, comme nous l'avons vu à la section 3.3.1, l'état physiologique du phytoplancton, l'état général du milieu, et la biomasse captée lors de l'échantillonnage. En effet, le phytoplancton présent dans le cours d'eau à la station d'échantillonnage provient de l'amont, et donne ainsi une image qualitative (son état physiologique) et quantitative (sa biomasse) des conditions chimiques et physiques qu'il a rencontrées antérieurement lors de son passage de l'amont vers l'aval.

Etant donné que les deux stations d'échantillonnage se trouvent vers l'amont du bassin versant de la Yamaska et sont de taille réduite (Adamsville, bassin versant = 490 km<sup>2</sup>; Saint-Alphonse, bassin versant = 294 km<sup>2</sup>), on peut s'attendre à ce que le potentiel autotrophe mesuré à ces stations soit plus variable qu'aux stations en aval. En d'autres termes, les fluctuations journalières du potentiel autotrophe observées aux stations d'Adamsville et de Saint-Alphonse (Tableau 3.3.2) représentent probablement des variations maximums par rapport aux autres stations.

### 3.3.4 Evolution saisonnière

Les résultats des déterminations mensuelles du potentiel autotrophe sur les eaux des rivières Yamaska et Saint-François sont présentés dans les Tableaux 3.3.3 à 3.3.6. Les Figures 3.3.2 et 3.3.3, traduisant les résultats inscrits dans ces tableaux, montrent l'évolution temporelle du potentiel autotrophe à chaque station d'échantillonnage. A l'examen des résultats, on peut noter qu'en dépit de sa variabilité diurne et journalière (sections 3.3.2 et 3.3.3), le potentiel autotrophe suit un cycle saisonnier. Comme le montrent les Figures 3.3.2 et 3.3.3, les valeurs du potentiel autotrophe passent par un maximum pendant l'été (mois de mai ou juin jusqu'en septembre ou octobre selon la station) et par un minimum durant l'hiver. Les valeurs minimums observées en hiver sont assez uniformes, alors que les valeurs estivales sont élevées et plutôt variables. La gamme maximum de variation saisonnière était de  $< 0.5$  à  $85 \mu\text{g C l}^{-1}\text{h}^{-1}$  en 1974 (Rivière Yamaska, station de Saint-Marcel) et de  $< 0.5$  à  $730 \mu\text{g C l}^{-1}\text{h}^{-1}$  en 1975 (Rivière Yamaska, station de Saint-Alphonse).

Pour fins de comparaison, le Tableau 3.3.7 regroupe des valeurs représentatives de la productivité du phytoplancton dans divers milieux. En 1974, les valeurs maximums observées pour le potentiel autotrophe étaient comparables aux valeurs de production primaire mesurées dans la zone euphotique de lacs tempérés (*cf.* Berman et Eppley, 1974), mais inférieures à celles citées dans la littérature pour les eaux courantes. En 1975, par contre, une nette augmentation du potentiel autotrophe s'est produite à certaines stations et les valeurs maximums observées étaient comparables ou même parfois supérieures à celles citées pour la Tamise (Kowalczewski et Lack, 1971) et le Dniepr (Sivko *et al.*, 1972). Cette augmentation se manifeste à toutes les stations dans le bassin versant de la rivière Yamaska, sauf à la station d'Adamsville où les valeurs mesurées en 1975 sont semblables à celles obtenues en 1974 (voir la section 3.3.4). Quant aux valeurs maximums du potentiel autotrophe déterminées en 1974 et 1975 aux stations dans le bassin de la Saint-François, elles sont comparables pour les deux années sauf aux stations de Bromptonville et de Richmond, où elles sont légèrement supérieures en 1975.

Avant de considérer l'évolution longitudinale du potentiel autotrophe, il importe de souligner que son évolution saisonnière ne peut être expliquée par des fluctuations de concentration ou de disponibilité des substances nutritives. Au contraire, les mesures du potentiel de fertilité (section 3.2) suivent généralement un cycle annuel passant par un *maximum* en hiver, démontrant ainsi une *augmentation* de la concentration en substances nutritives disponibles durant cette saison d'activité planctonique réduite. Ces observations nous portent à croire que dans des eaux aussi chargées en substances nutritives que celles des rivières Yamaska et Saint-François, le potentiel autotrophe reflète plutôt l'abondance du phytoplancton dans la prise d'essai et son état physiologique. D'ailleurs, le facteur limitant *in situ* le développement du phytoplancton dans ces eaux courantes semble être *physique* (ex.: température, turbidité, turbulence, vitesse de courant) plutôt que chimique; en effet, les organismes photoautotrophes n'arrivent pas à priver le milieu en azote ou en phosphore. En considérant l'évolution longitudinale du potentiel autotrophe, il faudra donc tenir compte de l'évolution de ces facteurs.

### 3.3.5 Evolution longitudinale

En plus d'une variation saisonnière, on constate une évolution longitudinale du potentiel autotrophe de l'amont vers l'aval. Cette évolution résulte des apports allochtones en substances nutritives ou toxiques que reçoit la rivière et des transformations que subissent ces divers apports. La vitesse de transformation de ces apports dépend, en grande partie, des caractéristiques physiques du cours d'eau et des conditions hydrométéorologiques rencontrées sur le bassin.

#### *Rivière Yamaska*

Considérons d'abord les résultats obtenus en 1974 pour le bassin versant de la rivière Yamaska. Sur la Figure 3.3.2, on remarque que les valeurs du potentiel autotrophe observées aux stations de Saint-Alphonse (aval), d'Adamsville et de Brigham (aval) sont semblables et peu élevées. Remarquons que ces trois stations se trouvent dans la partie supérieure du bassin; peu en aval des points d'échantillonnage, les trois tributaires confluent pour for-

mer le cours principal de la Yamaska, lequel parcourt ensuite une zone de pente peu accentuée jusqu'à son confluent avec le fleuve Saint-Laurent. En comparant la station de Saint-Damase à celles situées en amont (Saint-Alphonse, Adamsville, Brigham), on note qu'une augmentation considérable du potentiel autotrophe se produit dans cette zone. Comme causes possibles de cette augmentation, on peut noter d'une part le changement des conditions physiques du milieu (vitesse de courant ralentie, turbulence et turbidité plus faibles, etc.) et d'autre part la distance qu'a parcourue la rivière à partir des villes situées en amont<sup>1</sup>. La comparaison des stations de Saint-Pie et de Saint-Damase permet d'évaluer les importances respectives de ces deux facteurs.

Les caractéristiques physiographiques des sous-bassins versants des deux tronçons sont semblables, mais l'utilisation du territoire y est différente. La densité des apports agricoles est comparable dans les deux sous-bassins (Yamaska:  $3,600 \text{ kg N km}^{-2}\text{an}^{-1}$ ,  $1,000 \text{ kg P km}^{-2}\text{an}^{-1}$ ; Noire:  $4,000 \text{ kg N km}^{-2}\text{an}^{-1}$ ,  $1,100 \text{ kg P km}^{-2}\text{an}^{-1}$ ), alors que celle des apports d'origine urbaine est nettement supérieure dans le sous-bassin de la Yamaska (MRN-INRS, 1976b). Sur la Figure 3.3.2, on constate que le potentiel autotrophe observé sur la Yamaska à Saint-Damase est de beaucoup supérieur à celui que l'on trouve sur la Noire à Saint-Pie. On est porté à attribuer cette différence marquée du potentiel autotrophe à la présence d'importantes sources ponctuelles de substances nutritives dans l'amont du bassin versant de la Yamaska (ex.: les villes de Granby, Cowansville, Farnham).

---

<sup>1</sup>

Ce dernier facteur laisse supposer soit une minéralisation plus complète de la matière organique déversée en amont sous forme d'effluents urbains (c'est-à-dire une disponibilité accrue d'éléments nutritifs minéraux), et un développement important du phytoplancton, soit une atténuation d'effets toxiques liés au rejet d'eaux résiduares industrielles.

Sur ce sujet, il est intéressant de noter que *les valeurs du potentiel de fertilité observées en été à ces deux stations ne montrent pas de différences marquées* (voir les Tableaux 3.2.5 et 3.2.6B). L'évolution longitudinale du potentiel de fertilité dans le sous-bassin de la Yamaska en amont de Saint-Damase est cependant très différente de celle dans le sous-bassin de la Noire: l'enrichissement des eaux de la Yamaska se produit surtout dans l'amont du bassin (sources ponctuelles), tandis que la fertilisation des eaux de la Noire se produit progressivement de l'amont vers l'aval. Il en résulte que les valeurs de *potentiel de fertilité* mesurées à Saint-Pie sont semblables à celles déterminées à Saint-Damase. Les différences importantes en *potentiel autotrophe* traduiraient donc la présence d'une population plus abondante de phytoplancton dans les eaux de la Yamaska que dans celles de la Noire. Le développement de cette population importante de phytoplancton s'expliquerait par la distance que parcourt la rivière Yamaska à partir des sources ponctuelles d'éléments nutritifs situées dans l'amont du bassin, et par le temps de parcours que connaît l'eau entre cette zone d'enrichissement et la station de Saint-Damase en aval.

Par ailleurs, le comportement du potentiel autotrophe sur le bassin de la rivière Yamaska est complètement différent pour la période estivale de 1975; signalons que cette période fut beaucoup plus sèche que la période comparable en 1974 (Tableau 3.3.8). Cette différence de comportement est surtout remarquable pour le sous-bassin de la rivière Yamaska-Nord (région de Granby) représenté par la station de Saint-Alphonse. En effet, cette station avait en 1974 un comportement semblable à ceux observés aux deux autres stations situées dans la partie supérieure du bassin (Adamsville et en aval de Brigham). Par contre, en 1975 on y a observé le taux de production potentielle le plus élevé des bassins des rivières Yamaska et Saint-François. Il est évident que les faibles débits d'étiage estival enregistrés en 1975 sur le tronçon Yamaska-Nord ont très peu dilué les rejets domestiques et industriels de la ville de Granby. Ils ont également eu pour effet d'augmenter considérablement le temps de parcours de l'eau entre Granby et Saint-Alphonse.

Comme il a déjà été mentionné, cette augmentation du potentiel autotrophe de 1974 à 1975 se fait aussi sentir à toutes les stations sur le bassin

de la rivière Yamaska sauf à la station d'Adamsville, cette dernière étant la station la moins influencée par des apports urbains en substances nutritives. L'augmentation est beaucoup plus marquée pour les stations situées dans la partie supérieure du bassin que pour les stations situées en aval. Il s'en suit que l'ordre croissant du potentiel autotrophe de l'amont vers l'aval, tel qu'observé durant l'été 1974, est renversé en 1975. Ce déplacement vers l'amont de la zone d'activité autotrophe intense est vraisemblablement lié à la diminution des débits et à l'augmentation concomitante du temps de parcours de l'eau: en 1975, les processus de minéralisation de la matière organique allochtone se sont déroulés sur une distance relativement courte, libérant ainsi, dans des eaux presque stagnantes, des quantités appréciables d'éléments nutritifs sous formes inorganiques. L'assimilation de ces éléments nutritifs par le phytoplancton, et le développement d'une importante population d'algues dans le cours supérieur de la rivière, ont donc été favorisés en 1975. D'autre part, le temps de parcours de l'eau étant plus court en 1974, la zone d'activité autotrophe maximum s'est déplacée vers le cours inférieur de la rivière, et les valeurs de potentiel autotrophe observées avant le confluent de la rivière Yamaska et du fleuve Saint-Laurent sont réduites.

Les valeurs estivales du potentiel de fertilité, mesurées en 1974 et encore en 1975 aux stations d'échantillonnage spéciales, ne montrent pas d'évolution longitudinale comparable à celle observée pour le potentiel autotrophe. En effet, seule la station d'Adamsville se différencie nettement des autres, ayant des valeurs du potentiel de fertilité inférieures à celles rencontrées ailleurs sur le bassin (section 3.2.3). Cette différence marquée entre le potentiel autotrophe et le potentiel de fertilité confirme l'hypothèse que l'évolution longitudinale du potentiel autotrophe ne dépend pas de changements de concentration d'éléments nutritifs disponibles, *à condition que ces concentrations demeurent supérieures à un certain seuil*, mais plutôt de facteurs physiques (section 3.3.4). Comme complément à cette argumentation, mentionnons qu'à ces mêmes stations, le potentiel de fertilité estival a augmenté d'un facteur de 1.5 à 2 entre 1974 et 1975, tandis que le potentiel autotrophe a connu une hausse beaucoup plus grande (de 2 à 18x) pour la même période.

*Rivière Saint-François*

Pour la rivière Saint-François, on note également une augmentation progressive du potentiel autotrophe de l'amont vers l'aval pour la période estivale de 1974, quoique moins prononcée que dans le cas de la rivière Yamaska (comparer les Figures 3.3.2 et 3.3.3). Pour la période estivale de 1975, le même phénomène se produit sur un parcours plus court, de telle sorte que les valeurs maximums enregistrées sur le tronçon principal le sont à Richmond plutôt qu'à Pierreville.

A l'examen de la Figure 3.3.3, trois classes de stations, ou types de comportement, se dégagent. Considérons d'abord les deux stations sur le cours supérieur du tronçon principal de la rivière (Saint-Gérard et Lennoxville). Relativement peu influencées par les apports domestiques ou industriels en éléments nutritifs, ces stations se distinguent par de faibles valeurs du potentiel autotrophe. Tout comme à la station d'Adamsville dans le bassin de la rivière Yamaska, le cycle annuel du potentiel autotrophe semble varier peu d'une année à l'autre. Signalons, cependant, que le débit de ce tronçon de la rivière Saint-François est partiellement régularisé par le barrage Girouard (sortie du lac Saint-François) et, à un degré moindre, par le barrage Aylmer (sortie du lac Aylmer), ce qui minimise les différences hydrologiques interannuelles (voir le Tableau 3.3.9).

Les stations de Massawippi et de la rivière Magog forment un deuxième groupe. Il s'agit toujours de stations situées dans le haut du bassin, mais elles se distinguent des stations du premier groupe par des valeurs de potentiel autotrophe beaucoup plus élevées (voir la Figure 3.3.3). Situées en aval de lacs naturels importants (lac Massawippi; lacs Magog et Memphrémagog), les stations de Massawippi et de la rivière Magog sont fortement influencées par la qualité de l'eau de ceux-ci, surtout en ce qui concerne le phytoplancton. En effet, pendant la période de stratification estivale les eaux d'hypolimnion servent comme source importante de phytoplancton et assurent un ensemencement continu de la rivière. Les valeurs élevées de potentiel autotrophe observées aux stations en aval traduiraient donc la présence de populations importantes d'organismes photo-autotrophes, cette présence étant attribuable enco-

re une fois à la rencontre de conditions physiques propices plutôt qu'à un enrichissement prononcé de l'eau de la rivière. Par ailleurs, l'examen des valeurs de potentiel de fertilité observées aux quatre stations (Saint-Gérard, Lennoxville, Massawippi, rivière Magog) ne permet pas de distinguer les deux groupes de stations identifiés ici.

Le troisième groupe de stations comprend celles de Bromptonville, de Richmond et de Pierreville, toutes situées en aval de la ville de Sherbrooke sur le tronçon principal de la Saint-François. Se trouvant en aval des confluent de tous les tributaires majeurs, et aussi de la plus grande ville dans le bassin versant, ce tronçon de la rivière se comporte comme une conduite presque isolée, au moins en ce qui concerne les substances nutritives. A la station de Bromptonville, l'eau de la rivière représente donc une intégration de tout ce qui s'est passé dans l'amont du bassin (c'est-à-dire une pondération des stations de Lennoxville, de Massawippi et de la rivière Magog); les changements observés en aval aux stations de Richmond et de Pierreville traduisent surtout les transformations subies *in situ* par les substances nutritives, plutôt que les effets de sources allochtones. En effet, comme il a déjà été mentionné, on note une augmentation du potentiel autotrophe en aval de Bromptonville: pendant l'été 1974, les valeurs maximums du potentiel autotrophe se manifestent à Pierreville, alors qu'en 1975, elles se montrent à Richmond. Comme le montre le Tableau 3.3.9, les débits d'étiage en 1975 étaient inférieurs à ceux enregistrés l'année précédente, ce qui avait pour effet d'accroître le temps de parcours de l'eau et de déplacer vers l'amont la zone d'activité photo-autotrophe maximale. Cette observation vient appuyer l'hypothèse que l'évolution longitudinale du potentiel autotrophe, dans un cours d'eau sujet à des sources ponctuelles d'éléments nutritifs, soit fortement influencée par des facteurs physiques tels que le temps de parcours de l'eau depuis la source d'enrichissement (ex.: Sherbrooke).

RESUMEOBSERVATIONS GENERALES

- . Cycle diurne du potentiel autotrophe se manifeste (maximum 11.00 - 15.00 h; minimum 22.00 - 05.00 h).
- . Variations journalières du potentiel autotrophe sont importantes (coefficient de variation → 60% pour quatre jours consécutifs).
- . Cycle saisonnier du potentiel autotrophe se manifeste (maximum en été; minimum en hiver).
- . Variations spatiales du potentiel autotrophe reflètent l'abondance de phytoplancton dans la prise d'essai et son état physiologique plutôt que des fluctuations de concentration ou de disponibilité des substances nutritives au point d'échantillonnage.
- . Potentiel autotrophe s'avère particulièrement sensible aux conditions physiques dans le cours d'eau (temps de parcours de l'eau, vitesse de courant, turbulence, turbidité, température).

OBSERVATIONS RELATIVES AUX RIVIERES YAMASKA ET SAINT-FRANCOIS

- . Facteur limitant *in situ* le développement du phytoplancton dans ces rivières semble être physique plutôt que chimique.
- . Potentiel autotrophe moyen: Yamaska > Saint-François
- . Potentiel autotrophe moyen: 1974 < 1975  
Débits d'étiage : 1974 < 1975
- . Singularités dans le bassin de la rivière Yamaska
  - potentiel autotrophe élevé: station 03031 D (1975)  
station 03031 B (1974, 1975)  
station 03030 Z (1974, 1975)
  - potentiel autotrophe faible: station 03031 E (1974, 1975)
- . Singularités dans le bassin de la rivière Saint-François
  - potentiel autotrophe élevé: station 03021 U (1974, 1975)  
station 03021 R (1975)  
station 03021 P (1974, 1975)  
station 03021 L (1974, 1975)
  - potentiel autotrophe faible: station 03021 Z (1974, 1975)  
station 03021 V (1974, 1975)

### 3.4 Potentiel hétérotrophe (assimilation de glucose uniformément marqué au $^{14}\text{C}$ )

Le traitement mathématique des résultats bruts permet de déterminer le *mode d'assimilation* (transport actif ou diffusion) du glucose par le plancton et d'estimer le *temps de renouvellement* du glucose dans le milieu. De plus, le *pourcentage de respiration moyen* est calculé pour chaque concentration de glucose ajouté.

En effet, les mesures d'assimilation du glucose, effectuées à différentes concentrations de glucose ajouté, nous permettent de déterminer le mode d'assimilation du glucose. Lorsque l'assimilation se fait par transport actif dans un milieu où la concentration de glucose est suffisamment élevée et la population de micro-organismes hétérotrophes est peu diversifiée (Williams, 1970), le temps de renouvellement du glucose ( $t/f$ ) augmente linéairement en fonction de la concentration de glucose ajouté ( $S_a$ ). L'équation de Michaelis-Menten, modifiée par Wright et Hobbie (1966), explique bien le phénomène:

$$\frac{t}{f} = \frac{K_t + S_n + S_a}{V_m} \quad (3.4.1)$$

où  $t$  est la durée de l'incubation;  $f$  est la fraction assimilée du glucose radioactif ajouté;  $K_t$  est la constante d'assimilation;  $S_n$  est la concentration naturelle du glucose;  $S_a$  est la concentration de glucose ajouté et  $V_m$  est la vitesse maximale d'assimilation. En portant sur graphique les valeurs de  $t/f$  en fonction de la concentration de glucose ajouté (voir la Figure 3.4.1-A) on obtient une droite de pente positive égale à  $1/V_m$ ; l'abscisse à l'origine est négative et égale (en valeur absolue) à  $(K_t + S_n)$  alors que l'ordonnée à l'origine est positive et donne le temps de renouvellement du glucose à sa concentration naturelle (que nous dénoterons par  $T$ ).

D'autre part, lorsque l'assimilation du glucose se fait par diffusion, la vitesse d'assimilation ( $v_a$ ) augmente linéairement en fonction de la concentration totale de glucose ( $S_n + S_a$ ) dans le milieu:

$$v_a = k_d (S_n + S_a) = v_{S_n} + v_{S_a} \quad (3.4.2)$$

où  $k_d$  est une constante de diffusion. La vitesse d'assimilation du glucose ajouté peut-être calculée à partir de valeurs connues ou mesurées:

$$v_{S_a} = \frac{f}{t} \cdot S_a \quad (3.4.3)$$

Par contre, la vitesse d'assimilation du glucose présent dans le milieu naturel ne peut être calculée sans mesurer  $S_n$ , sa concentration dans le milieu:

$$v_{S_a} = \frac{f}{t} \cdot S_n \quad (3.4.4)$$

Par ailleurs, en portant sur graphique  $v_{S_a}$  en fonction de  $S_a$  (voir la Figure 3.4.1-B) nous obtenons une droite passant par l'origine et ayant une pente égale à  $f/t$ . L'inverse de la pente ( $t/f$ ) est le temps de renouvellement du glucose à sa concentration naturelle dans le milieu.

Il est intéressant de noter que, quel que soit le mode d'assimilation du glucose par les micro-organismes hétérotrophes, on peut calculer le temps de renouvellement du glucose ( $T$ ) à sa concentration naturelle dans le milieu. Nous avons donc traité les résultats bruts selon les deux modes d'assimilation et choisi celui qui donnait le meilleur coefficient de corrélation, à condition que la pente soit significativement différente de zéro (test de Student).

### 3.4.1 Mode d'assimilation du glucose

Les Tableaux 3.4.1 et 3.4.2 présentent le mode d'assimilation du glucose observé aux stations spéciales des rivières Yamaska et Saint-François pendant la durée du projet. Aucune variation annuelle systématique ne se dessine pour l'ensemble des stations. Par contre, des différences nettes sont enregistrées d'une station à une autre en ce qui concerne l'incidence du mode d'assimilation par transport actif (Figure 3.4.2). Sur cette figure, on note que l'assimilation du type Michaelis-Menten n'est que rarement observée en aval d'un important rejet d'eaux résiduaires urbaines (ex.: la station de Saint-Alphonse en aval de Granby, et celle de Bromptonville en aval de Sherbrooke). L'incidence de ce type d'assimilation croît à mesure que l'on s'éloigne d'un tel rejet (rivière Yamaska: Saint-Alphonse < Saint-Damase < Saint-Marcel; rivière Saint-François: Bromptonville < Richmond < Pierreville). D'autre part, aux stations

les moins influencées par les apports municipaux (Saint-Gérard, Lennoxville et Adamsville), l'incidence du comportement de type Michaelis-Menten est beaucoup plus forte.

Deux hypothèses pourraient expliquer la prédominance du comportement de type diffusion aux stations fortement influencées par des rejets municipaux. La première hypothèse est que la présence de substances toxiques (ex.: métaux traces) dans ces eaux inhiberait le système enzymatique de transport actif chez les micro-organismes (Albright et Wentworth, 1973). Cette hypothèse ne semble pas expliquer la prédominance du comportement de type diffusion à certaines stations puisque les concentrations les plus élevées en métaux traces (qui sont quand même faibles par rapport aux normes acceptables; MRN-INRS, 1976a) ont été mesurées à la station de Saint-Gérard où la plus faible incidence du comportement de type diffusion fut notée.

La seconde hypothèse, qui nous semble beaucoup plus plausible, veut qu'en aval d'importants rejets domestiques (lesquels constituent des sources importantes de matière organique biogénétique), la microflore hétérotrophe se trouve dans un milieu très riche en matière organique labile, notamment en monomères directement assimilables, tels que le glucose. Dans un milieu pareil, le transport par diffusion suffirait à nourrir les micro-organismes hétérotrophes, et ils n'auraient pas besoin d'un système de transport actif. En d'autres termes, le système de perméase impliqué dans le transport actif du glucose, un système non pas constitutif mais inductible, ne serait pas opérationnel. Cet effet s'atténuerait progressivement en aval du point de rejet, à mesure que le milieu s'appauvrit en substances organiques labiles.

#### 3.4.2 Temps de renouvellement du glucose

Le temps de renouvellement d'un substrat donné dépend à la fois de la vitesse de son assimilation (c'est-à-dire, notamment, du nombre de micro-organismes l'assimilant et de leur état physiologique) et de sa concentration naturelle ( $S_n$ ) dans le milieu. Cette double dépendance rend plus délicate l'interprétation de ce paramètre. En effet, un temps de renouvellement plus long pourrait signifier une activité hétérotrophe plus faible (diminution du nombre de micro-organismes hétérotrophes ou présence de conditions inhibitri-

ces). Par contre, une telle observation pourrait également signifier une augmentation de la concentration du substrat dans le milieu.

En examinant les Tableaux 3.4.3 et 3.4.4 de même que les Figures 3.4.3 et 3.4.4, on discerne, pour l'année 1974, une évolution saisonnière plus ou moins marquée à toutes les stations: les valeurs de T passent par un minimum durant les mois d'été (juin à août) et remontent ensuite vers un maximum hivernal. En 1975, les variations du temps de renouvellement du glucose observées aux différentes stations suivent sensiblement le même cycle que celui de 1974, si l'on exclut les mois exceptionnellement secs de juillet et août. En effet, à presque toutes les stations des rivières Yamaska et Saint-François, on observe une augmentation de T durant ces deux mois. Aux stations de la rivière Yamaska, cette augmentation est à peine perceptible dans l'amont du bassin (stations de Saint-Alphonse (aval) et d'Adamsville) mais devient de plus en plus importante à mesure que l'on se déplace vers l'aval. Il s'en suit que durant cette période (juillet et août 1975), la plus grande valeur de T est observée à la station de Saint-Marcel. Par contre, aux stations de la rivière Saint-François le phénomène inverse se produit: les plus grandes augmentations de T, pour la période de juillet à août 1975, ont été mesurées à la station le plus en amont du bassin (Saint-Gérard) alors que cette augmentation s'atténue à mesure que l'on se déplace vers l'aval.

L'amplitude du cycle annuel du temps de renouvellement varie peu d'une station à l'autre sauf pour les stations le plus en aval de chacune des deux rivières (stations de Saint-Marcel et de Pierreville) où l'on observe les variations annuelles les moins importantes. D'ailleurs, les temps de renouvellement moyens les plus courts sont également observés à ces stations situées près des embouchures (voir les Tableaux 3.4.3 et 3.4.4). Les gammes maximums de variation saisonnière (de 59 à 2960 heures pour l'année 1974 et de 673 à 8080 heures pour l'année 1975) ainsi que les temps de renouvellement moyens les plus longs (624 heures pour l'année 1974 et 2443 heures pour l'année 1975) sont observés dans l'amont du bassin de la rivière Saint-François, à la station de Saint-Gérard située à l'exutoire du lac Aylmer. Cette tendance à diminuer de l'amont vers l'aval n'est cependant pas rigoureusement respectée à tous les mois: comme on le voit sur les Figures 3.4.3 et 3.4.4, le classement des stations d'échantillonnage varie d'un mois à l'autre.

Les valeurs du temps de renouvellement du glucose observées durant cette étude sont moyennes si on les compare à celles trouvées par d'autres chercheurs: des durées inférieures à 0.5 h. ont été mesurées dans un étang pollué et dans l'estuaire du Pamlico (Crawford *et al.*, 1974) alors qu'en hiver, dans des lacs oligotrophes, le temps de renouvellement du glucose peut dépasser 5000 h. En ce qui concerne les eaux courantes, il existe beaucoup moins de données: à titre d'exemple, citons la gamme de 2 à 600 h. observés à différentes stations le long du fleuve Fraser (Albright et Wentworth, 1973). Dans cette dernière étude, les auteurs préconisent l'emploi de T comme indice inverse de l'eutrophication, les eaux polluées étant caractérisées par des temps de renouvellement courts. Puisque, d'une part, le temps de renouvellement ( $T = S_n/v_a$ ) dépend à la fois de  $S_n$  et de  $v_a$ , et que, d'autre part, on ne connaît pas la variabilité de  $S_n$  dans les eaux des rivières Yamaska et Saint-François, une telle application dans le présent cas ne nous semble pas justifiable.

### 3.4.3 Fraction de glucose respirée

La fraction du substrat qui est respirée pour satisfaire aux exigences énergétiques des micro-organismes assimilateurs,  $\{R/(I+R)\}$  ou  $\{R/A\}$ , nous renseigne sur l'état physiologique des organismes responsables de l'assimilation (Wood, 1973) de même que sur leurs besoins nutritifs (Williams, 1970). Dans la présente étude, le rapport  $\{R/A\}$  a été déterminé mensuellement pour le glucose- $U-^{14}C$  à chacune des concentrations étudiées. Comme ce rapport s'avère indépendant de la concentration de glucose ajoutée (*cf.* Hobbie et Crawford, 1969a), on considèrera dans ce qui suit le pourcentage moyen de respiration, calculé à partir de l'ensemble des essais individuels.

#### *Evolution longitudinale*

Pour la période étudiée (de mars 1974 à novembre 1975), le pourcentage moyen de glucose respiré varie de 47% (Pierreville) à 63% (Saint-Alphonse). Comme le montrent les Tableaux 3.4.5 et 3.4.6, cette dernière station se distingue des autres stations, auxquelles on note un pourcentage moyen de respiration voisin de 50 (de 46 à 53% selon la station, quel que soit le bassin versant considéré). Cependant, vu le grand coefficient de variation que présente le pourcentage de respiration (voir les Tableaux 3.4.5 et 3.4.6),

cette différence n'est pas statistiquement significative. En effet, selon une analyse de variance à deux critères (mois-station: voir l'Annexe 7), il n'est pas possible, sur une base annuelle, de mettre en évidence des différences entre les stations; pour chaque bassin versant, il y a égalité des moyennes calculées pour chacune des stations. D'autre part, cette analyse a montré qu'il existait des différences significatives entre les mois; les moyennes calculées sur l'ensemble des stations pour les mois différents ne sont pas toutes égales.

Suite à cette observation, et dans le but de comparer les stations entre elles, une analyse de variance à un critère a été effectuée pour chaque campagne de prélèvement. Les résultats de cette analyse sont présentés dans les Tableaux 3.4.7 (rivière Yamaska) et 3.4.8 (rivière Saint-François). Pour chaque campagne de prélèvement, les stations sont rangées par ordre croissant du pourcentage de respiration; les parenthèses dénotent les regroupements possibles de stations pour lesquelles les pourcentages de respiration peuvent être considérés égaux (Annexe 7: test de Scheffe). A l'examen de ces tableaux, on note que dans chaque bassin versant l'ordre des stations varie d'un mois à l'autre<sup>1</sup>. En tenant compte du classement des stations à chaque campagne de prélèvement, on peut calculer un *rang moyen* pour chaque station (Tableau 3.4.9). Si le classement des stations variait de façon aléatoire d'un mois à l'autre, chaque station aurait un rang moyen voisin de 3.5 (c'est-à-dire  $\{ 1+2+3+4+5+6 \} \div 6$ ). Ce calcul de rang peut être raffiné en tenant compte des regroupements de stations ayant des pourcentages de respiration égaux (c'est-à-dire les regroupements indiqués dans les Tableaux 3.4.7 et 3.4.8); un tel calcul, dont les détails se trouvent dans l'Annexe 7, a conduit aux *rangs pondérés moyens* qui figurent, eux-aussi, dans le Tableau 3.4.9. La comparaison de ces rangs devait permettre de mieux différencier les stations les unes des autres. En effet, les écarts entre stations mis en évidence par cette approche sont plus grands que ceux qui découlent de la comparaison des pourcentages moyens de respiration (comparer le Tableau 3.4.9 (rangs moyens) aux Tableaux 3.4.7 et 3.4.8 (pourcentages moyens)). Cependant, l'analyse statistique (Annexe 7: test de Friedman)

<sup>1</sup> Cette observation implique que l'égalité des moyennes mise en évidence par la première analyse de variance (à deux critères) n'est pas due seulement à la grande variabilité temporelle du pourcentage de respiration, mais aussi au fait que le classement des stations varie d'une campagne à l'autre.

montre de nouveau que ces écarts ne sont pas significatifs. En d'autres termes, *ni la comparaison des pourcentages moyens de respiration, ni le calcul des rangs moyens, ne permet de discriminer entre les stations.* Le pourcentage de respiration s'avère donc très variable dans le temps, mais relativement peu variable dans l'espace. Rappelons que des différences importantes d'utilisation du territoire existent à l'intérieur de chaque bassin (MRN-INRS, 1976b). L'absence de différences spatiales persistantes pour le pourcentage moyen de respiration implique donc que *ce paramètre est peu sensible à l'impact des activités humaines sur les eaux de rivière.*

#### *Evolution temporelle*

Comme il a déjà été mentionné, la fraction de glucose respirée à une station donnée n'est pas constante mais fluctue beaucoup avec le temps (*cf.* Crawford *et al.*, 1974). L'examen des Figures 3.4.5 et 3.4.6 suggère que la variation temporelle du pourcentage de respiration est semblable à plusieurs stations d'échantillonnage. Afin de vérifier ce point, des coefficients de corrélation ont été calculés en comparant les stations entre elles. Les résultats de ce calcul, présentés dans le Tableau 3.4.10, confirment que le pourcentage de respiration varie de manière semblable à toutes les stations. De tels liens entre stations existent dans les deux bassins versants, que les stations considérées soient rapprochées l'une de l'autre ou non. Cette observation laisse supposer qu'un facteur autre que la "qualité de l'eau" intervient, lequel influencerait sur le pourcentage de respiration à toutes les stations sans égard pour leur localisation géographique. Comme évidence de ce genre de relation, mentionnons la forte corrélation ( $r = 0.96$ ) entre les valeurs du pourcentage de glucose respiré obtenues aux stations de Saint-Marcel (rivière Yamaska) et de Pierreville (rivière Saint-François).

Si cette similitude de comportement était imposée par un facteur physique de l'environnement (ex.: température, ensoleillement, débit), on s'attendrait à ce qu'un cycle saisonnier se manifeste. Bien qu'en 1974 un cycle annuel ne se dessine généralement pas clairement, il existe, dans l'ensemble, une tendance vers des pourcentages de respiration plus élevés vers la fin de l'hiver et au début du printemps. En 1975, le cycle annuel est mieux défini avec un maximum élevé en juillet ou août, généralement précédé par la même

hausse printannière (avril) que celle observée en 1974. Il semble qu'en 1975, l'étiage estival prononcé ait eu pour effet de provoquer une augmentation de la fraction de glucose respirée.

### *Conclusions*

La comparaison des résultats obtenus dans le présent projet avec ceux observés par d'autres chercheurs (voir le Tableau 3.4.11) révèle une différence importante: les pourcentages de respiration observés dans les eaux des rivières Yamaska et Saint-François sont nettement plus élevés que ceux trouvés jusqu'à présent. En examinant le Tableau 3.4.11, on constate que seules les valeurs obtenues par Herbland et Bois (1974) dans l'océan Atlantique au large de la Mauritanie se rapprochent des nôtres.

Il a été suggéré par Williams (1970) que la fraction de glucose respirée serait maximum si le glucose servait comme seule source de carbone pour les micro-organismes présents (comme cela peut-être le cas dans une expérience de laboratoire). Dans le milieu naturel, en présence d'un grand nombre de substrats organiques, les besoins énergétiques des micro-organismes diminueraient (moins de biosynthèses à accomplir), et la fraction de glucose respirée diminuerait également. Signalons que nos résultats ne sont pas en accord avec cette hypothèse car on observe, même en été dans un milieu riche en substances organiques d'origine allochtone, de forts pourcentages de respiration.

Dans une étude des effets de pollution urbaine dans le port de Toronto, Wood (1973) a noté que la fraction de glucose respirée par la population microbienne naturelle était plus élevée (%R  $\rightarrow$  45%) aux stations proches des émissaires d'égout que dans les zones éloignées (%R  $\sim$  18%). Comme explication, Wood suggère que le pourcentage de respiration devrait monter à mesure que le stress physiologique sur la population microbienne augmente. Les résultats du présent projet ne semblent pas appuyer cette hypothèse: par exemple, à deux stations aussi différentes que celles d'Adamsville et de Saint-Alphonse (aval), les pourcentages moyens de respiration sont statistiquement équivalents (voir ci-haut). De plus, signalons que les pourcentages de respiration observés par Wood, même aux stations les plus influencées par le rejet d'eaux résiduaires, sont nettement inférieures aux valeurs maximums observées dans la présente étude. Il faut cependant souligner que son étude por-

tait sur un milieu lacustre, et qu'elle ne couvrait que les mois d'été (température de l'eau: 7-20°C).

Une troisième hypothèse veut qu'en période de croissance exponentielle, les micro-organismes utilisent la plus grande partie du substrat afin d'augmenter leur biomasse (formation de matériel cellulaire); dans de telles circonstances le pourcentage de respiration serait minimum. Par contre, en période de latence ou de respiration endogène, les micro-organismes utiliseraient la plus grande partie du substrat comme source d'énergie, et le pourcentage de respiration atteindrait un maximum (Dawes et Ribbons, 1964). Selon cette hypothèse, la baisse automnale de la température ambiante, en provoquant un ralentissement général de l'activité biologique et une diminution concomitante du taux de croissance bactérienne, entraînerait une augmentation du pourcentage de respiration. Comme le montrent les Figures 3.4.5 et 3.4.6, cependant, une telle augmentation ne se produit pas; les plus fortes valeurs du pourcentage de respiration sont observées plutôt en été durant les mois de faibles débits. Cette observation n'est vraisemblablement pas en accord avec l'hypothèse énoncée plus haut.

En conclusion, aucune des trois hypothèses avancées pour expliquer les fortes valeurs du pourcentage de respiration et ses variations saisonnières ne semble adéquate. Cette variabilité est indépendante des activités humaines se déroulant dans le bassin versant, et par conséquent le pourcentage de respiration s'avère peu utile comme paramètre pour mettre en évidence l'impact de ces activités sur les eaux du bassin.

#### 3.4.4 Variations diurne et journalière des divers paramètres.

La variabilité temporelle du potentiel hétérotrophe a été étudiée surtout dans des lacs (ex.: Hobbie, 1967; Hobbie et Wright, 1968) ou des estuaires (ex.: Crawford *et al.*, 1974). L'examen des résultats dans la littérature suggère que la variabilité des divers paramètres ( $V_m$ ;  $K_t + S_n$ ;  $T$ ; %R) pour des intervalles de temps inférieurs à une semaine est moins importante que leur évolution saisonnière. C'est en fonction de ces renseignements qu'une fréquence mensuelle de mesures fut établie pour cette étude

(voir la section 2.2). Cependant, après la première année de mesures, et suite à une analyse préliminaire des données acquises (MRN-INRS, 1975), il a été jugé important de vérifier la variabilité temporelle du potentiel hétérotrophe en milieu lotique. Il s'agissait d'étudier la variabilité des divers paramètres associés à la détermination du potentiel hétérotrophe (ex.: le mode d'assimilation du glucose, le temps de renouvellement, le pourcentage des respiration) sur une échelle de temps relativement courte (variations diurnes et journalières).

Deux campagnes d'échantillonnage intensif furent réalisées à deux stations types dans le bassin de la rivière Yamaska (voir la section 2.2). La première (Adamsville, 03031E) est une des stations où l'eau est la moins enrichie en substances nutritives; comme mentionné dans la section 3.1.4, elle pourrait être considérée comme station témoin pour le bassin de la Yamaska. La seconde station (Saint-Alphonse, 03031D), localisée en aval de la ville de Granby, contraste nettement avec la première; dans le bassin entier, elle est une des stations la plus influencée par le rejet d'eaux résiduaire municipales.

La première campagne intensive fut effectuée en période d'étiage estival (du 7 au 10 juillet 1975) tandis que la deuxième fut réalisée en automne (du 27 au 30 octobre 1975). A chaque campagne on a étudié la variabilité des divers paramètres durant une journée complète (des prélèvements à toutes les 6 heures durant 24 heures) ainsi que pendant quatre jours consécutifs (des prélèvements journaliers à heure fixe). Les résultats de ces campagnes sont présentés dans les Tableaux 3.4.12 (variation diurne) et 3.4.13 (variation journalière)<sup>1</sup>. En plus de grouper les résultats obtenus pour le temps de renouvellement du glucose et le pourcentage de respiration, ces tableaux présentent les valeurs obtenues pour la concentration en carbone organique dissous.

---

<sup>1</sup>

Les résultats obtenus concurremment pour le potentiel de fertilité et le potentiel autotrophe sont présentés respectivement dans la section 3.2 (Tableaux 3.2.21, 3.2.22) et la section 3.3 (Tableaux 3.3.1, 3.3.2).

### *Mode d'assimilation du glucose*

A la station de Saint-Alphonse (03031D), l'assimilation du glucose se fait presque uniquement par voie de diffusion; sur douze déterminations, seulement une correspond à une assimilation suivant la cinétique enzymatique de Michaelis-Menten. A la station d'Adamsville (03031E), par contre, le mode d'assimilation s'avère beaucoup plus variable; sur le même nombre de déterminations, cinq se conforment à une assimilation par transport actif et sept à une assimilation par diffusion. Cette variabilité, déjà notée à l'échelle mensuelle (section 3.4.1), est évidente même à l'échelle diurne (Tableau 3.4.12).

### *Temps de renouvellement*

En période d'étiage estival (juillet 1975), la variation diurne du temps de renouvellement du glucose est relativement faible à la station d'Adamsville (temps moyen de renouvellement,  $T = 215$  h; coefficient de variation,  $CV = 17\%$ ), et elle ne présente pas de cycle bien défini (Tableau 3.4.12). Par contre, à la station de Saint-Alphonse, la variation diurne est plus importante ( $T$  moyen =  $171$  h,  $CV = 97\%$ ), les valeurs maximums étant observées au début de la période étudiée. Quant aux variations diurnes observées à la fin d'octobre à ces deux stations, elles sont encore plus importantes que celles mises en évidence précédemment ( $CV = 117\%$  et  $129\%$  respectivement aux stations d'Adamsville et de Saint-Alphonse). Pour fin de comparaison, mentionnons les résultats de Crawford *et al.* (1974) qui ont suivi la variation diurne de la vitesse maximum d'assimilation ( $V_m$ ) dans l'estuaire du fleuve Pamlico; pour des déterminations effectuées à toutes les 3 heures pendant 24 heures, la valeur de  $V_m$  pour l'acide aspartique variait de  $0.32$  à  $0.66$   $\mu\text{g C/l.h}$  ( $V_m$  moyenne =  $0.50$ ;  $CV = 26\%$ ). La variation diurne de  $T$  n'est malheureusement pas mentionnée.

Contrairement à ce que l'on a observé dans le cas du potentiel autotrophe (section 3.3.2), les variations diurnes du temps de renouvellement semblent être de nature aléatoire et elles ne se conforment pas à un cycle défini. Par exemple, à la station d'Adamsville, en octobre, le temps de renouvellement

passé de 57 à 342 heures entre 17:00 h et 05:00 h, alors qu'à la station de Saint-Alphonse il passe de 448 à 51 heures durant la même période.

La variation journalière du temps de renouvellement (Tableau 3.4.13) peut devenir encore plus importante que la variation diurne. Pour des prélèvements effectués à heure fixe pendant 4 jours consécutifs, le coefficient de variation s'échelonne de 13% (Saint-Alphonse, 27-30 octobre 1975) à 159% (Adamsville, 27-30 octobre 1975). En d'autres termes, la variabilité journalière de T peut devenir comparable à sa variation saisonnière (voir les Tableaux 3.4.3 et 3.4.4: Adamsville, CV pour 1974-1975 = 125%; Saint-Alphonse, CV pour 1974-1975 = 144%). Il n'est donc pas surprenant que les valeurs mensuelles du temps de renouvellement se soient avérées peu utiles pour discriminer entre les stations, et que l'évolution saisonnière de T ait été mal définie.

Vu la double dépendance du temps de renouvellement ( $T = S_n/v_a$ ; voir la discussion ci-haut dans la section 3.4), son importante variabilité diurne et journalière peut aussi bien refléter des fluctuations de  $S_n$ , la concentration naturelle de glucose, que des changements de la vitesse d'assimilation du glucose à sa concentration naturelle. Les données disponibles ne permettent pas d'explication définitive.

#### *Pourcentage de respiration*

L'examen des Tableaux 3.4.12 et 3.4.13 montre que le pourcentage du glucose respiré est moins variable que le temps de renouvellement. Il faut cependant souligner que la plage de variation du pourcentage de respiration est nécessairement limitée (de 0 à 100%), alors que celle pour le temps de renouvellement ne connaît pas de limite supérieure. Pour des déterminations effectuées à heure fixe pendant 4 jours consécutifs, le coefficient de variation est normalement < 10%; pour des mesures réalisées à toutes les 6 heures pendant une journée complète, il est du même ordre de grandeur (< 8%). Les résultats obtenus à la station d'Adamsville en octobre font exception à cette règle, le coefficient de variation étant influencé démesurément par la faible valeur du pourcentage de respiration obtenue le 29 octobre pour le prélèvement de 11:00 h (% R = 23%).

Pour chaque échantillon d'eau le pourcentage de respiration est le résultat de plusieurs mesures individuelles (de 6 à 12, selon le cas). Dans les Tableaux 3.4.12 et 3.4.13, on retrouve le pourcentage moyen de respiration pour chaque prélèvement, ainsi que l'écart type de cette détermination. Le coefficient de variation pour une telle détermination peut varier entre 2 et 65%, mais normalement il est de l'ordre de  $\leq 15\%$ . Il s'en suit, donc, que *l'imprécision de la détermination du pourcentage de respiration est du même ordre de grandeur que la variabilité diurne ou journalière de celui-ci*. Soulignons, cependant, que les écarts qui se manifestent entre les mesures de juillet et celles réalisées en octobre sont significatifs (Adamsville - pourcentage de respiration, 85  $\rightarrow$  48%; Saint-Alphonse - pourcentage de respiration, 94  $\rightarrow$  51%); cette variation saisonnière du pourcentage de respiration demeure significative (*cf.* section 3.4.3).

Avant de clore cette discussion, il est intéressant de comparer, à l'échelle diurne, la stabilité du pourcentage de respiration et la variabilité du potentiel autotrophe et du potentiel de fertilité, surtout durant la période du 28 octobre (11:00 h) au 29 octobre (11:00 h) à la station de Saint-Alphonse. Comme il a déjà été mentionné, les valeurs de ces deux derniers paramètres diminuent progressivement pendant cet intervalle de temps (potentiel de fertilité, 37  $\rightarrow$  0.4 mg d'algues/l; potentiel autotrophe, 3.7  $\rightarrow$  2.3  $\mu\text{g C/l.h}$ ). Cette réduction a été attribuée à l'arrivée dans l'eau de substances toxiques influençant le phytoplancton naturel (potentiel autotrophe; section 3.3) tout comme l'espèce d'algue utilisée pour le bio-essai au laboratoire (potentiel de fertilité; section 3.6). Selon les résultats présentés dans le Tableau 3.4.12, ni le pourcentage de respiration du glucose ni son temps de renouvellement ne semble répondre de manière évidente à ce phénomène de toxicité. Comme conclusion provisoire, on pourrait donc suggérer que la microflore hétérotrophe naturelle était moins sensible aux présumées substances toxiques que les organismes autotrophes.

#### *Concentration en carbone organique*

Le carbone organique montre une variabilité intermédiaire par rapport aux autres paramètres figurant dans les Tableaux 3.4.12 et 3.4.13. Pour des échantillons prélevés à heure fixe pendant 4 jours consécutifs, le coefficient

de variation varie de 13 à 26%; pour ceux prélevés à toutes les 6 heures pendant une journée complète, il varie de 11 à 34%. Bien que les concentrations en carbone organique mesurées à la station de Saint-Alphonse soient significativement plus élevées que celles observées à la station d'Adamsville (cf. section 3.1.2), la variabilité temporelle des concentrations, à l'échelle diurne comme à l'échelle journalière, est semblable aux deux stations. On ne peut cependant conclure qu'il en est de même pour la concentration en glucose,  $S_n$ , ce dernier ne constituant normalement qu'une faible fraction (<0.5%) du carbone organique dissous. Comme nous l'avons vu précédemment, cette absence de valeurs de  $S_n$  pour les eaux des rivières Yamaska et Saint-François, de même que le manque complet de données sur la variabilité temporelle (diurne, journalière, saisonnière) de cette concentration, compromettent sérieusement l'interprétation du comportement des paramètres cinétiques ( $v_a$ ; T).

RESUMEOBSERVATIONS GENERALES

- . Mode d'assimilation du glucose
  - Assimilation par diffusion est observée fréquemment, surtout en aval d'importants rejets d'eaux résiduares urbaines.
  - Seulement certains paramètres (% R, T) sont disponibles à toutes les stations pour fins de comparaison entre stations.
  
- . Temps de renouvellement du glucose (T)
  - Double dépendance de T ( $S_n/v_a$ ) rend difficile son interprétation.
  - Variations diurnes importantes mais aucun cycle ne se manifeste.
  - Cycle saisonnier est perceptible (maximum en hiver, minimum en été).
  - Variabilité spatiale < variabilité temporelle, ce qui rend T peu utile pour discriminer entre différentes stations.
  
- . Pourcentage de respiration (% R)
  - Mesure relativement imprécise (coefficient de variation normalement de l'ordre de  $\leq 15\%$  pour 12 déterminations en parallèle).
  - Variations mensuelles importantes, mais il n'y a pas de cycle annuel bien défini.
  - Variabilité spatiale < variabilité temporelle, ce qui rend % R peu utile pour discriminer entre différentes stations.
  - Paramètre peu sensible à l'impact d'activités humaines sur les eaux de rivière.

OBSERVATIONS RELATIVES AUX RIVIERES YAMASKA ET SAINT-FRANCOIS

- . Valeurs du temps de renouvellement du glucose sont moyennes par rapport à celles trouvées par d'autres chercheurs.
- . Valeurs moyennes du pourcentage de respiration (47-63%) et sa plage de variation (5-98%) sont nettement plus grandes que celles citées dans la littérature.
- . Selon % R ou T, aucune station ne se différencie clairement des autres, la variabilité temporelle de ces paramètres étant plus grande que leur variabilité spatiale.
- . Singularités dans le bassin de la rivière Yamaska
  - incidence élevée d'assimilation } station 03031 D  
par diffusion
  - incidence élevée d'assimilation } station 03031 E  
par transport actif
- . Singularités dans le bassin de la rivière Saint-François
  - incidence élevée d'assimilation } station 03021 Q  
par diffusion
  - incidence élevée d'assimilation } station 03021 Z  
par transport actif

### 3.5 Production hétérotrophe (Incorporation de sulfate marqué au $^{35}\text{S}$ )

La production hétérotrophe et la minéralisation de la matière organique dans l'écosystème aquatique présentent un intérêt aussi grand que la production autotrophe pour caractériser le cycle du carbone dans le milieu. Contrairement aux organismes autotrophes, qui donnent un mélange de composés organiques à partir du bicarbonate comme principale source de carbone et de la lumière comme principale source d'énergie, les organismes hétérotrophes utilisent une multitude de composés organiques comme source de carbone et tirent leur énergie des liens chimiques moléculaires. Cette différence de sens dans le cycle du carbone présente des difficultés quasi insurmontables pour l'expérimentateur. En effet, la grande diversité de composés organiques présents dans le milieu, leurs différentes vitesses d'assimilation et les différences de concentration d'un échantillon à l'autre demanderaient une technique trop laborieuse pour être utilisée couramment. Une méthode simplifiée, quoique encore très laborieuse, consiste à utiliser un seul composé organique marqué au  $^{14}\text{C}$  (habituellement le glucose ou l'acétate; voir les sections 2.3.4 et 3.4). Cette méthode, utilisée par plusieurs auteurs (Parsons et Strickland, 1962; Wright et Hobbie, 1966; Hamilton et Presland, 1970; Campbell *et al.*, 1975) est une mesure du "potentiel hétérotrophe" d'une eau; elle ne peut cependant être interprétée en termes de "production hétérotrophe".

Il est donc nécessaire de rechercher un élément essentiel, autre que le carbone, pour évaluer les taux de production hétérotrophe et de minéralisation de la matière organique. Les mesures de la vitesse de consommation d'oxygène peuvent être utilisées avec succès dans les eaux très chargées de matière organique labile. Cette méthode pourrait donner une mesure indirecte du taux de recyclage du carbone inorganique dans le milieu si un respiromètre assez sensible donnait une réponse mesurable pour une période d'incubation courte. Un autre élément essentiel est le soufre: en effet, selon Jassby (1975), la moyenne de carbone par rapport au soufre dans la matière cellulaire de micro-organismes est de l'ordre de 50 à 1 (rapport que nous utiliserons dans la présente étude). Le soufre, sous forme de sulfate, se présente généralement en concentration suffisante pour être facilement mesurable, et il est rarement (voire jamais) le facteur chimique limitant le métabolisme aquatique. Puisqu'il est directement assimilé sous forme inorganique par les micro-organismes hétérotrophes aérobies (Butlin, 1953; Kuznetsov, 1968; Sorokin, 1969). l'assimilation de sulfate marqué au soufre-35 peut servir à l'estimation de la pro-

duction hétérotrophe d'une eau (Monheimer, 1974; Jassby, 1975).

Dans cette optique, nous avons mis au point cette technique aux mois de janvier et février 1975 (voir la section 2.3.7 et l'Annexe 3). Des mesures ont été effectuées mensuellement du début de mars jusqu'à la fin de juin 1975; les résultats sont présentés dans le Tableau 3.5.1. L'écart-type des mesures effectuées en quintuple fut de l'ordre de  $2 \mu\text{g C l}^{-1}\text{h}^{-1}$ .

L'examen du Tableau 3.5.1 montre que les valeurs mesurées au début de mars, au début d'avril ainsi qu'à la fin d'avril sont inférieures à  $4 \mu\text{g C l}^{-1}\text{h}^{-1}$ , sauf pour la station de Saint-Alphonse à la fin d'avril ( $9 \mu\text{g C l}^{-1}\text{h}^{-1}$ ). Par ailleurs, pour les 10 stations pour lesquelles nous avons des mesures en mai ou juin, on note une augmentation marquée de la production hétérotrophe par rapport aux mesures effectuées en mars et avril. Cette augmentation correspond à une augmentation sensible de la température de l'eau (de  $5-10^{\circ}\text{C}$  à  $20^{\circ}\text{C}$ ), à une diminution importante du débit après la crue de printemps, et au début de l'activité microbienne intense.

En comparant les mesures de productivité hétérotrophe (Tableau 3.5.1) aux mesures de productivité autotrophe potentielle (Tableau 3.5.2), nous remarquons cette même augmentation de la fin d'avril à la fin de mai. Il est également à noter qu'au mois de mars ainsi qu'au début d'avril, l'activité autotrophe est toujours plus faible que l'activité hétérotrophe, alors qu'à partir de la fin d'avril l'activité autotrophe à certaines stations devient supérieure à l'activité hétérotrophe. Il serait intéressant de vérifier si cette tendance se généralise à toutes les stations durant certaines périodes d'activité autotrophe intense (étiage d'été), et de dégager un indice du déséquilibre du cycle du carbone dans le milieu.

### 3.6 Toxicité

#### 3.6.1 Introduction

Les deux principaux facteurs chimiques susceptibles d'influencer la qualité d'un cours d'eau sont les substances nutritives et les substances toxiques. Dans la section 3.2 nous avons mis en évidence l'efficacité de la mesure du potentiel de fertilité pour caractériser les concentrations en substances nutritives disponibles; nous verrons maintenant comment l'utilisation d'un tel test peut nous renseigner sur la présence de substances toxiques. Une méthodologie de caractérisation des *substances toxiques inorganiques* est de plus développée.

La mesure du potentiel de fertilité d'un échantillon d'eau traduit la concentration disponible de l'élément chimique susceptible de contrôler la production primaire. Des expériences préliminaires ont mis en évidence la relation qui existe entre le phosphore (élément de contrôle dans le milieu de culture PAAP) et le potentiel de fertilité dans ce milieu de culture synthétique (PAAP 30%). Cette relation nous permet de calculer un *potentiel de fertilité anticipé* qui correspond à la quantité théorique d'algues que pourrait supporter l'échantillon d'eau. Greene *et al.* (1974) ont à cet effet établi la relation définissant le potentiel de fertilité anticipé pour des concentrations d'azote et de phosphore données.

$$FN_{Ti} \text{ (mg d'algues/litre) } = 38 \times [N]$$

$$FP_{Ti} \text{ (mg d'algues/litre) } = 430 \times [P]$$

où:

$FN_{Ti}$  = potentiel de fertilité anticipé à partir des concentrations d'azote total inorganique;

$FP_{Ti}$  = potentiel de fertilité anticipé à partir des concentrations de phosphore total inorganique;

[N] = concentration d'azote total inorganique (mg N/l);

[P] = concentration de phosphore total inorganique (mg P/l).

En comparant la valeur du potentiel de fertilité *anticipé* avec la valeur du potentiel de fertilité *mesuré* ( $FM = PF =$  biomasse d'algues obtenue après 21 jours d'incubation), ces chercheurs ont mis en évidence la présence, dans certaines eaux naturelles, d'un facteur de contrôle de la production primaire autre que l'azote ou le phosphore (oligo-éléments et/ou substances toxiques); un tel phénomène est indiqué lorsque la valeur  $FP_{T_i}$  ou  $FN_{T_i}$  est supérieure à la valeur FM.

### 3.6.2 Comparaison des potentiels de fertilité mesurés et anticipés

L'approche développée par Greene *et al.* (1974) et décrite sommairement ci-haut, a été appliquée aux deux bassins versants étudiés. Les Tableaux 3.6.1 à 3.6.4 présentent les valeurs des potentiels de fertilité anticipé ( $FN_{T_i}$  et  $FP_{T_i}$ ) et des potentiels de fertilité mesurés (FM). Les valeurs de FM entourées identifient des échantillons d'eau où la production primaire serait contrôlée par un facteur autre que l'azote ou le phosphore (ex.: Tableau 3.6.4A, station en aval de Waterloo, prélèvement été no 2:  $FM = 1$  alors que  $FN_{T_i} = 100$  et  $FP_{T_i} = 758$ ). L'incidence de telles valeurs de FM est présentée dans le Tableau 3.6.5. L'incidence du phénomène semble plus fréquente chez les échantillons d'eau prélevés par l'INRS-Eau: cette différence serait liée soit au mode d'échantillonnage, soit au moment d'échantillonnage proprement dit. L'analyse des valeurs de FM obtenues lors d'une campagne d'échantillonnage intensif à Saint-Alphonse semble, pour cette station, favoriser la deuxième hypothèse (voir la section 3.6.5, variabilité temporelle de la toxicité). Quoiqu'il en soit, les stations les plus influencées par la présence de substances toxiques seraient:

#### Bassin de la rivière Saint-François

Pierreville  
Richmond  
Bromptonville  
Lennoxville  
Saint-Gérard  
Lac Memphremagog  
Rivière Massawippi

#### Bassin de la rivière Yamaska

Aval de Waterloo  
Aval de Saint-Alphonse  
Rivière Salvail  
Rivière Chibouet  
Saint-Pie

A ces stations deux hypothèses peuvent être retenues: le facteur de contrôle serait un ou des oligo-éléments, ou encore une ou des substances toxiques.

### 3.6.3 Etude du rôle des oligo-éléments

Comme nous l'avons déjà démontré (sections 3.2.2 et 3.2.3, facteurs limitants), les expériences avec des ajouts d'azote et de phosphore ont identifié le rôle de ces deux éléments comme facteurs de contrôle de la production primaire. D'autres expériences, réalisées cette fois avec des ajouts d'oligo-éléments<sup>1</sup>, ont confirmé que seul l'azote et/ou le phosphore influençait le potentiel de fertilité des eaux de ces deux bassins.

En effet, une étude des coefficients de stimulation aux ajouts d'oligo-éléments (Tableaux 3.6.6 et 3.6.7) révèle aucun effet significatif de stimulation. *L'hypothèse voulant imputer aux oligo-éléments une action de contrôle sur la production primaire de ces eaux est donc à rejeter.*

### 3.6.4 Etude du rôle des substances toxiques

Afin de vérifier la deuxième hypothèse introduite plus haut, à savoir que les écarts entre le potentiel de fertilité mesuré et le potentiel de fertilité anticipé soient dus à la présence de substances toxiques, des expériences additionnelles furent réalisées. Ces essais avaient pour but d'inhiber ou de supprimer l'action des substances toxiques présentes, et de réduire ainsi l'écart entre FM et  $FP_{Ti}$  ou  $FN_{Ti}$ . Deux techniques furent retenues pour ces essais. La première, développée par Porcella *et al.* (1971), consiste à diluer l'échantillon d'eau à analyser. Cette dilution contribue à diminuer la concentration des substances toxiques et à réduire leurs effets sur le métabolisme de la population d'algues. La seconde technique implique

<sup>1</sup>

L'ajout d'oligo-éléments comprenait les métaux traces suivants: Fe (33 µg/l), Mn (115 µg/l), B (132 µg/l), Zn (15 µg/l), Co (0.3 µg/l), Mo (2.9 µg/l). Ce mélange correspond à celui ajouté dans le milieu de culture PAAP (Toerien *et al.*, 1971).

l'addition d'un agent complexant (EDTA: acide éthylènediamine tétracétique) qui, en formant des complexes avec les substances toxiques inorganiques, réduit les effets nocifs de celles-ci sur la population d'algues (Steeman Nielsen et Andersen, 1971; Jensen *et al.*, 1974).

Ces deux techniques ont été essayées avec des échantillons d'eau prélevés les 23 septembre et 21 octobre 1975 aux stations d'échantillonnage spéciales. Le Tableau 3.6.8 présente les résultats obtenus aux deux stations (rivière Massawippi et Saint-Alphonse) où un effet d'intoxication a été observée. La présence possible de substances toxiques a été mise en évidence en comparant, dans un premier temps, le potentiel de fertilité mesuré (FM) avec le potentiel de fertilité anticipé ( $FN_{Ti}$  et/ou  $FP_{Ti}$ ): dans les deux cas la valeur de FM est significativement inférieure à la valeur du potentiel de fertilité anticipé. Dans un second temps l'augmentation du potentiel de fertilité (FM) provoquée par les ajouts d'EDTA suggère la présence de substances toxiques inorganiques dans les échantillons d'eau. Enfin, dans un troisième temps, pour la station de la rivière Massawippi, l'augmentation du potentiel de fertilité consécutive à l'augmentation du taux de dilution traduit bien la présence de substances toxiques, tel que déjà démontré par Porcella *et al.* (1971). Cependant, bien que les potentiels de fertilité observés à la station de Saint-Alphonse (aval) semblent répondre à la dilution (échantillons  $D_1$  et  $D_2$ ), il n'en reste pas moins qu'en aucun temps les valeurs du FM ne sont comparables aux valeurs  $FN_{Ti}$  des échantillons  $D_1$  et  $D_2$  pour cette station. Un tel comportement laisse entrevoir la présence de substances toxiques qui cette fois seraient en plus forte concentration que les concentrations retrouvées dans l'échantillon prélevé de la rivière Massawippi.

Bref, l'utilisation de la mesure du potentiel de fertilité afin de mettre en évidence la présence de substances toxiques s'avère efficace. Toutefois, afin de mieux caractériser le milieu à cet effet, l'utilisation de tests complémentaires, comme les ajouts d'EDTA et la technique de dilution, reste indispensable.

### 3.6.5 Variabilité temporelle de la toxicité

Lors de la dernière campagne intensive d'échantillonnage (du 27 au 30 octobre 1975: voir la section 3.2.1), il a été possible de mettre en évidence la nature parfois transitoire des phénomènes de toxicité dans un cours d'eau. En effet, à la station de Saint-Alphonse (aval) les prélèvements coïncidaient dans le temps avec l'arrivée progressive dans le cours d'eau de substances toxiques.

Les valeurs présentés dans le Tableau 3.6.9 montrent qu'un effet d'inhibition, à peine perceptible le 28 octobre à 10h 55, s'intensifie jusqu'au prélèvement de 11h effectué le 29 octobre. Ce phénomène, observé à la station de Saint-Alphonse (aval), se manifeste par l'écart observé entre le potentiel de fertilité anticipé à partir de l'élément chimique de contrôle, d'une part, et le potentiel de fertilité mesuré (FM), d'autre part. Cette situation ( $FM < FP_{Ti}$  et/ou  $FN_{Ti}$ ) refléterait l'impact de substances toxiques pouvant inhiber le métabolisme des algues utilisées au cours de ces expériences.

Il est intéressant de noter que l'arrivée de ces substances semble avoir eu un impact plus grand sur *Selenastrum capricornutum* que sur le phytoplancton indigène: le potentiel autotrophe a diminué d'environ 50% (voir la section 3.3.2) alors que le potentiel de fertilité a baissé de plus de 90%. Dans ce cas la population naturelle de phytoplancton s'est donc avérée moins sensible aux substances toxiques que l'espèce utilisée pour le bioessai en laboratoire.

RESUMEOBSERVATIONS GENERALES

- Comparaison du potentiel de fertilité *anticipé* avec le potentiel de fertilité *mesuré* s'avère un bon indice du niveau d'intoxication des eaux:

$$FM < FP_{Ti} \text{ et } FN_{Ti}$$

- Confirmation de la présence de substances toxiques peut se faire à l'aide d'ajouts (ex.: un agent complexant) ou de dilutions successives.
- Sensibilité aux substances toxiques:

$$\begin{array}{ccccc} \textit{Selenastrum} & & & & \text{microflore} \\ \textit{capricornutum} & > & \text{phytoplancton} & > & \text{naturelle} \\ & & \text{naturel} & & \end{array}$$

- Détermination du coefficient de croissance maximum (CCM) et du moment d'incidence (MI) de ce coefficient s'avère insuffisamment précise pour faire ressortir la présence de substances toxiques.

OBSERVATIONS RELATIVES AUX RIVIERES YAMASKA ET SAINT-FRANCOIS

- . Ajout d'oligo-éléments (Fe, Mn, B, Zn, Co, Mo) ne provoque pas d'augmentation du potentiel de fertilité.
  
- . Indication de problèmes potentiels d'intoxication des eaux:
  - bassin de la rivière Yamaska: station 03031 R
  - station 03031 D
  - station 03031 N
  - station 03031 P
  
  - bassin de la rivière Saint-François: station 03021 Z
  - station 03021 V
  - station 03021 U
  - station 03021 S
  - station 03021 Q
  - station 03021 P
  - station 03021 L
  
- . Confirmation de la présence de substances toxiques aux stations 03031 D (rivière Yamaska-nord) et 03021 U (rivière Massawippi).
  
- . Apparition d'un phénomène transitoire de toxicité à la station 03031 D (rivière Yamaska-nord).

#### 4. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

Cette étude du comportement des substances nutritives dans les eaux des rivières Yamaska et Saint-François a pour objectif global la mise au point d'une méthode d'étude des substances nutritives dans les eaux courantes. La méthode proposée doit renseigner sur l'état de qualité d'une rivière et permettre d'établir des liens entre cet état de qualité et les activités se déroulant sur le territoire du bassin versant. De plus, elle doit satisfaire aux exigences propres à l'opération d'un réseau d'acquisition de données de qualité de l'eau.

Dans ce dernier chapitre nous présentons les conclusions générales auxquelles nous sommes arrivées, ainsi que les recommandations qui en découlent. Ces recommandations portent sur le méthodologie d'acquisition de données (ex.: plan d'échantillonnage; choix de paramètres; méthodes analytiques; traitement des données) de même que sur des éléments de rationalisation du réseau d'échantillonnage des bassins des rivières Yamaska et Saint-François. Intercalées parmi ces recommandations se trouvent quelques suggestions concernant des études complémentaires à entreprendre pour élucider des points qui demeurent incertains.

#### 4.1 Plan d'échantillonnage

Considérons les choix implicites dans l'élaboration d'un programme d'acquisition de données. Bien qu'il n'existe évidemment pas d'approche unique à cette question, on peut cependant identifier certaines étapes clé que l'on devrait normalement réaliser dans l'établissement d'un tel programme; le schéma présenté sur la Figure 4.1 en donne des exemples (Bobée *et al.*, 1976).

La première étape, l'identification des objectifs du programme, permet de choisir les paramètres pertinents à mesurer et de fixer le niveau de précision requis. Des exemples d'objectifs généraux, de nature susceptible à impliquer le MRN (MRN-INRS, 1974b), se trouvent dans le Tableau 4.1. Dans ce qui suit, on abordera deux éléments du plan d'échantillonnage soit, d'une part, *la fréquence d'échantillonnage* et, d'autre part, *la densité et la localisation des stations de mesure*. La sélection des paramètres ainsi que le choix d'une méthodologie analytique seront traités dans la section 4.2.

#### 4.1.1 Fréquence de mesure

Dans tout réseau d'acquisition de données, la fréquence de mesure dépend à la fois de la précision requise pour chaque paramètre et de leur variabilité temporelle. Si, pour rencontrer l'objectif d'un plan d'échantillonnage, on doit déterminer la valeur d'un quantile P (valeur dépassée (100-P) % des fois) avec un écart L par rapport à la valeur réelle, à un niveau de confiance (1- $\alpha$ ), on peut démontrer (Montgomery et Hart, 1971) que le nombre N de mesures à effectuer est tel que :

$$N \geq \left( f \frac{k\sigma}{L} \right)^2 \quad (4.1)$$

où:

$\sigma$  : est l'écart type de la distribution;

k : est un coefficient qui dépend du niveau de confiance choisi<sup>1</sup>  
(voir le Tableau 4.2);

f : est un coefficient qui dépend du quantile P (voir le Tableau 4.2).

L'examen de cette relation montre que pour atteindre un niveau de précision donné, le nombre de mesures nécessaire augmente à mesure que la variabilité du paramètre ( $\sigma$ ) croît. De même, plus le paramètre est variable, plus l'intervalle de confiance de sa valeur médiane ou percentile, obtenu à un niveau donné pour un nombre fixe de mesures, sera large.

Soulignons que la relation présentée ci-haut (équation 4.1) ne s'applique rigoureusement qu'aux distributions normales dont les données individuelles sont indépendantes (pas d'auto-corrélation) et homogènes (faisant partie de la même population statistique). Avant d'utiliser cette relation pour une rivière donnée, il faudrait théoriquement vérifier si ces hypothèses sont respectées pour le paramètre considéré. Dans le présent contexte, cependant, même sans avoir pu vérifier ces points, nous suggérons l'emploi de cette relation pour l'estimation en première approximation de la fréquence de mesure. Cette estimation, qui tient compte, même grossièrement, de l'information disponible, est préférable à un choix intuitif. Lorsque l'on possède déjà un

<sup>1</sup> Lorsque  $N < 30$ , on devrait remplacer k par la valeur appropriée de t (distribution de Student), que l'on peut trouver dans les tables statistiques (Montgomery et Hart, 1974).

ensemble de données, on peut caractériser leur distribution, les transformer si nécessaire pour rendre la distribution normale, et estimer l'écart type de la population en déterminant la valeur  $s$  de l'échantillon disponible. Quand il n'existe pas de données antérieures, ce qui sera souvent le cas, il faut soit entreprendre quelques campagnes de mesure pour évaluer la variabilité du paramètre, soit estimer cette variabilité par transposition à partir de données déjà acquises pour le même paramètre mais sur d'autres rivières. Dans ce contexte, les données obtenues sur les rivières Yamaska et Saint-François lors de cette étude pouvaient être utiles (voir la section 3.1.1 et l'Annexe 5). Comme ces données l'indiquent, la variabilité temporelle d'un paramètre donné peut être différente d'une station à l'autre. De même, à une station donnée, deux paramètres peuvent évoluer de manière différente. *Il est donc irréaliste de vouloir établir un plan d'échantillonnage qui soit optimal pour chaque paramètre et pour tout le territoire à l'étude.* Ceci souligne l'importance, lors de l'identification des objectifs du programme, de définir les paramètres dont la connaissance est prioritaire et d'identifier les tronçons de rivière qui méritent une attention particulière.

Compte tenu de ces considérations, il est recommandé de suivre l'approche suivante pour déterminer la fréquence d'échantillonnage:

- *à partir des objectifs du programme d'acquisition de données (Tableau 4.1), identifier les paramètres à mesurer (Tableaux 4.3 et 4.4);*
- *définir le paramètre statistique désiré (ex.: moyenne, quantile) et la période pour laquelle doit s'appliquer ce paramètre (ex.: jour, semaine, mois, année);*
- *fixer, pour chaque paramètre, le degré de précision requis pour répondre aux objectifs du programme et le niveau de confiance acceptable, ce qui définit les valeurs de  $f$  et de  $k$  (Tableau 4.2);*
- *estimer l'écart type de la population ( $\sigma$ ) à partir des données existantes, ou éventuellement par transposition;*
- *calculer le nombre de mesures nécessaires durant la période choisie, en utilisant la relation donnée dans l'équation 4.1.*

Comme complément aux considérations statistiques énumérées ci-haut, mentionnons que selon notre expérience acquise en travaillant avec les données physico-chimiques et biologiques (potentiel de fertilité), une fréquence bi-mensuelle semble représenter un seuil minimum pour une période d'étude s'étendant sur deux ans. En deçà de cette fréquence, laquelle ne fut atteinte qu'aux stations spéciales, il était difficile, sinon impossible, de faire ressortir la réponse des rivières Yamaska et Saint-François aux variations saisonnières du débit et de la température. Il est donc recommandé:

- . *d'assurer une fréquence de mesures d'au moins 1 prélèvement par 2 semaines pour une période choisie de deux ans.*

A la fréquence de base choisie devraient s'ajouter des campagnes spéciales impliquant des prélèvements additionnels pendant les épisodes hydrologiques critiques; des suggestions à cet effet figurent dans la dernière colonne du Tableau 4.1. Pendant de telles campagnes intensives, des renseignements additionnels pourraient être obtenus en décalant les prélèvements afin de tenir compte du temps de parcours de l'eau d'une station à l'autre.

Dans le but de faciliter l'analyse statistique et l'interprétation des données acquises, il faut limiter le laps de temps entre les prélèvements effectués aux différentes stations de la région étudiée. Par ailleurs, pour les paramètres qui suivent un cycle diurne de variation (ex.: oxygène dissous; potentiel autotrophe), l'obtention de données pouvant se comparer nécessite que les prélèvements soient tous faits environ à la même heure de la journée aux différentes stations échantillonnées.

#### 4.1.2 Localisation et densité des stations d'échantillonnage

Comme deuxième élément du plan d'échantillonnage, considérons le nombre et la localisation des stations d'échantillonnage. Le nombre de stations requis dépendra des objectifs du programme, de la variabilité spatiale du phénomène que l'on veut caractériser et de la grandeur de la région d'étude. Normalement, on ne peut donc fixer le nombre de stations sans avoir un estimé de la variabilité spatiale; l'approche habituelle consiste à amorcer le réseau avec une densité élevée de stations et de diminuer cette densité par la suite à la lumière des résultats des premières mesures.

Dans la présente étude, le nombre de stations fut déterminé (MRN-INRS, 1974b) en divisant chaque bassin en dix tronçons représentant chacun un apport de 10% du débit d'étiage à l'embouchure; de même, on a subdivisé le bassin en dix tronçons de population humaine approximativement égale. Une station fut placée provisoirement à l'interface de chacun de ces tronçons, et une autre à la décharge de chaque lac important. Par la suite, ce premier réseau de stations fut réduit en tenant compte de considérations pratiques comme la facilité d'échantillonnage et la proximité des stations les unes des autres. Selon les résultats de l'analyse multivariée des données relatives aux substances nutritives (Annexe 6), qui visait à faire ressortir des similitudes de comportement entre les stations dans le bassin de la rivière Yamaska, il y avait peu de stations dont le comportement global était semblable. En d'autres termes, il n'y avait que peu de redondance ou de duplication de l'information avec une densité de 19 stations sur un bassin versant de 4843 km<sup>2</sup>.

Compte tenu de ce qui précède, il est recommandé:

- . *de faire varier la densité du réseau de stations en fonction de l'utilisation du territoire et des singularités du réseau hydrographique (ex.: lacs, barrage-réservoirs, confluents de tributaires), comme ce fut le cas pour les rivières Yamaska et Saint-François;*
- . *d'introduire, pour fins de référence, des stations témoins, localisées en aval de régions relativement homogènes (ex.: utilisation du territoire; géologie) et peu influencées par l'homme et ses activités;*
- . *d'introduire, à des points clé dans le réseau, des stations spéciales où la fréquence de mesure et/ou la gamme de paramètres déterminés pourraient être augmentées;*
- . *dans un bassin versant dont l'utilisation du territoire est semblable à celle rencontrée dans le bassin de la rivière Yamaska, de viser une densité globale d'environ une station par 250 km<sup>2</sup>, quitte à modifier ce nombre par la suite s'il s'avère inapproprié.*

Quant à la localisation précise de ces stations, elle dépendra évidemment des objectifs que vise le programme d'acquisition de données; quelques exemples des critères qui pourraient s'appliquer se trouvent dans le Tableau 4.1. Viennent s'ajouter à ces éléments des contraintes pratiques à prendre en compte telles que la facilité d'échantillonnage, l'homogénéité transversale et verticale du cours d'eau au site considéré, et la proximité de ce site à des stations du réseau hydrométrique.

## 4.2 Méthodologie analytique

Ayant traité dans la section précédente de la densité et de la localisation des stations de mesure, ainsi que de la fréquence d'échantillonnage, considérons maintenant le choix d'une méthodologie analytique à appliquer sur les échantillons provenant de ce réseau. Les recommandations qui suivent, concernant l'étude des substances nutritives dans les eaux courantes, découlent des résultats des expériences réalisées au cours de cette présente étude, des résultats obtenus concurremment au cours d'autres études, ainsi que d'une revue de la littérature pertinente.

### 4.2.1 Préparation du matériel

A cause des faibles concentrations en substances nutritives souvent rencontrées dans les eaux naturelles, et des problèmes de contamination expérimentés au cours de cette étude (voir la section 3.1.5), il est nécessaire de prendre certaines précautions avec le matériel qui vient en contact avec les échantillons d'eau à analyser.

Dans ce contexte, il est recommandé:

- . *que tout le matériel (verrerie, contenants, etc..) en contact avec les échantillons d'eau soit en Pyrex ou en polyéthylène;*
- . *que le matériel de laboratoire soit nettoyé, avant usage, avec de l'acide chlorhydrique dilué (HCl, 1N) suivi par un rinçage à l'eau déminéralisée (les détergents sont évidemment à éviter);*
- . *que le matériel de terrain (ex.: bouteilles de prélèvement) soit rincé au moins une fois avant usage avec l'eau de rivière au point de prélèvement;*

- *s'il faut filtrer l'échantillon, que l'on emploie non pas des membranes de polyester (ex.: acétate de cellulose - Millipore ou Gelman) mais plutôt les filtres en fibres de verre (ex.: Whatman GF/C, 1.2  $\mu$ m), afin de minimiser la contamination en substances nutritives (notamment en azote organique);*
- *que les filtres en fibres de verre soient traités avant usage à 550°C pendant au moins 9 heures, qu'ils soient manipulés subséquemment avec des pinces, et qu'ils soient rincés avec une partie de l'échantillon avant de procéder à la cueillette du filtrat (c'est-à-dire: rejeter les premiers 20 ml du filtrat).*

#### 4.2.2 Prélèvement des échantillons d'eau

Le prélèvement des échantillons d'eau étant le point de départ de toutes les opérations effectuées sur ces échantillons, il importe de voir à ce que la bouteille de prélèvement utilisée ne contamine pas les échantillons d'eau et qu'elle permette de prélever des échantillons représentatifs. Ce dernier point est surtout important lorsqu'on s'intéresse à un échantillon d'eau comprenant les sédiments en suspension (ex.: pour le phosphore et les paramètres biologiques) puisque cette fraction est distribuée inégalement dans une section transversale d'une rivière. Il est donc recommandé:

- *qu'on utilise une bouteille de prélèvement horizontale, de type Van Dorn, alignée dans le courant;*
- *qu'on vérifie, avant d'utiliser une bouteille de prélèvement, si elle introduit une contamination;*
- *qu'on échantillonne la section transversale en plusieurs points et, lorsque la rivière est profonde, à plusieurs profondeurs;*
- *si le volume de la bouteille de prélèvement est plus grand que le volume d'échantillon désiré, qu'on verse d'abord le contenu de la bouteille de prélèvement dans un contenant de volume au moins égal à celui-ci, et que l'échantillon soit ensuite prélevé à partir du contenant, après agitation.*

#### 4.2.3 Préservation et conservation des échantillons

Dans le cadre de cette étude, on n'a pas réalisé d'expériences pour vérifier la préservation des substances nutritives dans des échantillons d'eau naturelle. Cependant, l'examen de la littérature montre bien la nature labile des différentes formes des éléments nutritifs ainsi que la multiplicité des transformations auxquelles ils sont soumis. Compte tenu, d'une part, de l'importance de mesurer les formes spécifiques des substances nutritives et, d'autre part, des dangers de pertes et/ou de transformations de ces substances durant la période d'entreposage avant l'analyse, il est recommandé:

- . *d'effectuer la filtration des échantillons, s'il y a lieu, le plus rapidement possible après le prélèvement;*
- . *pour les paramètres physico-chimiques labiles (ex.:  $N-NH_4$ ,  $N-NO_{2-3}$ , P-inorganique) de même que pour les paramètres biodynamiques (ex.: potentiel autotrophe, potentiel hétérotrophe), d'effectuer les analyses le plus rapidement possible après le prélèvement - il n'y a pas de substitut pour l'analyse sans délai;*
- . *pour les paramètres physico-chimiques labiles mais non pour les paramètres biodynamiques, lorsque nécessaire, de conserver les échantillons au froid<sup>1</sup> (le plus près possible de 0°C sans courir le risque de gel) et dans l'obscurité;*
- . *pour le potentiel de fertilité, de stériliser l'échantillon d'eau dès son arrivée au laboratoire et de le conserver au froid<sup>1</sup> (le plus près possible de 0°C sans courir le risque de gel) et dans l'obscurité;*
- . *pour les paramètres physico-chimiques qui s'y prêtent (ex.: P-total; N-Kjeldahl), de préserver une portion de l'échantillon en l'acidifiant avant de la mettre au froid;*

---

i

Les temps maximums de conservation des échantillons au froid varient d'un auteur à l'autre pour un même paramètre, mais en général les temps maximums sont de 24 heures pour la majorité des paramètres (EPA, 1974; Stainton et al., 1974).

- *d'amorcer un programme dans le but de vérifier l'efficacité des procédures de préservation proposées plus haut, et de les améliorer s'il y a lieu.*

#### 4.2.4 Choix de paramètres et méthodes d'analyse

##### *Paramètres physico-chimiques*

Dans le cadre de la présente étude, on s'est limité aux paramètres physico-chimiques qui étaient pertinents à l'étude des substances nutritives. A la lumière des résultats de cette analyse (sections 3.1.1 à 3.1.6), surtout en ce qui concerne la spéciation physique des éléments nutritifs dans les eaux des rivières Yamaska et Saint-François et l'effet de la filtration sur les échantillons, on ne peut plus recommander la filtration sur membrane comme approche pour évaluer la distribution des substances nutritives entre les formes solubles et les formes particulières. Par contre, l'introduction d'échantillons non filtrés dans l'Autoanalyseur Technicon peut entraîner des problèmes de non représentativité au niveau du sous-échantillonnage (aspiration de l'échantillon) et, souvent, d'interférence. Il s'en suit, donc, que l'étape de filtration demeure essentielle, non pas à cause des renseignements qu'elle procure sur la spéciation physique des différentes formes des substances nutritives, mais plutôt pour faciliter l'étape analytique subséquente. Compte tenu de toutes ces considérations, il est alors recommandé:

- *de déterminer, sur les échantillons non filtrés, la turbidité et l'oxygène dissous;*
- *de filtrer les échantillons sur des filtres en fibres de verre (Whatman GF/C; voir la section 4.2.1);*
- *de doser, sur le filtrat, les paramètres suivants:*

*P-inorganique*

*P-total*

*N-NH<sub>4</sub>*

*N-NO<sub>2-3</sub>*

*N-Kjeldahl*

*C-organique*  
*C-inorganique*<sup>1</sup>;

- de doser, sur le résidu retenu par le filtre, les paramètres suivants:

*P-total*  
*Solides en suspension*  
*C-organique*<sup>1</sup>  
*N-organique*<sup>1</sup>.

Le schéma analytique proposé est présenté en résumé sur la Figure 4.2, alors que les méthodes analytiques suggérés pour les paramètres retenus sont décrites sommairement dans le Tableau 4.3.

Par comparaison avec la liste des paramètres physico-chimiques qui furent déterminés dans cette étude (Tableau 2.2), la nouvelle compilation dans le Tableau 4.3 se distingue par l'absence des orthophosphates. La décision d'éliminer ce paramètre est basée sur les observations suivantes:

- la mesure des orthophosphates, bien que techniquement facile, surestime grandement la concentration réelle des orthophosphates dans les eaux naturelles (Chamberlain et Shapiro, 1973);
- les orthophosphates sont normalement présents à des concentrations très faibles et ne représentent qu'une faible fraction du phosphore soluble;
- les orthophosphates sont très rapidement assimilés et régénérés dans les eaux naturelles (Rigler, 1973), ce qui rend peu significative la connaissance de leur concentration;
- le phosphore dosé comme phosphore inorganique total (c'est-à-dire P-hydrolysable) semble correspondre mieux au phosphore disponible aux organisme autotrophes que celui dosé comme orthophosphates (Chamberlain et Shapiro, 1973; ).

<sup>1</sup>

Paramètre facultatif, à déterminer à des stations spéciales.

Quant au carbone inorganique, que l'on a désigné comme un paramètre facultatif (Tableau 4.3), il n'a servi dans la présente étude que pour le calcul des valeurs du potentiel autotrophe. En raison de l'utilité plutôt limitée de ce paramètre, on recommande de le doser seulement aux stations spéciales, comme mesure essentielle pour la détermination du potentiel autotrophe. Une autre solution serait la détermination du pH (sur le terrain) et de l'alcalinité, ce qui permettrait de calculer la concentration en carbone inorganique.

Comme indiqué dans la dernière colonne du Tableau 4.3, certaines des méthodes analytiques couramment employées pour déterminer les paramètres physico-chimiques laissent à désirer. Dans le cas du phosphore inorganique tout comme pour l'azote ammoniacal, les concentrations retrouvées dans les eaux relativement peu enrichies (ex.: celles du bassin de la rivière Saint-François) sont souvent en deçà des limites de sensibilité des méthodes analytiques présentement utilisées (0.01 mg N-NH<sub>4</sub>/l; 0.007 mg P/l). Il est donc recommandé:

- . *d'améliorer la sensibilité des méthodes analytiques employées pour doser l'azote ammoniacal et le phosphore inorganique.*

Outre cette question de sensibilité parfois inadéquate, il existe un manque sérieux de connaissances en ce qui concerne l'efficacité des digestions automatisées employées pour le dosage de l'azote Kjeldahl et du phosphore total. Il s'agit d'un problème de justesse des méthodes analytiques utilisées. Bien qu'il existe dans les eaux naturelles de nombreux composés organiques de l'azote et du phosphore, le rendement des méthodes de digestion n'est ordinairement vérifié que pour un nombre restreint de ces composés. De plus, il est possible que des effets de matrice influent sur ces rendements. A la lumière des résultats obtenus dans les laboratoires respectifs de l'INRS-Eau, du MRN-Qualité et des Services de Protection de l'Environnement du Québec, en comparant l'efficacité relative des digestions manuelles et automatisées (M. Bisson, communication personnelle), il est recommandé:

- . *de vérifier l'efficacité de la digestion automatisée couramment utilisée dans le laboratoire du MRN-Qualité pour le dosage de l'azote Kjeldahl et du phosphore total.*

*Paramètres biologiques*

Certains paramètres biologiques ont été déterminés durant ce projet afin d'évaluer leur utilité soit comme indice de la *disponibilité* des formes minérales des substances nutritives pour les organismes autotrophes (potentiel de fertilité; section 3.2), soit comme mesures de l'*utilisation* de ces substances par les organismes autotrophes (potentiel autotrophe; section 3.3) et par les organismes hétérotrophes (potentiel hétérotrophe; sections 3.4 et 3.5). De plus, on a étudié la possibilité de mettre en évidence la présence de substances toxiques par la comparaison du potentiel de fertilité *anticipé* avec le potentiel de fertilité *mesuré* (section 3.6). A la lumière des résultats de ces essais, présentés en détail dans les sections 3.2 à 3.6, il est recommandé:

- de déterminer, sur les échantillons non filtrés, les paramètres suivants:

potentiel de fertilité (niveau d'enrichissement;  
facteur chimique limitant)

potentiel autotrophe;

productivité hétérotrophe -  $^{35}\text{SO}_4$ ;

- de filtrer les échantillons sur filtres en fibres de verre (Whatman GF/C; voir la section 4.2.1);

- de doser, sur le résidu, les paramètres suivants:

chlorophylle }  
phaeopigments }

ATP

C-organique }  
N-organique }

Comme suggéré par les regroupements de paramètres, il s'agit de diviser l'échantillon en trois portions et de les filtrer séparément sur trois filtres individuels (ex.: Stainton *et al.*, 1974).

Le schéma analytique proposé est celui présenté sur la Figure 4.3. Les paramètres retenus et les méthodes analytiques suggérées pour leur détermination se trouvent dans le Tableau 4.4.

La décision d'éliminer le potentiel hétérotrophe - glucose est basée sur les considérations suivantes:

- . la technique est très laborieuse et exige des manipulations soigneuses;
- . dans les eaux de rivière, à cause de la prédominance d'un mode d'assimilation de glucose semblable à la diffusion (section 3.4.2), seulement deux paramètres (temps de renouvellement, T; pourcentage de respiration, % R) peuvent être extraits de l'analyse mathématique des données;
- . la variabilité temporelle du temps de renouvellement du glucose et du pourcentage de respiration est plus grande que leur variabilité dans l'espace, même sur les périodes de temps très courtes (section 3.4.4), ce qui rend ces deux paramètres relativement insensibles aux variations de l'utilisation du territoire et donc peu utiles pour la discrimination des stations.

Quant aux nouveaux paramètres figurant dans le Tableau 4.4, ils furent choisis afin de mieux caractériser le seston dans les eaux courantes et d'aider l'interprétation des variations spatiales et temporelles des paramètres dynamiques (potentiel autotrophe, productivité hétérotrophe -  $^{35}\text{SO}_4$ ); la simple connaissance de la teneur en sédiments en suspension ne suffit pas pour cette interprétation. Ayant comme paramètres additionnels le carbone organique particulaire et l'azote organique particulaire, on pourra différencier entre les solides en suspension inorganiques, provenant de l'érosion physique, et ceux d'origine biologique. La détermination de la chlorophylle et des phaeopigments donnera, respectivement, une mesure approximative de la biomasse algale, et un estimé de la quantité de débris végétal. D'autre part, la mesure de l'adénosine triphosphate (ATP) permettra d'estimer la quantité totale de phyto- et de bactério-plancton. Compte tenu du temps nécessaire à réaliser ces mesures, et du fait qu'elles doivent être effectuées *sur le terrain*, il est évident que la détermination systématique de ces paramètres ne pourra é-

tre envisagée qu'à un nombre restreint de stations d'échantillonnage, comme d'ailleurs ce fut le cas dans l'étude des bassins des rivières Yamaska et Saint-François. Des facteurs qui peuvent influencer le choix de ces stations "spéciales" sont discutés dans la section 4.1.2.

#### 4.3 Traitement mathématique des données

Après avoir traité des principes importants dans l'implantation d'un réseau d'acquisition de données (sections 4.1 et 4.2), il importe de parler de l'aspect analyse et traitement des données acquises par des méthodes statistiques appropriées.

L'utilisation de méthodes statistiques appropriées est un élément indispensable dans la planification et la réalisation des différentes étapes que l'on doit considérer dans l'implantation d'un programme d'acquisition de données (voir la Figure 4.1). Notamment, l'utilisation de techniques statistiques facilite l'évaluation et l'interprétation des données antérieures, contribue à un choix judicieux de la fréquence de mesure et de la densité des stations, et fournit des éléments importants dans l'évaluation de la réalisation des objectifs.

Les méthodes statistiques classiques les plus susceptibles d'être appliquées avec profit pour l'analyse des données de qualité de l'eau peuvent être énumérées rapidement:

- . distributions statistiques;
- . régressions, corrélations;
- . analyse de variance;
- . tests d'égalité de moyennes (observations pairées).

Ces méthodes classiques, qui sont bien connues, permettent entre autres de synthétiser l'information (distributions), d'étudier les relations entre les variables (régressions, corrélations), de regrouper des séries homogènes (analyse de variance) et de vérifier l'effet d'un traitement quelconque (observations pairées). D'autres méthodes moins bien connues et plus récentes (analyse factorielle des correspondances et krigeage) se sont avérées particulièrement intéressantes lors de certaines applications. On trouve dans l'Annexe 6 un exemple d'application de la méthode d'analyse factorielle des correspondances. Un résumé de l'application

de ces méthodes statistiques a été fait par Bobée *et al.* (1976).

L'emploi de ces méthodes statistiques doit cependant être planifié car, d'une part, elles impliquent des contraintes dont on doit tenir compte lors de l'établissement du plan d'échantillonnage et, d'autre part, elles doivent être reliées aux objectifs de l'étude et aux questions auxquelles on veut apporter une réponse. Par exemple, l'utilisation des méthodes multivariées exige d'avoir des tableaux complets de données.

Dans cette étude, deux méthodes statistiques ont été utilisées principalement pour traiter les données de substances nutritives: le test de Student sur les observations paires et l'analyse de variance à un critère. Le test portant sur les observations paires a permis de vérifier l'effet de la filtration sur les concentrations en substances nutritives. Cette méthode devrait être appliquée également pour vérifier l'effet des différents traitements qu'on fait subir aux échantillons. L'analyse de variance et le test de Scheffe ont été utilisés pour regrouper des séries de valeurs et comparer leurs moyennes. Cette technique devrait continuer à être appliquée pour faire ressortir les particularités qu'on peut observer à certaines stations et périodes de l'année.

Notons, en terminant, que pour faciliter l'application des techniques statistiques, on recommande de minimiser le délai de temps d'échantillonnage entre les stations d'une même région d'étude (*cf.* section 4.1.1).

BIBLIOGRAPHIE

- ALBRIGHT, L.J. et WENTWORTH, J.W. (1973).  
Use of the heterotrophic activity technique as a measure of eutrophication. Environ. Pollut., 5: 59-72.
- ALBRIGHT, L.J., WENTWORTH, J.W. et WILSON, E.M. (1972).  
Technique for measuring metallic salt effects upon the indigenous heterotrophic microflora of a natural water. Water Research, 6: 1589-1596.
- ALBRIGHT, L.J. et WILSON, E.M. (1974).  
Sub-lethal effects of several metallic salts-organic compounds combinations upon the heterotrophic microflora of a natural water. Water Research, 8: 101-105.
- ALLEN, H.E. et KRAMER, J.R. (éditeurs) (1972).  
Nutrients in natural waters. Wiley-Interscience, New York, 457 p.
- ALLEN, H.L. (1969).  
Chemo-organotrophic utilization of dissolved organic compounds by planktic algae and bacteria in a pond. Int. Revue ges. Hydrobiol., 54: 1-33.
- BERMAN, T. et EPPLEY, R.W. (1974).  
The measurement of phytoplankton parameters in nature. Sci. Prog., Oxf., 61: 219-239.
- BOBEE, B., CAMPBELL, P.G., TESSIER, A. et VILLENEUVE, J.P. (1976).  
Analyse des données de qualité concernant les rives et les bilans de substances nutritives dans le fleuve Saint-Laurent. INRS-Eau, rapport scientifique no 19, 117 p., 7 annexes. (Rapport soumis aux Services de Protection de l'Environnement du Québec).
- BUTLIN, K.R. (1953).  
The bacterial sulfure cycle. Research, 6: 184-191.
- CAMPBELL, P.G., CAILLE, A., COUTURE, P. et TALBOT, L. (1975).  
Nutrient dynamics in running water: production, assimilation and mineralization of organic matter. 2nd International symposium on Environmental Biochemistry, Hamilton.
- CHAMBERLAIN, W. et SHAPIRO, J. (1973).  
Phosphate measurements in natural waters - a critique.  
dans: Griffith, E.J., Beeton, A., Spencer, J.M. et Mitchell, D. (éditeurs).  
Environmental phosphorus handbook. Wiley-Interscience, John Wiley & Sons, New-York. Chapitre 20, p. 355-366.
- CRAWFORD, C.C., HOBIE, J.E. et WEBB, K.L. (1974).  
The utilisation of dissolved free amino acids by estuarine microorganisms. Ecology, 55: 551-563.
- CURTIS, E.J.C., DURRANT, K. et HARMAN, M.M.I. (1975).  
Nitrification in rivers in the Trent basin. Water Research, 9: 255-268.
- DAWES, E.A. et RIBBONS, D.W. (1964).  
Some aspects of the endogenous metabolism of bacteria. Bacteriological Reviews, 28: 126-149.

- DILLON, P.J. et RIGLER, F.H. (1975).  
A simple method of predicting the capacity of a lake for development based on lake trophic status. *J. Fish. Res. Board Can.*, 32: 1519-1531.
- EPA. (1971).  
Algal assay procedure: bottle test. U.S. Environmental Protection Agency, National Eutrophication Research Program, 82 p.
- EPA. (1974).  
Methods for chemical analysis of water and wastes. U.S. Environmental Protection Agency, National Environmental Research Centre, Cincinnati, Ohio. Document No EPA-625/6-74-003, 298 p.
- FOHRENBACH, J. (1974).  
Eutrophication. *J. Water Pollut. Control Fed.*, 46(6): 1350-1355.
- GREENE, J.C., MILLER, N.E. et SHEROYAMA, T. (1974).  
The Pacific Northwest Basin algae assay survey. I- The Snake River drainage system. Publication interne, communication personnelle.
- HALL, K.J., KLEIBER, P.M. et YESAKI, I., (1972).  
Heterotrophic uptake of organic solutes by microorganisms in the sediment. *Mem. Ist. Ital. Idrobiol.* 29 Suppl., 441-471.
- HAMILTON, R.D. et AUSTIN, K.E. (1967).  
Assay of relative heterotrophic potential in the sea: the use of specifically labelled glucose. *Can. J. Microbiol.*, 13: 1165-1173.
- HAMILTON, R.D. et PRESLAND, J.E. (1970).  
Observations of heterotrophic activity in the eastern tropical Pacific. *Limnol. Oceanogr.*, 15: 395-401.
- HANNAN, H.H. et al. (1972).  
Nitrogen and phosphorus dynamics in three Central Texas impoundments. *Hydrobiologia*, 40(1): 121-129.
- HERBLAND, A.M. et BOIS, J.F. (1974).  
Assimilation et minéralisation de la matière organique dissoute dans la mer: méthode par comptage en scintillation liquide. *Mar. Biol.*, 24: 203-212.
- HOBBIE, J.E. (1967).  
Glucose and acetate in freshwater: concentrations and turnover rates. dans: Golterman, H.L. et Clymo, R.S. (éds). *Chemical environment in the aquatic habitat. Compte-rendu d'un symposium du Programme biologique international*, p. 245-251.
- HOBBIE, J.E. et CRAWFORD, C.C. (1969 a).  
Respiration correction for bacterial uptake of dissolved organic compounds in natural waters. *Limnol. Oceanogr.*, 14: 528-532.
- HOBBIE, J.E. et CRAWFORD, C.C. (1969 b).  
Bacterial uptake of organic substrate: new methods of study and application to eutrophication. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 17: 725-730.

- HOBBIÉ, J.E. et WRIGHT, R.T. (1968).  
A new method for the study of bacteria in lakes: description and results. Mitt. Internat. Verein. Limnol., 14: 64-71.
- HOLM-HAWSEN, O. and BOOTH, C.R. (1966).  
The measurement of ATP in the ocean and its ecological significance. Limnol. Oceanogr., 11: 510-519.
- INRS-Eau. (1976).  
Dynamique des éléments nutritifs dans les écosystèmes aquatiques: étude de deux réservoirs dans la province de Québec. Second rapport d'avancement des travaux. INRS-Eau, rapport interne no 39, 48 p. (Pour Environnement Canada).
- JASSBY, A.D. (1975).  
Dark uptake and bacterial productivity in a subalpine lake. Ecology, 56: 627-636.
- JENSEN et al. (1974).  
Heavy metal tolerance of marine phytoplankton. Part 1: The tolerance of 3 algal species to zinc in coastal sea water. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 15(2): 147-159.
- JOHNSON, N.M. *et al.* (1969).  
A working model for the variation in streamwater chemistry at the Hubbard Brook Experimental Forest, New Hampshire. Water Res. Res., 5: 1353-1363.
- KUZNETSOV, S.I. (1968).  
Recent studies on the role of microorganisms in the cycling of substances in lakes. Limnol. Oceanogr., 13: 211-224.
- KOWALCZEWSKI, A. et LACK, T.J. (1971).  
Primary production and respiration of the phytoplankton of the rivers Thames and Kennet at Reading. Freshwat. Biol., 1: 197-212.
- LORENZEN, C.J. (1963).  
Diurnal variation in photosynthetic activity of natural phytoplankton populations. Limnol. Oceanogr., 8: 56-62.
- MACKENTHUN, K.M. (1968).  
The phosphorus problem. J. Am. Wat. Works. Assoc., 60: 1047-1054.
- MILLER, W.E., MALONEY, T.E. et GREENE, Y.C. (1974).  
Algal productivity in 49 lake waters as determined by algal assays. Water Research, 8: 667-679.
- MONTGOMERY, H.A.C. et HART, I.C. (1974).  
The design of sampling programmes for rivers and effluents. Notes on Water Pollution, No 54, Water Pollution Research Laboratory, Dept. of the Environment, Elder Way, Stevenage, England.
- MONHEIMER, R.H. (1974).  
Sulfate uptake as a measure of planktonic microbial production in freshwater ecosystems. Can. J. Microbiol., 20: 825-831.
- MRN. (1970).  
Documentaire sur le bassin de la rivière Saint-François. Ministère des Richesses naturelles, Service de l'aménagement hydraulique, 142 p.

- MRN-INRS. (1974 a).  
Planification de l'acquisition des données de qualité de l'eau au Québec.  
Tome 1. Relations entre l'utilisation de la ressource eau et sa qualité,  
par Campbell, P.G., Meybeck, M. et Tessier, A. Ministère des Richesses naturelles, Direction générale des eaux, Service Qualité des Eaux, rapport no. Q.E.-6, 94 p.
- MRN-INRS. (1974 b).  
Planification de l'acquisition des données de qualité de l'eau au Québec.  
Tome 5. Présentation de la méthode, par Caillé, A., Campbell, P.G., Lamontagne, M.P. et Sasseville, J.L. Ministère des Richesses naturelles, Direction générale des eaux, Service Qualité des Eaux, rapport no Q.E.-10, 33 p.
- MRN-INRS. (1974 c).  
Entente MRN (Qualité) - INRS (Eau). Etude intégrée de la qualité des eaux des bassins versants des rivières Saint-François et Yamaska. Rapport d'avancement des travaux no 1, avril 1974, 31 p.
- MRN-INRS. (1975).  
Entente MRN (Qualité) - INRS (Eau). Etude intégrée de la qualité des eaux des bassins versants des rivières Saint-François et Yamaska. Rapport d'avancement des travaux no 2, Secteur des substances nutritives, juin 1975, 42 p.
- MRN-INRS. (1976 a).  
Etude intégrée de la qualité des eaux des bassins versants des rivières Saint-François et Yamaska. Volume 1: Secteur des métaux traces. INRS-Eau, rapport scientifique no 51, 131 p., 103 t., 46 f., 9 annexes. (Pour le Ministère des Richesses naturelles, Québec).
- MRN-INRS. (1976 b).  
Etude intégrée de la qualité des eaux des bassins versants des rivières Saint-François et Yamaska. Volume 3: Secteur des modèles d'apports. INRS-Eau, rapport scientifique no 53, 105 p. (Pour le Ministère des Richesses naturelles, Québec).
- MRN-INRS. (1976 c).  
Effets du décapage de la cuvette d'un réservoir sur la qualité de l'eau emmagasinée: élaboration d'une méthode d'étude et application au réservoir de Victoriaville (Rivière Bulstrode). INRS-Eau, rapport scientifique no 37, 304 p. 3 appendices. (Pour le Ministère des Richesses naturelles, Québec).
- NISBET, M. et VERNEAUX, J. (1970).  
Composantes chimiques des eaux courantes - discussion et proportion de classes en tant que bases d'interprétation des analyses chimiques. Annales de Limnologie, 6: 161-190.
- OPDQ. (1972).  
Projet d'aménagement des eaux du bassin versant de la Yamaska. Rapport de la mission technique de la Yamaska, 381 p.
- OVERBECK, J. (1974).  
Microbiology and biochemistry. Mitt. Internat. Verein. Limnol., 20: 198-228.
- OVERBECK, J. (1975).  
Distribution pattern of uptake kinetic responses in a stratified eutrophic lake. Verh. Internat. Verein. Limnol., 19: 2600-2615.

- PARSON, S.T.R. et STRICKLAND, J.D.H. (1962).  
On the production of particulate organic carbon by heterotrophic processes in sea water. *Deep-Sea Res.*, 8: 211-222.
- PORCELLA, D.B., GRAW, P., HUANG, C.H., RADIMSKY, J., TOERIEN, D.F et PEARSON, E.A. (1971).  
Provisional algal assay procedures. First annual report. Sanitary Engineering Research Laboratory. University of Berkeley, California, SERL Report No. 70-8, 180 p.
- POTASH, M. (1956).  
A biological test for determining the potential productivity of water. *Ecology*, 37: 631-639.
- POTVIN, P. (1976).  
Relations entre l'état trophique d'un lac et l'utilisation du territoire dans son bassin versant. Thèse de Maîtrise es-Sciences (Eau), Université du Québec, 137 p., 1 annexe.
- REQ. (1970).  
Rapport sur la qualité des eaux de la rivière Saint-François. Régie des eaux du Québec, 131 p.
- RIGLER, F.H. (1973).  
A dynamic view of the phosphorus cycle in lakes.  
dans: Griffith, E.J., Beeton, A., Spencer, J.M. et Mitchell, D. (éditeurs). *Environmental phosphorus handbook*. Wiley-Interscience, John Wiley & Sons, New York. Chapitre 36, p. 539-572.
- SAUNDERS, G.W. (1971).  
Carbon flow in the aquatic system.  
dans: Cairns, J. (éditeur). *The structure and function of freshwater microbial communities*. American Microscopical Society Symposium, Virginia Polytechnic Institute and State University, Research Division Monograph No 3, p. 31-45.
- SAWYER, C.N. (1947).  
Fertilization of lakes by agricultural and urban drainage. *J. New Eng. Wat. Works Assoc.*, 61: 109-124.
- SAWYER, C.N. (1966).  
Basic concepts of eutrophication. *J. Water Pollut. Control fed.*, 38(5).
- SCHINDLER, D.W., SCHMIDT, R.V. et REID, R.A. (1972).  
Acidification and bubbling as an alternative to filtration in determining phytoplankton production by the  $^{14}\text{C}$  method. *J. Fish. Res. Bd. Canada*, 29: 1627-1631.
- SIVKO, T.N., KOVALEVSKAJA, R.Z., MIKHEEVA, T.M. et OSTAPENIA, A.P. (1972).  
Biological transformations of organic matter in a river. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 18: 756-760.
- SOROKIN, Y.I. (1969).  
Determination of the activity of heterotrophic microflora in the ocean by means of carbon-14 labelled organic substances. *Mikrobiologiya*, 39: 149-156.

- STAINTON, M.P., CAPEL, M.J. et ARMSTRONG, F.A.J. (1974).  
The chemical analysis of freshwater. Canadian Department of the Environment, Fisheries and Marine Service, Research and Development Directorate. Miscellaneous Special Publication No 25, 120 p.
- STEEMAN NIELSEN, E. (1952).  
The use of radioactive carbon ( $C^{14}$ ) for measuring organic production in the sea. *J. Cons. int. Explor. Mer.* 18: 117-140.
- STEEMAN NIELSEN, E., WIUM-ANDERSEN, S. (1971).  
The influence of Cu on photosynthesis and growth in diatoms. *Physiol. Plant.*, 24: 480-484.
- STRICKLAND, J.D.H. et PARSONS, T.R. (1972).  
A practical handbook of seawater analysis. Fisheries Research Board of Canada, Bulletin no 167 (2e édition), Ottawa. Chapitre IV-3, "Pigment Analysis", p. 185-206.
- STROSS, R.G., CHISHOLM, S.W. and DOWNING, T.A. (1973).  
Causes of daily rhythms in photosynthetic rates of phytoplankton. *Biol. Bull.*, 145: 200-209.
- STUMM, W. et MORGAN, J.J. (1970).  
Aquatic Chemistry. Wiley-Interscience, New-York, 583 p. (réf. p. 429).
- SYLVESTER, R.O. (1961).  
Nutrient content of drainage water from forested, urban and agricultural areas. Algae and Metropolitan Wastes, U.S. Public Health Service, SEC TR W61-3, 80, US Government Printing Office, Washington, D.C. (cité dans Mackenthun, 1968).
- TAYLOR, A.W., EDWARDS, W.M. et SIMPSON, E.C. (1971).  
Nutrients in streams draining woodland and farmland near Coshocton, Ohio. *Wat. Ressources Res.*, 7: 81-89.
- THOMPSON, B.M. et HAMILTON, R.D. (1973).  
Heterotrophic utilization of succose in an artificially enriched lake. *J. Fish. Res. Bd. Canada*, 30: 1547-1552.
- TOEREIN, D.F. HUANG, C.H., RADIMSKY, J., PEARSON, E.H., SCHERFIG, J. (1971).  
Provisional algal assay procedures. Final report. Sanitary Engineering Research Laboratory, University of California, Berkeley, SERL Report No 71-6, 211 p.
- UTTOMARK, P.D., CHAPIN, J.D. et GREEN, K.M. (1974).  
Estimating nutrient loadings of lakes from non-part sources. Office of Research and Monitoring, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C. 20460. Rapport EPA-660/3-74-020, 112 pp.
- VACCARO, R.F. et JANNASCH, H.W. (1966).  
Studies on heterotrophic activity in seawater based on glucose assimilation. *Limnol. Oceanogr.*, 11: 596-607.
- VACCARO, R.F. et JANNASCH, H.W. (1967).  
Variations in uptake kinetics for glucose by natural populations in seawater. *Limnol. Oceanogr.*, 12: 540-542.

- VOLLENWEIDER, R.A. (1968).  
Scientific fundamentals of the eutrophication of lakes and flowing waters, with particular reference to nitrogen and phosphorus as factors in eutrophication. Organization for economic cooperation and development, publication DAS/CSI/68.27, 194 pp.
- VOLLENWEIDER, R.A. (1969).  
A manual on methods for measuring primary production in aquatic environments. IBP Handbook No 12, Blackwell Scientific Publications, Oxford-Edinburgh, 213 p.
- WANGERSKY, P.J. (1972).  
The cycle of organic carbon in sea water. *Chimia*, 26: 559-564.
- WETZEL, R.G. et RICH, P.H. (1973).  
Carbon in freshwater systems.  
dans: Woodwell, G.M. et Pecan, E.V. (éditeurs). Carbon and the biosphere, p. 241-262, Proceedings of the 24th Brookhaven Symposium in Biology, U.S. Atomic Energy Commission.
- WILLIAMS, P.J. LeB. (1970).  
Heterotrophic utilisation of dissolved organic compounds in the sea. I. Size distribution of population and relationship between respiration and incorporation of growth substrates. *J. mar. biol. Ass. U.K.*, 50: 859-870.
- WILLIAMS, P.J. LeB. (1973).  
The validity of the application of simple kinetic analysis to heterogenous microbial populations. *Limnol. Oceanogr.*, 18: 159-165.
- WILLIAMS, P.J. LeB. et ASKEW, C. (1968).  
A method of measuring the mineralization by microorganisms of organic compounds in sea water. *Deep-Sea Research*, 15: 365-375.
- WONG, S.L. et CLARK, B. (1976).  
Field determination of the critical nutrient concentrations for *Cladophora* in streams. *J. Fish. Res. Board Can.*, 33: 85-92.
- WOOD, L.W. (1973).  
Pollution stress and respiration of glucose by natural microbial communities of the sediment and water of Toronto harbour. *Proc. 16th Conf. Great Lakes Res.*, 204-213.
- WRIGHT, R.T. (1970).  
Clycollic acid uptake by planktonic bacteria.  
dans: Hood, D. (éditeur). Organic matter in natural waters, p. 521-536.
- WRIGHT, R.T. (1974).  
Mineralization of organic solutes by heterotrophic bacteria.  
dans: Colwell, R.R. et Morita, R.Y. (éditeurs). Effect of the ocean environment on microbial activities. University Park Press, Baltimore - London - Tokyo, p. 546-565.
- WRIGHT, R.T. et HOBBIIE, J.E. (1966).  
Use of glucose and acetate by bacteria and algae in aquatic ecosystems. *Ecology*, 47: 447-464.

WUHRMANN, K. (1974).

Some problems and perspectives in applied limnology. Mitt. Internat. Verein.  
Limnol., 20: 324-402.

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

RAPPORT SCIENTIFIQUE No 52  
1976

Rapport rédigé pour  
le ministère des Richesses naturelles, Québec

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

Volume 2:  
secteur des substances nutritives  
Tableaux, figures et annexes

par  
P.G. Campbell, P. Couture, M. Lachance, L. Talbot

ISBN 2-89146-055-3

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. 2 : Secteur des substances nutritives / par P.G. Campbell... [et al.]  
(Q.E.-17).

1. Campbell, Pierre G., 1943- . II. (Collection : Québec (Province) Direction générale des eaux. Qualité des eaux ; Q.E.-17).

R5E2Q3/17

Dépôt légal 1977

Bibliothèque nationale du Québec

## LISTE DES TABLEAUX

	<u>Page</u>	
2.1	Calendrier des activités: prélèvements et analyses réalisés pendant l'étude	T-1
2.2	Paramètres physico-chimiques analysés	T-2
3.1.1	Liste des stations situées dans le bassin de la rivière Yamaska et leur localisation	T-3
3.1.2	Liste des stations situées dans le bassin de la rivière Saint-François et leur localisation	T-4
3.1.3	Concentrations moyennes des substances nutritives pour chacune des stations du bassin de la rivière Yamaska	T-5
3.1.4	Concentrations moyennes des substances nutritives pour chacune des stations du bassin de la rivière Saint-François	T-6
3.1.5	Coefficients de variation des substances nutritives pour chacune des stations du bassin de la rivière Yamaska	T-7
3.1.6	Coefficients de variation des substances nutritives pour chacune des stations du bassin de la rivière Saint-François	T-8
3.1.7	Classement des substances nutritives par ordre ascendant des coefficients de variation - Bassins des rivières Yamaska et Saint-François	T-9
3.1.8	Classement par ordre ascendant et groupement par le test de Scheffe des concentrations moyennes obtenues aux stations situées dans le bassin de la rivière Yamaska	T-10
3.1.9	Classement par ordre ascendant et groupement par le test de Scheffe des concentrations moyennes obtenues aux stations situées sur le bassin de la rivière Saint-François	T-11
3.1.10	Classification par ordre ascendant et groupement par le test de Scheffe des concentrations moyennes obtenues à des périodes de temps de trois mois pour seize stations dans le bassin de la rivière Yamaska	T-12

3.1.11	Classification par ordre ascendant et groupement par le test de Scheffe des concentrations moyennes obtenues à des périodes de temps de trois mois pour seize stations dans le bassin de la rivière Saint-François	T-13
3.1.12	Concentrations critiques en substances nutritives dans les eaux naturelles - Compilation de résultats trouvés dans la littérature	T-14
3.1.13	Fréquence de dépassement de concentrations limites en phosphore hydrolysable et en azote inorganique - Stations d'échantillonnage dans le bassin de la rivière Yamaska	T-15
3.1.14	Fréquence de dépassement de concentrations limites en phosphore hydrolysable et en azote inorganique - Stations d'échantillonnage dans le bassin de la rivière Saint-François	T-16
3.1.15	Fréquences de dépassement de la concentration limite en azote ammoniacal - Stations d'échantillonnage dans les bassins versants des rivières Yamaska et Saint-François	T-17
3.1.16	Différences moyennes obtenues mensuellement entre les échantillons naturels et les échantillons filtrés pour l'ensemble des stations des bassins de la rivière Yamaska et de la rivière Saint-François	T-18
3.1.17	Différences moyennes obtenues entre les échantillons naturels et les échantillons filtrés provenant des stations d'échantillonnage des bassins de la rivière Yamaska et de la rivière Saint-François	T-19
3.1.18	Fraction soluble des diverses substances nutritives dans les eaux des rivières Yamaska et Saint-François	T-20
3.1.19	Fraction soluble des différentes formes de phosphore dans les eaux du bassin de la rivière Yamaska - Comparaison des stations d'échantillonnage	T-21
3.1.20	Fraction soluble des différentes formes de phosphore dans les eaux du bassin de la rivière Saint-François - Comparaison des stations d'échantillonnage	T-22

3.1.21	Classification par ordre ascendant et groupement par le test de Scheffe des formes oxydées et organiques d'azote et de phosphore dans les bassins des rivières Yamaska et Saint-François	T-23
3.1.22	Charges annuelles spécifiques en azote total et en phosphore total pour les sous-bassins du bassin versant de la rivière Yamaska	T-24
3.1.23	Charges annuelles spécifiques en azote total et en phosphore total pour les sous-bassins du bassin versant de la rivière Saint-François	T-25
3.1.24	Charges annuelles spécifiques en azote total et en phosphore total pour les bassins versants des rivières Yamaska et Saint-François - Comparaison avec des valeurs dans la littérature	T-26
3.1.25	Exemples de l'influence de l'utilisation du territoire sur les charges annuelles spécifiques en azote total et en phosphore total pour les sous-bassins des tributaires des rivières Yamaska et Saint-François	T-27
3.1.26	Charges en azote total - Bassin de la rivière Yamaska	T-28
3.1.27	Charges en phosphore total - Bassin de la rivière Yamaska	T-29
3.1.28	Charges en azote total - Bassin de la rivière Saint-François	T-30
3.1.29	Charges en phosphore total - Bassin de la rivière Saint-François	T-31
3.1.30	Comparaison des charges en substances nutritives à différentes stations dans les bassins des rivières Yamaska et Saint-François - Résumé des stations considérées	T-32
3.1.31	Comparaison des charges en substances nutritives à différentes stations dans le bassin de la rivière Yamaska - Résumé des cas de pertes entre stations	T-33
3.1.32	Comparaison des charges en substances nutritives à différentes stations dans le bassin de la rivière Saint-François - Résumé des cas de gains exceptionnels ou de pertes entre stations	T-34
3.2.1A	Potentiel de fertilité et indices d'enrichissement: tronçon principal de la rivière Saint-François (1974)	T-35
3.2.1B	Potentiel de fertilité et indices d'enrichissement: tronçon principal de la rivière Saint-François (1974)	T-36

3.2.2	Potentiel de fertilité et indices d'enrichissement: tributaires de la rivière Saint-François (1974)	T-37
3.2.3A	Potentiel de fertilité et indices d'enrichissement: tronçon principal de la rivière Saint-François (1975)	T-38
3.2.3B	Potentiel de fertilité et indices d'enrichissement: tronçon principal de la rivière Saint-François (1975)	T-39
3.2.4	Potentiel de fertilité et indices d'enrichissement: tributaires de la rivière Saint-François (1975)	T-40
3.2.5	Potentiel de fertilité et indices d'enrichissement: tronçon principal de la rivière Yamaska (1974)	T-41
3.2.6A	Potentiel de fertilité et indices d'enrichissement: tributaires de la rivière Yamaska (1974)	T-42
3.2.6B	Potentiel de fertilité et indices d'enrichissement: tributaires de la rivière Yamaska (1974)	T-43
3.2.7	Potentiel de fertilité et indices d'enrichissement: tronçon principal de la rivière Yamaska (1975)	T-44
3.2.8A	Potentiel de fertilité et indices d'enrichissement: tributaires de la rivière Yamaska (1975)	T-45
3.2.8B	Potentiel de fertilité et indices d'enrichissement: tributaires de la rivière Yamaska (1975)	T-46
3.2.9A	Coefficient de croissance maximum: tronçon principal de la rivière Saint-François (1974)	T-47
3.2.9B	Coefficient de croissance maximum: tronçon principal de la rivière Saint-François (1974)	T-48
3.2.10	Coefficient de croissance maximum: tributaires de la rivière Saint-François (1974)	T-49
3.2.11A	Coefficient de croissance maximum: tronçon principal de la rivière Saint-François (1975)	T-50
3.2.11B	Coefficient de croissance maximum: tronçon principal de la rivière Saint-François (1975)	T-51
3.2.12	Coefficient de croissance maximum: tributaires de la rivière Saint-François (1975)	T-52

3.2.13	Coefficient de croissance maximum: tronçon principal de la rivière Yamaska (1974)	T-53
3.2.14A	Coefficient de croissance maximum: tributaires de la rivière Yamaska (1974)	T-54
3.2.14B	Coefficient de croissance maximum: tributaires de la rivière Yamaska (1974)	T-55
3.2.15	Coefficient de croissance maximum: tronçon principal de la rivière Yamaska (1975)	T-56
3.2.16A	Coefficient de croissance maximum: tributaires de la rivière Yamaska (1975)	T-57
3.2.16B	Coefficient de croissance maximum: tributaires de la rivière Yamaska (1975)	T-58
3.2.17A	Coefficient de stimulation: bassin de la rivière Saint-François (1974)	T-59
3.2.17B	Coefficient de stimulation: bassin de la rivière Saint-François (1974)	T-60
3.2.18A	Coefficient de stimulation: bassin de la rivière Saint-François (1975)	T-61
3.2.18B	Coefficient de stimulation: bassin de la rivière Saint-François (1975)	T-62
3.2.19A	Coefficient de stimulation: bassin de la rivière Yamaska (1974)	T-63
3.2.19B	Coefficient de stimulation: bassin de la rivière Yamaska (1974)	T-64
3.2.20A	Coefficient de stimulation: bassin de la rivière Yamaska (1975)	T-65
3.2.20B	Coefficient de stimulation: bassin de la rivière Yamaska (1975)	T-66
3.2.21	Variation journalière du potentiel de fertilité	T-67
3.2.22	Variation diurne du potentiel de fertilité	T-68
3.2.23	Valeurs caractéristiques des coefficients d'exportation pour les substances nutritives	T-69
3.3.1	Evolution diurne du potentiel autotrophe et du potentiel de fertilité aux stations d'Adamsville et de Saint-Alphonse	T-70

3.3.2	Evolution journalière du potentiel autotrophe aux stations d'Adamsville et de Saint-Alphonse	T-71
3.3.3	Potentiel autotrophe - Taux de production potentielle horaire pour les stations spéciales de la rivière Yamaska (1974)	T-72
3.3.4	Potentiel autotrophe - Taux de production potentielle horaire pour les stations spéciales de la rivière Yamaska (1975)	T-73
3.3.5	Potentiel autotrophe - Taux de production potentielle horaire pour les stations spéciales de la rivière Saint-François (1974)	T-74
3.3.6	Potentiel autotrophe - Taux de production potentielle horaire pour les stations spéciales de la rivière Saint-François (1975)	T-75
3.3.7	Valeurs de la productivité primaire du phytoplancton dans divers milieux - Comparaison avec les résultats de la présente étude	T-76
3.3.8	Comparaison interannuelle des débits mensuels moyens de la rivière Yamaska aux stations spéciales d'échantillonnage (été 1974/été 1975)	T-77
3.3.9	Comparaison interannuelle des débits mensuels moyens de la rivière Saint-François aux stations spéciales d'échantillonnage (été 1974/été 1975)	T-78
3.4.1	Mode d'assimilation du glucose aux stations spéciales dans le bassin versant de la rivière Yamaska	T-79
3.4.2	Mode d'assimilation du glucose aux stations spéciales dans le bassin versant de la rivière Saint-François	T-80
3.4.3	Temps de renouvellement du glucose aux stations spéciales dans le bassin versant de la rivière Yamaska	T-81
3.3.4	Temps de renouvellement du glucose aux stations spéciales dans le bassin versant de la rivière Saint-François	T-82
3.4.5	Pourcentage de glucose respiré aux stations spéciales dans le bassin versant de la rivière Yamaska	T-83
3.4.6	Pourcentage de glucose respiré aux stations spéciales dans le bassin versant de la rivière Saint-François	T-84
3.4.7	Pourcentage de glucose respiré - Classement des stations spéciales par ordre croissant (bassin versant de la rivière Yamaska)	T-85

- 3.4.8 Pourcentage du glucose respiré - Classement des stations spéciales par ordre croissant (bassin versant de la rivière Saint-François) T-86
- 3.4.9 Pourcentage du glucose respiré - Rangs moyens et rangs moyens pondérés pour les stations spéciales dans les bassins versants des rivières Yamaska et Saint-François T-87
- 3.4.10 Pourcentage de respiration - Coefficients de corrélation entre les stations d'échantillonnage spéciales dans les bassins versants des rivières Yamaska et Saint-François T-88
- 3.4.11 Valeurs du pourcentage de glucose respiré trouvées dans la littérature et comparaison avec les résultats de la présente étude T-89
- 3.4.12 Potentiel hétérotrophe (glucose) - Variation diurne du mode d'assimilation, du temps de renouvellement, du pourcentage de respiration et de la vitesse d'assimilation aux stations d'Adamsville et de Saint-Alphonse T-90
- 3.4.13 Potentiel hétérotrophe (glucose) - Variation journalière du mode d'assimilation, du temps de renouvellement, du pourcentage de respiration et de la vitesse d'assimilation aux stations d'Adamsville et de Saint-Alphonse T-91
- 3.5.1 Taux de production hétérotrophe basé sur les mesures d'assimilation de sulfate marqué au  $^{35}\text{S}$  T-92
- 3.5.2 Taux de production autotrophe potentielle aux stations des rivières Yamaska et Saint-François T-93
- 3.6.1A Potentiel de fertilité mesuré et potentiel de fertilité anticipé - Tronçon principal de la rivière Saint-François (1975) T-94
- 3.6.1B Potentiel de fertilité mesuré et potentiel de fertilité anticipé - Tronçon principal de la rivière Saint-François (1975) T-95
- 3.6.2 Potentiel de fertilité mesuré et potentiel de fertilité anticipé - Tributaires de la rivière Saint-François (1975) T-96
- 3.6.3 Potentiel de fertilité mesuré et potentiel de fertilité anticipé - Tronçon principal de la rivière Yamaska (1975) T-97
- 3.6.4A Potentiel de fertilité mesuré et potentiel de fertilité anticipé - Tributaires de la rivière Yamaska (1975) T-98

3.6.4B	Potentiel de fertilité mesuré et potentiel de fertilité anticipé - Tributaires de la rivière Yamaska (1975)	T-99
3.6.5	Fréquence du phénomène d'intoxication des eaux des bassins des rivières Saint-François et Yamaska (1975)	T-100
3.6.6	Coefficients de stimulation aux ajouts d'oligo-éléments - Rivière Saint-François (1974)	T-101
3.6.7	Coefficients de stimulation aux ajouts d'oligo-éléments - Rivière Yamaska (1974)	T-102
3.6.8	Effet de dilution et d'ajouts d'EDTA sur la mesure du potentiel de fertilité	T-103
3.6.9	Variations diurnes du potentiel de fertilité illustrant la présence croissante de substances toxiques	T-104
4.1	Elaboration d'un réseau d'acquisition de données relatives aux substances nutritives - Objectifs possibles	T-105
4.2	Estimation de la fréquence de mesure: valeurs des coefficients statistiques K et f	T-106
4.3	Résumé des méthodes analytiques proposées pour la détermination des paramètres physico-chimiques pertinents à l'étude des substances nutritives	T-107
4.4	Résumé des méthodes analytiques proposées pour la détermination des paramètres biologiques pertinents à l'étude des substances nutritives	T-108

## LISTE DES FIGURES

	<u>Page</u>
2.1 Stations d'échantillonnage dans le bassin versant de la rivière Yamaska	F-1
2.2 Stations d'échantillonnage dans le bassin versant de la rivière Saint-François	F-2
2.3 Courbe de croissance de <u>S. Capricornutum</u>	F-3
3.1.1 Variation saisonnière des concentrations moyennes de substances nutritives dans les eaux du bassin de la rivière Yamaska	F-4
3.1.2 Variation saisonnière des concentrations moyennes de substances nutritives dans les eaux du bassin de la rivière Saint-François	F-5
3.1.3 Variation saisonnière des formes oxydées et organiques d'azote et des formes organiques de phosphore sur les bassins des rivières Yamaska et Saint-François	F-6
3.2.1 Evolution longitudinale du potentiel de fertilité: bassin de la rivière Saint-François, 1974-1975	F-7
3.2.2 Caractérisation du niveau d'enrichissement des eaux en substances nutritives: rivière Saint-François, 1974-1975	F-8
3.2.3 Evolution des débits et des mesures du potentiel de fertilité: rivière Saint-Germain, 1974	F-9
3.2.4 Evolution des débits et des mesures du potentiel de fertilité: rivière Saint-Germain, 1975	F-10
3.2.5 Evolution des débits et des mesures du potentiel de fertilité: rivière Saint-François à Pierreville, 1974	F-11

3.2.6	Evolution des débits et des mesures du potentiel de fertilité: Saint-François à Pierreville, 1975	F-12
3.2.7	Evolution des débits et des mesures du potentiel de fertilité: rivière au Saumon, 1974	F-13
3.2.8	Evolution des débits et des mesures du potentiel de fertilité: rivière au Saumon, 1975	F-14
3.2.9	Evolution des débits et des mesures du potentiel de fertilité: rivière Saint-François à Bromptonville, 1974	F-15
3.2.10	Evolution des débits et des mesures du potentiel de fertilité: rivière Saint-François à Bromptonville, 1975	F-16
3.2.11	Evolution dans le temps et dans l'espace des mesures de simula- tion de croissance aux ajouts de phosphore: bassin de la riviè- re Saint-François, 1974	F-17
3.2.12	Evolution dans le temps et dans l'espace des mesures de simu- lation de croissance aux ajouts de phosphore: bassin de la ri- vière Saint-François, 1975	F-18
3.2.13	Evolution longitudinale du potentiel de fertilité: bassin de la rivière Yamaska, 1974-1975	F-19
3.2.14	Caractérisation d'un niveau d'enrichissement des eaux en substan- ces nutritives: rivière Yamaska, 1974-1975	F-20
3.2.15	Evolution des débits et des mesures du potentiel de fertilité: rivière Yamaska-Nord en aval de Saint-Alphonse, 1974	F-21
3.2.16	Evolution des débits et des mesures du potentiel de fertilité: rivière Yamaska-Nord en aval de Saint-Alphonse, 1975	F-22
3.2.17	Evolution dans le temps du potentiel de fertilité: rivière Yamaska-Nord, 1974	F-23

3.2.18	Evolution dans le temps du potentiel de fertilité: rivière Yamaska-Nord, 1975	F-24
3.2.19	Evolution des débits et des mesures du potentiel de fertilité: rivière Yamaska Sud-Est en aval de Brigham, 1974	F-25
3.2.20	Evolution des débits et des mesures du potentiel de fertilité: rivière Yamaska en aval de Brigham, 1975	F-26
3.2.21	Evolution dans le temps du potentiel de fertilité: rivière Yamaska Sud-Est, 1974	F-27
3.2.22	Evolution dans le temps du potentiel de fertilité: rivière Yamaska Sud-Est, 1975	F-28
3.2.23	Evolution des débits et des mesures du potentiel de fertilité: rivière Yamaska à Adamsville, 1974	F-29
3.2.24	Evolution des débits et des mesures du potentiel de fertilité: rivière Yamaska à Adamsville, 1975	F-30
3.2.25	Evolution des débits et des mesures du potentiel de fertilité: rivière Noire à Saint-Pie, 1974	F-31
3.2.26	Evolution des débits et des mesures du potentiel de fertilité: rivière Noire à Saint-Pie, 1975	F-32
3.2.27	Evolution dans le temps du potentiel de fertilité: rivière Noire, 1974	F-33
3.2.28	Evolution dans le temps du potentiel de fertilité: rivière Noire, 1975	F-34
3.2.29	Evolution des débits et des mesures du potentiel de fertilité: rivière Yamaska à Saint-Damase, 1974	F-35
3.2.30	Evolution des débits et des mesures du potentiel de fertilité: rivière Yamaska à Saint-Damase, 1975	F-36

3.2.31	Evolution des débits et des mesures du potentiel de fertilité: rivière Yamaska à Saint-Marcel, 1974	F-37
3.2.32	Evolution des débits et des mesures du potentiel de fertilité: rivière Yamaska à Saint-Marcel, 1975	F-38
3.2.33	Evolution dans le temps et dans l'espace des mesures de stimulation de croissance aux ajouts d'azote; bassin de la rivière Yamaska, 1974	F-39
3.2.34	Evolution dans le temps et dans l'espace des mesures de stimulation de croissance aux ajouts d'azote; bassin de la rivière Yamaska, 1975	F-40
3.3.1	Evolution diurne du potentiel autotrophe aux stations d'Adamsville et de Saint-Alphonse	F-41
3.3.2	Evolution saisonnière du potentiel autotrophe aux stations spéciales du bassin versant de la rivière Yamaska	F-42
3.3.3	Evolution saisonnière du potentiel autotrophe aux stations spéciales du bassin versant de la rivière Saint-François	F-43
3.4.1	Assimilation du glucose-U- <sup>14</sup> C: A- assimilation conforme au modèle cinétique de transport actif; B- assimilation conforme au modèle cinétique de transport par diffusion	F-44
3.4.2	Incidence du comportement hétérotrophe de type Michaelis-Menten (M-M) aux stations spéciales dans les bassins des rivières Yamaska (A) et Saint-François (B) durant les années 1974-75	F-45
3.4.3	Temps de renouvellement du glucose aux stations spéciales dans le bassin versant de la rivière Yamaska	F-46
3.4.4	Temps de renouvellement du glucose aux stations spéciales dans le bassin versant de la rivière Saint-François	F-47
3.4.5	Pourcentage de glucose respiré aux stations spéciales dans le bassin versant de la rivière Yamaska	F-48

3.4.6	Pourcentage de glucose respiré aux stations spéciales dans le bassin versant de la rivière Saint-François	F-49
4.1	Résumé des étapes à réaliser lors de l'élaboration d'un programme d'acquisition de données de qualité de l'eau	F-50
4.2	Méthode d'étude des substances nutritives - schéma analytique proposé (paramètres physico-chimiques)	F-51
4.3	Méthode d'étude des substances nutritives - schéma analytique proposé (paramètres biologiques)	F-52

## LISTE DES ANNEXES

- ANNEXE 1. Détermination du potentiel de fertilité: traitement des données brutes
- ANNEXE 2. Emploi du test de fertilité pour mettre en évidence la présence de substances toxiques: description des expériences préliminaires
- ANNEXE 3. Détermination du potentiel autotrophe, du potentiel hétérotrophe-glucose et du potentiel hétérotrophe sulfate: protocoles expérimentaux détaillés
- ANNEXE 4. Echantillonnage des eaux des rivières Yamaska et Saint-François - résumé des dates des campagnes d'échantillonnage effectuées par l'équipe de terrain du MRN (Qualité)
- ANNEXE 5. Qualité physico-chimique des eaux des rivières Yamaska et Saint-François - statistiques sommaires
- ANNEXE 6. Qualité physico-chimique des eaux de la rivière Yamaska - analyse multivariée des données relatives aux substances nutritives
- ANNEXE 7. Potentiel hétérotrophe (glucose) - analyse statistique des valeurs de pourcentage de respiration
- ANNEXE 8. Débits journaliers simulés pour les stations d'échantillonnage spéciales dans les bassins versants des rivières Yamaska et Saint-François; hydrogrammes annuels pour les années 1974 et 1975 (INRS-MRN, 1976)

## TABLEAUX



TABLEAU 2.1: CALENDRIER DES ACTIVITES: PRELEVEMENTS ET ANALYSES<sup>1</sup> REALISES PENDANT L'ETUDE

Date Paramètre	1974											
	Janvier	Février	Mars	Avril <sup>2</sup>	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
Potentiel de fertilité	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Facteur limitant	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Potentiel autotrophe			*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Potentiel hétérotrophe: Glucose Sulfate			*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
1975												
Potentiel de fertilité	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*		
Facteur limitant	*	*	*	**	*	*	*	*				
Potentiel autotrophe	*	*	*	**	*	*	*	*	*	*	*	
Potentiel hétérotrophe: Glucose Sulfate	*	*	*	**	*	*	*	*	*	*	*	

<sup>1</sup> Analyses autres que physico-chimiques.

<sup>2</sup> Deux campagnes furent effectuées en avril 1975, soit du 1 au 3 et du 28 au 30.

<sup>3</sup> Mesures réalisées aux stations de St-Alphonse (Y-12) et d'Adamsville (Y-13) seulement.

TABLEAU 2.2: PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES ANALYSES<sup>1</sup>

CLASSES	PARAMETRES	METHODES	TYPE D'ECHAN-TILLON <sup>2</sup>	FIDELITE	LIMITE DE DETECTION
Cations majeurs	Ca	Absorption atomique	F, NF	± 0.5%	0.05 ppm Ca
	Mg	Absorption atomique	F, NF	± 0.5%	0.01 ppm Mg
	K	Emission atomique	F	± 0.5%	0.05 ppm K
	Na	Emission atomique	F	± 0.5%	0.05 ppm Na
	SiO <sub>2</sub>	Colorimétrie	NF	± 0.5%	0.1 ppm SiO <sub>2</sub>
Anions majeurs	Cl	Colorimétrie	F, NF	± 0.5%	0.1 ppm Cl
	SO <sub>4</sub>	Colorimétrie	F, NF	± 1.0%	0.1 ppm SO <sub>4</sub>
<i>Substances nutritives</i> <sup>4</sup>	C-inorg.	Acidification	F, NF	± 0.5%	0.1 ppm C
	C-total	Oxydation	F, NF	± 1.0%	0.1 ppm C
	N-Kjeldahl	Colorimétrie	F, NF	± 1.0%	0.02 ppm N
	N-NH <sub>3</sub>	Colorimétrie	F, NF	± 0.5%	0.01 ppm N
	N-NO <sub>3</sub>	Colorimétrie	F, NF	± 1.5%	0.1 ppm NO <sub>3</sub>
	P-total	Colorimétrie	F, NF	± 1 %	0.02 ppm PO <sub>4</sub> <sup>3</sup>
	P-hydroly	Colorimétrie	F, NF	± 1 %	0.02 ppm PO <sub>4</sub> <sup>4</sup>
	PO <sub>4</sub> -ortho.	Colorimétrie	F, NF	± 1 %	0.02 ppm PO <sub>4</sub> <sup>4</sup>
Paramètres physiques	Conductivité	Electrochimie	NF	± 1.0%	0.1 µmhos/cm
	Solides en suspension	Filtration	NF	<sup>3</sup>	<sup>3</sup>
	Turbidité	Optique	NF	± 0.5%	0.1 unités Jackson

<sup>1</sup> Les analyses furent effectuées par le laboratoire du Service de la Qualité des Eaux du MRN.

<sup>2</sup> Type d'échantillon: NF = non-filtré; F = filtré (membrane Gelman 0.45 µm pour les substances nutritives; membrane Millipore 0.45 µm, lavée à l'acide nitrique, pour les ions majeurs).

<sup>3</sup> Résultat non disponible.

<sup>4</sup> Paramètres étudiés dans le cadre de ce projet.

TABLEAU 3.1.1: LISTE DES STATIONS SITUÉES DANS LE BASSIN DE LA RIVIÈRE YAMASKA ET LEUR LOCALISATION

Station	Rivière	Localisation <sup>1</sup>
1- 03030Y	Yamaska	au pont-route à Yamaska
2- 03031M	David	au pont-route à l'embouchure
3- 03030Z	Yamaska	au pont-route de Saint-Marcel
4- 03031N	Salvail	au pont-route à son embouchure
5- 03031P	Chibouet	au pont-route à Saint-Hughes
6- 03030D	Yamaska	au pont-route 20
7- 03031A	Yamaska	au pont-route à Douville
8- 03031B	Yamaska	au pont-route à 4,0 km en amont de la Rivière Noire
9- 03030C	Noire	au pont-route à Saint-Pie
10- 03031H	Yamaska	au pont-route à 1,6 km en aval de Farnham
11- 03031G	Yamaska Sud-Est	à 10,9 km en aval de Brigham
12- 03031D	Yamaska-Nord	au pont-route à 1,9 km en aval de Saint-Alphonse de Granby
13- 03031E	Yamaska	au pont-route à 5,1 km en aval d'Adamsville
14- 03031F	Yamaska Sud-Est	au pont-route à 7,7 km en aval de Cowansville
15- 03031C	Yamaska-Nord	au pont-route à 7,7 km en aval de Granby
16- 03031R	Yamaska-Nord	au pont-route 39 à 2,9 km en aval du lac Waterloo
17- 03031Q	Noire	au pont-route de Saint-Hector de Bagot
18- 03031K	Saint-Nazaire	au pont-route à 2,4 km de son embouchure
19- 03031J	Noire	au pont-route à 2,8 km en aval de Roxton-Falls

<sup>1</sup> Pour la localisation des stations d'échantillonnage, voir la Figure 2.1.

TABLEAU 3.1.2: LISTE DES STATIONS SITUÉES DANS LE BASSIN DE  
LA RIVIÈRE SAINT-FRANÇOIS ET LEUR LOCALISATION

<u>Station</u>	<u>Rivière</u>	<u>Localisation</u> <sup>1</sup>
1- 03021L	Saint-François	au pont-route à Pierreville
2- 03021N	Saint-Germain	au pont-route à son embouchure
3- 03021M	Saint-François	au pont-route en amont de la rivière Saint-Germain
4- 03021P	Saint-François	au pont-route 22 à Richmond
5- 03021Q	Saint-François	au pont-route 5-22 à Bromptonville
6- 03021S	Magog	au pont-route 55 à la sortie du lac Memphremagog
7- 03021R	Magog	au pont-route de Rock Forest
8- 03021V	Saint-François	au pont-route en amont de la rivière Massawippi
9- 03021U	Massawippi	au pont-route à 0.8 km en aval de la rivière Coaticook
10- 03021T	Ascot	au pont-route à Huntingville
11- 03020Y	Saint-François	au pont-route 1 à Ascot Corner
12- 03020C	Eaton	à 0.6 km de la rivière Saint-François
13- 03021W	Saint-François	au pont-route en amont de la rivière Eaton
14- 03021Y	Saint-François	au pont-route à 0.6 km en aval de la rivière Au Saumon
15- 03021X	Au Saumon	au pont-route de Fontainebleau
16- 03021Z	Saint-François	au barrage à la sortie du lac Aylmer
17- 03022A	Saint-François	au pont-route à la sortie du lac Saint-François

<sup>1</sup> Pour la localisation des stations d'échantillonnage,  
voir la Figure 2.2.

**TABEAU 3.1.3: CONCENTRATIONS MOYENNES DES SUBSTANCES NUTRITIVES POUR CHACUNE DES STATIONS DU BASSIN DE LA RIVIERE YAMASKA.**

Paramètres <sup>1</sup> Stations		Concentrations moyennes (mg/l)											
		P-total (NF)	P-total (F)	P-hydr. (NF)	P-hydr. (F)	P-org. (NF)	P-org. (F)	N-total (F)	N-org. (F)	N-inorg. (F)	N-NH <sub>4</sub> (F)	N-NO <sub>2-3</sub> (F)	C-org. (F)
1	03030Y	.14	.10	.12	.08	.02	.02	1.37	.33	1.04	.43	.61	11
2	03031M	.13	.09	.11	.07	.02	.02	1.10	.35	.75	.38	.36	15
3	03030Z	.15	.12	.12	.09	.03	.02	1.35	.30	1.04	.40	.64	11
4	03031N	.15	.11	.13	.09	.02	.02	1.55	.28	1.26	.53	.85	23
5	03031P	.23	.20	.19	.15	.05	.05	2.03	.41	1.62	.74	.87	18
6	03030D	.14	.12	.10	.08	.03	.03	1.29	.29	1.00	.47	.54	11
7	03031A	.14	.09	.11	.07	.03	.02	1.12	.26	.87	.39	.48	12
8	03031B	.16	.12	.13	.09	.03	.03	1.13	.28	.86	.37	.49	13
9	03030C	.10	.08	.08	.06	.02	.02	1.04	.25	.79	.34	.45	13
10	03031H	.14	.12	.11	.08	.04	.03	.93	.28	.64	.26	.39	8
11	03031G	.10	.08	.07	.05	.03	.02	.87	.25	.62	.18	.44	7
12	03031D	.65	.48	.53	.36	.11	.11	2.43	.89	1.54	1.12	.43	16
13	03031E	.04	.01	.01	<.01	.03	.01	.48	.18	.29	.07	.22	6
14	03031F	.18	.12	.15	.09	.03	.03	1.01	.27	.70	.33	.39	8
15	03031C	.49	.32	.38	.24	.11	.06	1.98	.78	1.21	.85	.34	12
16	03031R	.71	.63	.55	.56	.11	.10	2.14	.70	1.44	.88	.56	11
17	03031Q	.09	.08	.06	.06	.02	.03	.85	.25	.59	.26	.33	10
18	03031K	.12	.11	.10	.08	.03	.03	1.17	.28	.89	.39	.50	11
19	03031J	.05	.05	.04	.03	.02	.02	.60	.24	.36	.10	.26	8
Ensemble des stations		.21	.16	.16	.12	.04	.04	1.28	.36	.91	.44	.47	11

<sup>1</sup> NF = non filtré; F = filtré.

TABLEAU 3.1.4: CONCENTRATIONS MOYENNES DES SUBSTANCES NUTRITIVES POUR CHACUNE DES STATIONS DU BASSIN DE LA RIVIERE SAINT-FRANCOIS.

Paramètres <sup>1</sup> Stations		Concentrations moyennes <sup>2</sup> (mg/l)											
		P-total (NF)	P-total (F)	P-hydr. (NF)	P-hydr. (F)	P-org. (NF)	P-org. (F)	N-total (F)	N-org. (F)	N-inorg. (F)	N-NH <sub>4</sub> (F)	N-NO <sub>2-3</sub> (F)	C-org. (F)
1	03021L	.062	.016	.025	.005	.042	.011	.58	.27	.30	.07	.23	10
2	03021N	.167	.107	.132	.081	.036	.027	1.36	.53	.83	.47	.37	14
3	03021M	.030	.022	.016	.004	.015	.019	.55	.28	.27	.04	.23	10
4	03021P	.042	.019	.023	.007	.022	.014	.60	.29	.31	.06	.25	11
5	03021Q	.029	.013	.014	.004	.015	.009	.50	.25	.25	.02	.23	9
6	03021S	.029	.017	.011	.007	.021	.010	.35	.22	.15	.03	.12	7
7	03021R	.017	.010	.009	.001	.009	.008	.34	.21	.13	.03	.11	6
8	03021V	.021	.012	.009	.002	.014	.010	.51	.23	.28	.03	.25	11
9	03021U	.021	.013	.011	.005	.008	.008	.53	.17	.37	.04	.23	6
10	03021T	.016	.011	.006	.001	.010	.009	.65	.17	.48	.04	.47	6
11	03020Y	.015	.008	.009	.003	.006	.005	.49	.22	.27	.04	.23	11
12	03020C	.016	.101	.009	.005	.007	.005	.64	.22	.41	.06	.35	7
13	03021W	.011	.010	.004	.001	.008	.009	.48	.23	.25	.02	.24	9
14	03021Y	.014	.010	.003	.001	.012	.008	.45	.22	.23	.01	.22	10
15	03021X	.009	.006	.001	.001	.006	.005	.51	.19	.32	.02	.30	7
16	03021Z	.014	.010	.003	.001	.010	.008	.48	.23	.24	.03	.22	10
17	03022A	.012	.007	.003	.002	.010	.005	.48	.24	.24	.01	.23	11
Ensemble des stations		.030	.017	.016	.007	.014	.010	.56	.24	.31	.06	.26	9

<sup>1</sup> NF = non filtré; F = filtré.

<sup>2</sup> Les valeurs de phosphore inférieures à 0.01 mg P/l sont considérées nulles: par conséquent, les concentrations moyennes sont légèrement sous-estimées.

TABLEAU 3.1.5: COEFFICIENTS DE VARIATION DES SUBSTANCES NUTRITIVES POUR CHACUNE DES STATIONS DU BASSIN DE LA RIVIERE YAMASKA.

Paramètres <sup>1</sup> Stations		Coefficients de variation (%)											
		P-total (NF)	P-total (F)	P-hydr. (NF)	P-hydr. (F)	P-org. (NF)	P-org. (F)	N-total (F)	N-org. (F)	N-inorg. (F)	N-NH <sub>4</sub> (F)	N-NO <sub>2-3</sub> (F)	C-org. (F)
1	03030Y	41	50	43	57	59	93	42	46	59	101	42	42
2	03031M	37	49	41	52	77	83	65	51	89	113	75	40
3	03030Z	42	52	45	59	82	90	45	49	57	110	39	40
4	03031N	55	74	72	99	114	68	39	49	51	94	65	127 <sup>2</sup>
5	03031P	151 <sup>3</sup>	188 <sup>3</sup>	171 <sup>4</sup>	204 <sup>5</sup>	89	162	35	72	51	79	50	45
6	03030D	53	63	68	82	83	59	42	63	54	82	41	34
7	03031A	67	54	82	73	82	87	41	58	55	76	48	37
8	03031B	45	52	50	67	69	93	37	52	55	75	49	78
9	03030C	32	39	52	61	77	72	39	59	56	72	46	81
10	03031H	67	70	86	99	88	98	38	79	56	101	37	42
11	03031G	53	62	58	80	96	114	35	79	58	101	47	48
12	03031D	68	63	78	75	89	100	69	87	91	128	73	49
13	03031E	145	108	80	152	219	127	39	53	70	112	64	36
14	03031F	108	97	135	112	136	105	50	59	59	149	50	49
15	03031C	107	87	117	105	134	87	104	148	98	143	76	48
16	03031R	93	96	85	97	162	161	48	90	42	65	74	47
17	03031Q	62	70	77	90	111	95	36	78	66	94	55	37
18	03031K	85	97	113	125	126	104	35	92	59	101	39	52
19	03031J	45	55	66	80	108	109	42	64	82	142	68	41
Ensemble des stations		144	154	148	164	165	166	73	118	80	138	66	77

<sup>1</sup> NF = non filtré; F = filtré.

<sup>2</sup> Résultat d'une valeur élevée de concentration égale à 112 mg/l le 4 mars 1975

<sup>3</sup> Résultat d'une valeur élevée de concentration égale à 1.63 mg/l le 15 juillet 1975

<sup>4</sup> Résultat d'une valeur élevée de concentration égale à 1.47 mg/l le 15 juillet 1975

<sup>5</sup> Résultat d'une valeur élevée de concentration égale à 1.34 mg/l le 15 juillet 1975

TABLEAU 3.1.6: COEFFICIENTS DE VARIATION DES SUBSTANCES NUTRITIVES POUR CHACUNE DES STATIONS DU BASSIN DE LA RIVIERE SAINT-FRANCOIS.

Paramètres <sup>1</sup> Stations		Coefficients de variation (%)											
		P-total (NF)	P-total (F)	P-hydr. (NF)	P-hydr. (F)	P-org. (NF)	P-org. (F)	N-total (F)	N-org. (F)	N-inorg. (F)	N-NH <sub>4</sub> (F)	N-NO <sub>2-3</sub> (F)	C-org. (F)
1	03021L	107	77	47	97	171	125	41	28	79	176	67	23
2	03021N	79	76	74	104	203	114	36	37	49	67	45	24
3	03021M	65	86	46	139	122	96	38	30	81	164	78	23
4	03021P	75	102	42	109	133	123	36	52	56	152	58	32
5	03021Q	60	101	60	184	100	137	30	34	62	173	61	24
6	03021S	101	74	107	96	132	104	24	40	71	130	72	35
7	03021R	87	117	90	264	123	143	35	32	87	127	87	40
8	03021V	77	84	74	227	117	100	33	36	63	226	56	25
9	03021U	70	94	60	111	95	118	37	48	58	140	54	46
10	03021T	88	97	144	264	104	122	47	50	70	153	70	61
11	03020Y	74	103	86	172	138	156	36	28	69	244	52	31
12	03020C	126	110	240	200	147	137	38	41	70	197	64	54
13	03021W	70	103	127	264	118	122	22	22	41	213	39	28
14	03021Y	75	89	172	264	101	108	20	20	38	116	40	26
15	03021X	97	115	254	387 <sup>2</sup>	144	139	29	43	58	209	55	55
16	03021Z	71	82	164	264	118	108	20	22	26	148	25	17
17	03022A	158	103	172	207	185	159	20	26	22	145	23	16
Ensemble des stations		173	177	235	365	194	139	52	48	79	238	67	38

<sup>1</sup> NF = non filtré; F = filtré.

<sup>2</sup> Cette valeur s'exprime par le fait que seulement 2 valeurs sur 15 sont au-dessus de la limite de détection.

TABLEAU 3.1.7: CLASSEMENT DES SUBSTANCES NUTRITIVES PAR ORDRE ASCENDANT DES COEFFICIENTS DE VARIATION - BASSINS DES RIVIERES YAMASKA ET SAINT-FRANCOIS

Gamme de variation du coefficient de variation (%)	PARAMETRE	
	Bassin de la rivière Yamaska	Bassin de la rivière Saint-François
0 < C.V. < 100	N-NO <sub>3</sub> filtré N-total filtré C-organique filtré N-inorganique filtré	C-organique filtré N-organique filtré N-total filtré N-NO <sub>2-3</sub> filtré N-inorganique filtré
100 < C.V. < 200	N-organique filtré N-NH <sub>4</sub> filtré P-total non filtré P-hydrolysable non filtré P-total filtré P-hydrolysable filtré P-organique non filtré P-organique filtré	P-organique filtré P-total non filtré P-total filtré P-organique non filtré
200 < C.V. < 400		P-hydrolysable non filtré N-NH <sub>4</sub> filtré P-hydrolysable filtré

TABLEAU 3.1.8: CLASSEMENT PAR ORDRE ASCENDANT ET GROUPEMENT PAR LE TEST DE SCHEFFE<sup>1</sup> DES CONCENTRATIONS MOYENNES OBTENUES AUX STATIONS SITUÉES DANS LE BASSIN DE LA RIVIÈRE YAMASKA <sup>2</sup>

P-total non filtré	13 19 17 9 11 18 2 6 1 7 10 3 4 8 14 5 15 12 16
P-total filtré	13 19 9 11 17 2 7 1 18 4 6 10 14 3 8 5 15 12 16
P-hydr. non filtré	13 19 17 11 9 18 6 7 10 2 1 3 4 8 14 5 15 12 16
P-hydr. filtré	13 19 11 17 9 2 7 1 18 6 10 14 8 4 3 5 15 12 16
P-org. non filtré	19 9 1 4 2 17 18 13 8 3 7 14 11 6 10 5 15 16 12
P-org. filtré	13 9 19 1 4 2 3 7 11 18 17 6 8 10 14 5 15 16 12
N-total filtré	13 19 17 11 10 14 9 2 7 8 18 6 3 1 4 15 5 16 12
N-org. filtré	13 19 9 11 17 7 14 8 10 18 4 6 3 1 2 5 16 15 12
N-inorg. filtré	13 19 17 11 10 14 2 9 8 7 18 6 1 3 15 4 16 12 5
N-NH <sub>4</sub> filtré	13 19 11 10 17 14 9 8 2 18 7 3 1 6 4 5 15 16 12
N-NO <sub>3</sub> filtré	13 19 17 15 2 10 14 12 11 9 7 8 18 6 16 1 3 4 5
C-org. filtré	13 11 14 10 19 17 18 3 1 6 16 7 15 9 8 2 12 5 4

<sup>1</sup> Le test de Scheffe est appliqué au niveau de signification de 5%.

<sup>2</sup> Pour l'identification et la localisation de chaque station, voir le Tableau 3.1.1.

TABLEAU 3.1.9: CLASSEMENT PAR ORDRE ASCENDANT ET GROUPEMENT PAR LE TEST DE SCHEFFE<sup>1</sup> DES CONCENTRATIONS MOYENNES OBTENUES AUX STATIONS SITUEES SUR LE BASSIN DE LA RIVIERE SAINT-FRANCOIS<sup>2</sup>.

P-total non filtré	15 13 17 16 14 11 12 10 7 9 8 5 6 3 4 1 2
P-total filtré	15 17 11 7 12 13 14 16 10 8 5 9 1 6 4 3 2
P-hydr. non filtré	15 14 17 16 13 10 7 8 12 11 6 9 5 3 4 1 2
P-hydr. filtré	15 7 10 13 14 16 8 17 11 3 5 9 1 12 4 6 2
P-org. non filtré	11 15 12 13 9 7 10 16 17 14 8 5 3 6 4 2 1
P-org. filtré	12 17 11 15 7 9 14 16 5 10 13 8 6 1 4 3 2
N-total filtré	7 6 14 16 13 17 11 5 15 8 9 3 1 4 12 10 2
N-org. filtré	9 10 15 7 11 6 12 14 13 16 8 17 5 1 3 4 2
N-inorg. filtré	7 6 14 17 16 5 13 3 11 8 1 4 15 9 12 10 2
N-NH <sub>4</sub> filtré	14 17 13 15 5 16 7 8 6 11 3 9 10 12 4 1 2
N-NO <sub>3</sub> filtré	7 6 14 16 17 3 5 1 11 13 4 8 15 9 12 2 10
C-org. filtré	10 9 7 6 12 15 5 13 1 3 14 16 8 17 4 11 2

<sup>1</sup> Le test de Scheffe est appliqué au niveau de signification de 5%

<sup>2</sup> Pour l'identification et la localisation de chaque station, voir le Tableau 3.1.2.

TABLEAU 3.1.10:

CLASSIFICATION PAR ORDRE ASCENDANT ET GROUPEMENT PAR LE TEST DE SCHEFFE DES CONCENTRATIONS MOYENNES OBTENUES A DES PERIODES DE TEMPS DE TROIS MOIS POUR SEIZE STATIONS DANS LE BASSIN DE LA RIVIERE YAMASKA<sup>1</sup>

Paramètres	Périodes de temps <sup>2,3</sup>
P-total non filtré	6 4 5 3 2 1 7
P-total filtré	2 6 3 4 5 1 7
P-hydr. non filtré	2 3 6 4 5 1 7
P-hydr. filtré	2 3 6 4 5 1 7
P-org. non filtré	1 5 6 4 3 2 7
P-org. filtré	1 6 5 4 3 2 7
N-total filtré	3 4 2 7 6 5 1
N-org. filtré	1 6 5 2 3 4 7
N-inorg. filtré	3 7 4 2 6 5 1
N-NH <sub>4</sub> filtré	3 4 2 7 6 5 1
N-NO <sub>3</sub> filtré	7 4 2 3 6 1 5
C-org. filtré	5 4 1 2 6 7

<sup>1</sup> Les stations 03031D, 03031C et 03031R ont été éliminées (voir le texte pour des explications).

<sup>2</sup> Les regroupements des mois et la numérotation des périodes de temps qui en résultent, sont décrits dans le texte (section 3.1.2)

<sup>3</sup> Le test de Scheffe est appliqué au niveau de signification de 5%.

TABLEAU 3.1.11: CLASSIFICATION PAR ORDRE ASCENDANT ET GROUPEMENT PAR LE TEST DE SCHEFFE DES CONCENTRATIONS MOYENNES OBTENUES A DES PERIODES DE TEMPS DE TROIS MOIS POUR SEIZE STATIONS DANS LE BASSIN DE LA RIVIERE SAINT-FRANCOIS <sup>1</sup>

Paramètres	Périodes de temps <sup>2</sup> <sup>3</sup>
P-total non filtré	3 1 6 7 5 2 4
P-total filtré	1 2 3 7 5 6 4
P-hydr. non filtré	7 4 6 3 5 2
P-hydr. filtré	1 7 3 2 4 6 5
P-org. non filtré	3 6 7 5 2 4
P-org. filtré	5 1 2 6 3 7 4
N-total filtré	7 3 4 6 5 1 2
N-org. filtré	5 2 6 4 7 3 1
N-inorg. filtré	7 3 4 6 5 1 2
N-NH <sub>4</sub> filtré	3 5 4 7 6 1 2
N-NO <sub>3</sub> filtré	7 3 4 6 2 1 5
C-org. filtré	1 5 6 2 4 7

<sup>1</sup> La station 03021N a été éliminée (voir le texte pour des explications).

<sup>2</sup> Le regroupement des mois et la numérotation des périodes de temps qui en résultent, sont décrits dans le texte (section 3.1.2).

<sup>3</sup> Le test de Scheffe est appliqué au niveau de signification de 5%.

TABLEAU 3.1.12: CONCENTRATIONS CRITIQUES EN SUBSTANCES NUTRITIVES DANS LES EAUX NATURELLES -  
COMPILATION DE RESULTATS TROUVES DANS LA LITTERATURE

Auteur	Milieu	Paramètre	Forme <sup>1</sup>	Concentration (µg/l de N ou P) <sup>2</sup>	Remarques
A Sawyer (1947)	lac	N-inorg.	S	300 <sup>2</sup>	concentrations au delà desquelles il y a danger de fleurs d'eau ("bloom d'algues")
		P-inorg.	S	10	
Sylvester (1961)	lac	N-NO <sub>3</sub> P-total	S S	200 <sup>2</sup> 10	concentrations au delà desquelles il y a danger de fleurs d'eau ("bloom d'algues")
Vollenweider (1968)	lac	N-inorg.	S + P	<200	concentration donnant lieu à un: état ultra-oligotrophe état oligo-mesotrophe état meso-eutrophe état eu-polytrophe état polytrophe
				200-400 300-650 500-1500 >1500	
Dillon et Rigler (1975)	lac	P-total	S + P	<5	concentration donnant lieu à un: état ultra-oligotrophe état oligo-mesotrophe état meso-eutrophe état eu-polytrophe état polytrophe
				5-10 10-30 30-300 >100	
Dillon et Rigler (1975)	lac	P-total	S + P	10 <sup>2 3</sup>	concentration donnant lieu à des teneurs en chlorophylle-a de ~ 2 mg/l; récréation possible; pêche d'eaux froides
				56 <sup>2 3</sup>	
B Mackenthun (1968)	rivière (entrée d'un lac ou réservoir)	P-total	S + P	50	concentration au delà de laquelle il y a danger de surproduction d'algues dans le lac ou le réservoir en aval
	rivière	P-total	S + P	100	concentration au delà de laquelle il y a danger de surproduction d'algues dans le cours d'eau
Nisbet et Verneaux (1970)	rivière	N-NO <sub>3</sub>	(S) <sup>4</sup>	<225	eaux très peu productives eaux peu productives eaux moyennement productives eaux très productives eaux polluées eaux nettement polluées
				225-675	
				675-1130 1130-2260 2260-3390 >3390	
		N-NH <sub>4</sub>	- <sup>5</sup>	<10	situation normale à douteuse pollution insidieuse sensible pollution critique
				10-1000	
				≥1000	
		Phosphates <sup>6</sup>	- <sup>5</sup>	<10	eaux très peu productives eaux peu productives eaux moyennement productives eaux très productives eaux polluées eaux nettement polluées
				10-50	
				50-150 150-300 300-500 >500	
Wurhmann et Eichenburger (1975)	ruisseau expérimental	N-inorg.	S	500-700	} concentrations au delà desquelles la production de périphyton (microphytes) n'augmente plus
		P-inorg.	(S) <sup>7</sup>	8	
Wong et Clark (1976)	ruisseau	P-total	S + P	60	concentration au delà de laquelle la production de <i>Cladophora</i> n'augmente plus

<sup>1</sup> Explication des symboles: S = soluble; P = particulaire.

<sup>2</sup> Concentration mesurée dans un lac à l'isothermie printanière (brassage vernal).

<sup>3</sup> Concentrations limites établies pour des lacs où le phosphore est le facteur chimique limitant la production primaire (rapport {N/P} > 12 selon Dillon et Rigler, 1975).

<sup>4</sup> La forme des Nitrates n'est pas spécifiée; compte tenu de la chimie des nitrates, cependant, on peut supposer que la quasi-totalité de l'azote nitrique se trouve en solution.

<sup>5</sup> La forme de l'élément nutritif n'est pas spécifiée; contrairement aux cas (4) et (7), on ne peut faire d'hypothèse quant à la forme prédominante.

<sup>6</sup> Le paramètre n'est indiqué que par le sigle "phosphates"; il pourrait s'agir d'orthophosphates, de phosphore inorganique, de phosphore organique, ou encore de phosphore total.

<sup>7</sup> La forme du phosphore n'est pas spécifiée; puisqu'il s'agissait d'une eau d'origine souterraine, cependant, on peut supposer que le phosphore était présent surtout sous forme soluble.

**TABLEAU 3.1.13: FREQUENCE DE DEPASSEMENT DE CONCENTRATIONS LIMITES EN PHOSPHORE HYDROLYSABLE ET EN AZOTE INORGANIQUE - STATIONS D'ECHANTILLONNAGE DANS LE BASSIN DE LA RIVIERE YAMASKA.**

Stations d'échantillonnage		Fréquence de dépassement (%) <sup>1</sup>			
		P-hydrolysable (filtré)		N-inorganique (filtré)	
		>0.009 mg/l	>0.027 mg/l	>0.10 mg/l	>0.3 mg/l
1	03030Y	100	88	94	88
2	03031M	100	88	82	71
3	03030Z	100	94	100	88
4	03031N	87	75	100	93
5	03031P	94	82	100	94
6	03030D	100	82	100	94
7	03031A	100	88	100	94
8	03031B	100	88	100	94
9	03030C	94	83	100	89
10	03031H	100	76	100	89
11	03031G	94	76	89	79
12	03031D	100	100	95	95
13	03031E	35	0	84	42
14	03031F	100	81	100	94
15	03031C	100	94	94	89
16	03031R	100	100	100	100
17	03031Q	94	65	89	79
18	03031K	100	87	94	89
19	03031J	94	56	84	42

<sup>1</sup>. Fréquence de dépassement pour la période s'étendant de novembre 1973 à juillet 1975 inclusivement (15 à 19 prélèvements, selon la station).

TABEAU 3.1.14: FREQUENCE DE DEPASSEMENT DE CONCENTRATIONS LIMITEES EN PHOSPHORE HYDROLYSABLE ET EN AZOTE INORGANIQUE - STATIONS D'ECHANTILLONNAGE DANS LE BASSIN DE LA RIVIERE SAINT-FRANCOIS.

Stations d'échantillonnage		Fréquence de dépassement (%) <sup>1</sup>			
		P-hydrolysable (filtré)		N-inorganique (filtré)	
		>0.009 mg/l	>0.027 mg/l	>0.10 mg/l	>0.3 mg/l
1	03021L	56	0	88	47
2	03021N	93	79	94	94
3	03021M	36	0	88	41
4	03021P	53	0	82	53
5	03021Q	31	0	82	41
6	03021S	63	0	65	6
7	03021R	13	0	59	6
8	03021V	16	0	85	41
9	03021U	50	0	100	53
10	03021T	19	0	100	56
11	03020Y	27	0	94	37
12	03020C	33	7	100	44
13	03021W	13	0	100	37
14	03021Y	13	0	100	12
15	03021X	7	0	100	50
16	03021Z	13	0	100	19
17	03022A	20	0	100	12

<sup>1</sup>. Fréquence de dépassement pour la période s'étendant de novembre 1973 à juin 1975 inclusivement (de 15 à 34 prélèvements, selon la station).

TABLEAU 3.1.15: FREQUENCES DE DEPASSEMENT DE LA CONCENTRATION LIMITE EN AZOTE AMMONIACAL<sup>1</sup> - STATIONS D'ECHANTILLONNAGE DANS LES BASSINS VERSANTS DES RIVIERES YAMASKA ET SAINT-FRANCOIS.

Rivière Yamaska			Rivière Saint-François		
Stations		Fréquence de dépassement	Stations		Fréquence de dépassement
1	03030Y	76	1	03021L	18
2	03031M	71	2	03021N	94
3	03030Z	71	3	03021M	18
4	03031N	80	4	03021P	24
5	03031P	94	5	03021Q	18
6	03030D	94	6	03021S	12
7	03031A	87	7	03021R	6
8	03031B	76	8	03021V	12
9	03030C	83	9	03021U	6
10	03031H	68	10	03021T	12
11	03031G	53	11	03020Y	12
12	03031D	79	12	03020C	12
13	03031E	32	13	03021W	6
14	03031F	72	14	03021Y	0
15	03031C	78	15	03021X	6
16	03031R	100	16	03021Z	6
17	03031Q	63	17	03022A	0
18	03031K	78			
19	03031J	37			

<sup>1</sup> Concentration limite: 0.10 mg N-NH<sub>4</sub> soluble/litre.

**TABEAU 3.1.16:** DIFFERENCES MOYENNES OBTENUES MENSUELLEMENT ENTRE LES ECHANTILLONS NATURELS ET LES ECHANTILLONS FILTRES POUR L'ENSEMBLE DES STATIONS DES BASSINS DE LA RIVIERE YAMASKA ET DE LA RIVIERE SAINT-FRANCOIS

MOIS	Paramètres mesurés <sup>1 2 3</sup>									
	N-total	N-kjeldahl	N-organique	N-NH <sub>4</sub>	N-NO <sub>2-3</sub>	P-total	P-organique	P-PO <sub>4</sub>	P-hydr.	C-organique
NOV 73						-.005	-.007		.002	
DEC 73	-.029	.220 ▼	.235 ▼	-.014	-.250 ▼	-.320 ▼				
JAN 74		-.288 ▼				.019 ■				
FEV 74	.145	.050	.192	-.052 ■	-.018	.052 ■	.009	.126 ■	.086 ■	
MARS 74	-.056 ■	-.076 ▼	-.102 ▼	.026	.025 ▼	.023 ▼	-.006 ▼	.022 ▼	.029 ▼	-.1.89
AVRIL 74	-.134 ▼	-.088 ■	-.067 ▼	-.025	-.045 ▼	.033 ▼	.007 ■	.035 ▼	.025 ▼	1.00
MAI 74	.054	.018	-.071 ■	.089 ▼	.032 ■	.039 ▼	.013	.019 ▼	.026 ▼	.90
JUIN 74	-.004	-.012	-.056 ▼	.044 ▼	.008	.016 ■	.001	.014 ■	.015 ▼	
JUIL 74	-.082 ▼	-.074 ▼	-.107 ▼	.033 ▼	-.014 ■	.022 ▼	.009	.018 ▼	.014 ▼	
AOUT 74	-.013	-.012	-.045	.033 ▼	-.001	.031 ▼	.016	.015 ▼	.015 ▼	
SEPT 74	.098 ■	.094 ■	.039	.055	.004 ■	.029 ▼	.007	.033 ▼	.024 ▼	-1.09 ▼
OCT 74	.019 ▼	.018 ▼	-.025	.043 ■	.001	.029 ▼	.022 ▼	.038 ■	.016 ▼	-.08
NOV 74	.025 ▼	.020 ▼	.016 ▼	.003 ■	.005 ■	.017 ▼	.001	.020 ▼	.018 ▼	-.37
DEC 74	.014 ■	.019 ▼	.014 ■	.005	-.006 ■	.028 ▼	.000	.028 ▼	.028 ▼	3.63 ▼
JAN 75	.038 ▼	.019 ▼	.014 ▼	.005	.019	.020 ▼	.001	.025 ▼	.018 ▼	.70
FEV 75	.016 ▼	.011 ▼	.000	.011 ▼	.005 ▼	.009 ▼	-.006 ▼	.020 ▼	.016 ▼	.55 ■
MARS 75	.010 ■	.013 ▼	.010 ■	.003 ■	-.003	.011 ▼	-.001	.003	.012 ▼	-2.62
AVRIL 75	.023 ▼	.020 ▼	.012 ■	.008 ▼	.003	.009 ▼	.000	.020 ▼	.009 ▼	.12
MAI 75	.024 ▼	.020 ▼	-.025	.046 ■	.004	.032 ▼	-.002	.032 ▼	.034 ▼	1.08 ▼
JUIN 75	.015	.019 ▼	.002	.017	-.004	.021 ■	.005	.013 ▼	.016 ▼	-.41
JUIL 75	-.046	-.012	-.034	.023	-.033	.071 ▼	.002	.078 ▼	.069 ▼	1.39 ■
TOTAL <sup>4</sup>	.005 (0.6)	-.001 (-0.2)	-.015 ■ (-5.3)	.023 ▼ (8.3)	-.004 (-1.0)	.020 ▼ (16.4)	.003 ▼ (12.5)	.027 ▼ (28.1)	.023 ▼ (24.8)	.05 (0.5)

<sup>1</sup> Les différences sont exprimées en mg/l; un signe négatif implique que la concentration moyenne des échantillons filtrés était supérieure à celle des échantillons non filtrés.

<sup>2</sup> Lorsqu'il y a un ▼, la différence est très significativement plus grande ou plus petite que zéro ( $\alpha < 0.01$ ).

<sup>3</sup> Lorsqu'il y a un ■, la différence est significativement plus grande ou plus petite que zéro ( $0.01 < \alpha < 0.05$ ).

<sup>4</sup> Les valeurs entre parenthèses indiquent le rapport, exprimé en %, entre la différence et la concentration moyenne pour les échantillons naturels ( $\bar{D} / \bar{X}_1$ ).

**TABLEAU 3.1.17: DIFFERENCES MOYENNES OBTENUES ENTRE LES ECHANTILLONS NATURELS ET LES ECHANTILLONS FILTRES PROVENANT DES STATIONS D'ECHANTILLONNAGE DES BASSINS DE LA RIVIERE YAMASKA ET DE LA RIVIERE SAINT-FRANCOIS**

Stations	Paramètres mesurés <sup>1 2 3 4</sup>									
	N-total	N-kjeldahl	N-org.	N-NH <sub>4</sub>	N-NO <sub>2-3</sub>	P-total	P-org.	P-PO <sub>4</sub>	P-hydr.	C-org.
Yamaska 11-73 à 07-74	.019 (1.8)	-.013 (-1.9)	-.033 (-16.1)	.055 ▼ (12.9)	-.008 (-1.7)	.013 (6.6)	.005 (12.6)	.046 ▼ (32.3)	.041 ▼ (30.2)	.46 (5.0)
Saint-François 11-73 à 07-74	-.088 ▼ (-18.5)	-.069 ▼ (-27.1)	-.056 ▼ (-32.2)	-.015 (-22.4)	-.019 ▼ (-8.0)	.013 ▼ (58.1)	.002 (29.1)	.013 ▼ (86.1)	.011 ▼ (77.5)	-.25 (-2.9)
Yamaska et Saint-François 11-73 à 07-74	-.029 ■ (-3.5)	-.038 ▼ (-8.1)	-.043 ▼ (-22.7)	.023 ▼ (8.7)	-.013 ■ (-3.4)	.013 ■ (11.5)	.004 ■ (15.1)	.032 ▼ (36.3)	.026 ▼ (34.3)	.17 (1.9)
Yamaska 08-74 à 07-75	.029 ■ (2.1)	.029 ▼ (3.1)	-.010 (-2.3)	.039 ▼ (7.8)	.001 (0.1)	.034 ▼ (16.8)	.002 (5.3)	.041 ▼ (22.8)	.032 ▼ (19.1)	-.06 (-0.5)
Saint-François 08-74 à 07-75	.014 ▼ (2.6)	.013 ▼ (4.3)	.007 ▼ (2.9)	.005 ▼ (11.0)	.001 (0.6)	.012 ▼ (34.4)	.005 ▼ (28.0)	.009 ▼ (45.5)	.007 ▼ (43.4)	.12 (1.3)
Yamaska et Saint-François 08-74 à 07-75	.022 ▼ (2.3)	.021 ▼ (3.4)	-.002 (-0.5)	.023 ▼ (8.0)	.001 (0.3)	.023 ▼ (19.1)	.003 ▼ (11.6)	.025 ▼ (24.8)	.021 ▼ (21.0)	.026 (0.2)

<sup>1</sup> Les différences sont exprimées en mg/l; un signe négatif implique que la concentration moyenne des échantillons filtrés était supérieure à celle des échantillons non filtrés.

<sup>2</sup> Lorsqu'il y a un ▼, la différence est très significativement plus grande ou plus petite que zéro ( $< 0.01$ ).

<sup>3</sup> Lorsqu'il y a un ■, la différence est significativement plus grande ou plus petite que zéro ( $0.01 < < 0.05$ ).

<sup>4</sup> Les valeurs entre parenthèses indiquent le rapport, exprimé en %, entre la différence et la concentration moyenne pour les échantillons naturels ( $D / X_1$ ).

TABLEAU 3.1.18: FRACTION SOLUBLE DES DIVERSES SUBSTANCES NUTRITIVES DANS LES EAUX DES RIVIERES YAMASKA ET SAINT-FRANCOIS <sup>1</sup>

Paramètres	Fraction soluble <sup>2 3</sup>	
	Bassin de la rivière Yamaska	Bassin de la rivière Saint-François
N-total	0.98 (1.38)	0.97 (.55)
N-kjeldahl	0.97 (.93)	0.96 (.30)
N-organique	1.02 (.43)	0.97 (.26)
N-NH <sub>4</sub>	0.92 (.50)	0.89 (.048)
N-NO <sub>2-3</sub>	1.00 (.45)	0.99 (.25)
P-total	0.81 (.20)	0.58 (.030)
P-organique	0.92 (.039)	0.70 (.014)
P-PO <sub>4</sub>	0.75 (.17)	0.45 (.019)
P-hydr.	0.78 (.16)	0.46 (.016)
C-organique	1.00 (11.8)	0.99 (9.6)

<sup>1</sup> La période s'étend de août 1974 à juillet 1975 pour l'azote sous toutes ses formes, et de janvier 1974 à juillet 1975 pour le carbone organique et le phosphore sous toutes leurs formes.

<sup>2</sup> La fraction soluble a été obtenue à partir du rapport de la concentration moyenne des échantillons filtrés sur la concentration moyenne des échantillons non filtrés.

<sup>3</sup> Les valeurs entre parenthèses sont les concentrations moyennes des échantillons naturels (exprimées en mg/l).

TABLEAU 3.1.19: FRACTION SOLUBLE DES DIFFERENTES FORMES DE PHOSPHORE  
DANS LES EAUX DU BASSIN DE LA RIVIERE YAMASKA -  
COMPARAISON DES STATIONS D'ECHANTILLONNAGE <sup>1</sup>

Stations d'échantillonnage		Fraction soluble <sup>2</sup>			
		P-total	P-organique	P-PO <sub>4</sub>	P-hydrolysable
1	03030Y	0.75 (.14)	1.17 (.019)	0.60 (.13)	0.69 (.12)
2	03031M	0.71 (.13)	1.03 (.023)	0.55 (.12)	0.64 (.11)
3	03030Z	0.81 (.15)	0.98 (.025)	0.70 (.13)	0.78 (.12)
4	03031N	0.77 (.14)	1.07 (.021)	0.58 (.14)	0.73 (.12)
5	03031P	0.85 (.24)	1.08 (.046)	0.65 (.23)	0.80 (.20)
6	03030D	0.85 (.14)	0.90 (.036)	0.83 (.10)	0.84 (.10)
7	03031A	0.73 (.13)	0.89 (.027)	0.70 (.10)	0.69 (.10)
8	03031B	0.79 (.15)	1.07 (.030)	0.69 (.13)	0.73 (.13)
9	03030C	0.81 (.10)	1.14 (.017)	0.77 (.08)	0.75 (.08)
10	03031H	0.84 (.14)	0.91 (.039)	0.81 (.10)	0.81 (.11)
11	03031G	0.76 (.10)	0.79 (.032)	0.71 (.08)	0.74 (.07)
12	03031D	0.76 (.65)	0.96 (.115)	0.73 (.52)	0.70 (.53)
13	03031E	0.38 <sup>3</sup> (.04)	0.37 <sup>3</sup> (.026)	0.38 (.01)	0.30 (.01)
14	03031F	0.85 (.15)	0.91 (.034)	0.78 (.13)	0.75 (.11)
15	03031C	0.86 (.39)	0.68 (.085)	0.84 (.39)	0.86 (.29)
16	03031R	0.89 (.71)	0.90 (.108)	0.90 (.49)	0.88 (.55)
17	03031Q	0.90 (.09)	1.05 (.024)	0.41 (.12)	0.83 (.06)
18	03031K	0.87 (.12)	1.03 (.025)	0.87 (.13)	0.84 (.10)
19	03031J	0.92 (.05)	1.24 (.017)	0.74 (.03)	0.78 (.04)

<sup>1</sup> La période d'étude s'étend de janvier 1974 à juillet 1975.

<sup>2</sup> La fraction soluble a été obtenue à partir du rapport de la concentration moyenne des échantillons filtrés sur la concentration moyenne des échantillons non filtrés; cette dernière concentration est donnée par le chiffre entre parenthèses (en mg P/l).

<sup>3</sup> En éliminant les valeurs obtenues le 16 juillet 1974, on obtient 0.55 pour le phosphore total, 0.78 pour le phosphore organique.

TABLEAU 3.1.20: FRACTION SOLUBLE DES DIFFERENTES FORMES DE PHOSPHORE  
DANS LES EAUX DU BASSIN DE LA RIVIERE SAINT-FRANCOIS  
- COMPARAISON DES STATIONS D'ECHANTILLONNAGE <sup>1</sup>

Stations d'échantillonnage		Fraction soluble <sup>2</sup>			
		P-total	P-organique	P-PO <sub>4</sub>	P-hydrolysable
1	03021L	0.23 (.062)	0.32 (.042)	0.26 (.023)	0.23 (.025)
2	03021N	0.62 (.17)	0.73 (.039)	0.80 (.13)	0.59 (.14)
3	03021M	0.73 (.030)	1.09 (.016)	0.29 (.030)	0.16 (.017)
4	03021P	0.48 (.042)	0.67 (.022)	0.08 (.026)	0.36 (.023)
5	03021Q	0.50 (.029)	0.62 (.015)	0.31 (.013)	0.35 (.014)
6	03021S	0.66 (.029)	0.52 (.021)	0.79 (.013)	0.75 (.011)
7	03021R	0.59 (.017)	0.92 (.009)	0.30 (.007)	0.17 (.009)
8	03021V	0.58 (.021)	0.73 (.014)	0.07 (.010)	0.20 (.009)
9	03021U	0.66 (.021)	1.08 (.008)	0.24 (.017)	0.47 (.011)
10	03021T	0.66 (.016)	0.93 (.010)	0.19 (.011)	0.27 (.006)
11	03020Y	0.51 (.016)	0.89 (.006)	0.18 (.011)	0.31 (.009)
12	03020C	0.60 (.017)	0.70 (.007)	0.45 (.013)	0.64 (.009)
13	03021W	0.89 (.011)	0.83 (.009)	- <sup>3</sup> (.005)	0.46 (.004)
14	03021Y	0.82 (.012)	0.86 (.010)	- <sup>3</sup> (.005)	0.47 (.003)
15	03021X	0.64 (.009)	0.67 (.007)	0.15 (.005)	0.45 (.002)
16	03021Z	0.73 (.014)	0.67 (.009)	0.48 (.003)	0.47 (.003)
17	03022A	0.95 (.008)	0.88 (.006)	0.48 (.003)	1.00 (.002)

<sup>1</sup> La période d'étude s'étend de janvier 1974 à juillet 1975.

<sup>2</sup> La fraction soluble a été obtenue à partir du rapport de la concentration moyenne des échantillons filtrés sur la concentration moyenne des échantillons non filtrés; cette dernière concentration est donnée par le chiffre entre parenthèses (en mg P/l).

<sup>3</sup> La concentration des orthophosphates dans les échantillons filtrés étaient souvent en deçà de la limite de détection; le calcul de la fraction soluble moyenne ne se justifie donc pas.

**TABLEAU 3.1.21: CLASSIFICATION PAR ORDRE ASCENDANT ET GROUPEMENT PAR LE TEST DE SCHEFFE DES FORMES OXYDEES ET ORGANIQUES D'AZOTE ET DE PHOSPHORE DANS LES BASSINS DES RIVIERES YAMASKA ET SAINT-FRANCOIS.**

BASSIN DE LA RIVIERE YAMASKA	
Rapport <sup>1</sup>	Périodes d'échantillonnage <sup>2</sup>
{N-NH <sub>4</sub> /N-inorg.} (F)	3 4 2 6 5 1 7
{N-org./N-total} (F)	1 5 6 2 4 3 7
{P-org./P-total} (F)	1 6 4 5 7 3 2
{P-org./P-total} (NF)	1 5 6 4 7 3 2
BASSIN DE LA RIVIERE SAINT-FRANCOIS	
Rapport <sup>1</sup>	Périodes d'échantillonnage <sup>2</sup>
{N-NH <sub>4</sub> /N-inorg.} (F)	5 6 1 4 3 7 2
{N-org./N-total} (F)	2 5 1 6 4 3 7
{P-org./P-total} (F)	1 5 2 6 3 7 4
{P-org./P-total} (NF)	2 3 6 5 7 4

<sup>1</sup> F = échantillon filtré; NF = échantillon non filtré.

<sup>2</sup> Codification des périodes d'échantillonnage

Période	mois
1	déc. 73, jan. 74, fév. 74;
2	mars 74, avr. 74, mai 74;
3	juin 74, juil. 74, août 74;
4	sept. 74, oct. 74, nov. 74;
5	déc. 74, janv. 75, fév. 75;
6	mars 75, avr. 75, mai 75;
7	juin 75, juil. 75.

TABLEAU 3.1.22: CHARGES ANNUELLES SPECIFIQUES EN AZOTE TOTAL ET EN PHOSPHORE TOTAL POUR LES SOUS-BASSINS DU BASSIN VERSANT DE LA RIVIERE YAMASKA.

Station d'échantillonnage	Sous-bassin	Superficie (km <sup>2</sup> )	Charge annuelle spécifique	
			N (kg/km <sup>2</sup> -j)	P (kg/km <sup>2</sup> -j)
03030Y	R. Yamaska <sup>1</sup>	4588	3.1	.28
03031M	R. David	329	2.7	
03030N	R. Salvail	216	4.3	.38
03031P	R. Chibouet	149	4.1	.31
03031B	R. Yamaska <sup>2</sup>	1665	3.2	.42
03030C	R. Noire <sup>3</sup>	1479	2.0	.20
03031H	R. Yamaska <sup>4</sup>	1365	2.2	.30
03031G	R. Yamaska Sud-Est	470	2.1	.22
03031D	R. Yamaska Nord	294	5.6	1.16
03031E	R. Yamaska Centre	490	1.3	.14
03031J	R. Noire <sup>5</sup>	463	1.2	.10
03031K	R. Saint-Nazaire	335	2.5	.29

- <sup>1</sup> Bassin versant en amont de Yamaska.
- <sup>2</sup> Bassin versant en amont de Saint-Damase.
- <sup>3</sup> Bassin versant en amont de Saint-Pie.
- <sup>4</sup> Bassin versant en amont de Farnham.
- <sup>5</sup> Bassin versant en amont de Roxton Falls.

TABLEAU 3.1.23: CHARGES ANNUELLES SPECIFIQUES EN AZOTE TOTAL ET EN PHOSPHORE TOTAL POUR LES SOUS-BASSINS DU BASSIN VERSANT DE LA RIVIERE SAINT-FRANCOIS.

Station d'échantillonnage	Sous-bassin	Superficie (km <sup>2</sup> )	Charge annuelle spécifique	
			N (kg/km <sup>2</sup> -j)	P (kg/km <sup>2</sup> -j)
03021L	R. Saint-François <sup>1</sup>	10236	1.22	0.21
03021N	R. Saint-Germain	242	2.34	0.29
03021Q	R. Saint-François <sup>2</sup>	8157	1.19	0.074
03021R	M. Magog	1985	0.79	0.044
03021U	R. Massawippi	1164	1.10	0.060
03021V	R. Saint-François <sup>3</sup>	4246	1,33	0.068
03021T	R. Ascot	1156	0.63	0.021
03020C	R. Eaton	683	1.25	0.040
03021X	R. Au Saumon	1026	1.02	0.021
03021Z	R. Saint-François <sup>4</sup>	1725	0.89	0,033
03022A	R. Saint-François <sup>5</sup>	1221	1,11	0.076

- <sup>1</sup> Bassin versant en amont de Pierreville.  
<sup>2</sup> Bassin versant en amont de Drummondville.  
<sup>3</sup> Bassin versant en amont de Lennoxville.  
<sup>4</sup> Bassin versant en amont de Saint-Gérard.  
<sup>5</sup> Bassin versant en amont de Disraeli.

**TABEAU 3.1.24: CHARGES ANNUELLES SPECIFIQUES EN AZOTE TOTAL ET EN PHOSPHORE TOTAL POUR LES BASSINS VERSANTS DES RIVIERES YAMASKA ET SAINT-FRANCOIS - COMPARAISON AVEC DES VALEURS DANS LA LITTERATURE.**

Référence	Rivière	Utilisation du territoire	Coefficients d'exportation (kg/km <sup>2</sup> -j)						Remarques
			N-total			P-total			
			max.	min.	moyenne	max.	min.	moyenne	
Uttomark et al. (1974)	diverses	urbanisation	2.74	0.68	1.37	1.37	0.27	0.41	} Revue de la littérature, valeurs représentatives
		forêt	1.37	0.27	0.68	0.22	0.01	0.05	
		agriculture	2.74	0.55	1.37	0.27	0.03	0.08	
Dillon et Kirchner (1975)	diverses	forêt (I) <sup>1</sup>	-	-	-	0.024	.002	0.013	} Revue de la littérature, valeurs représentatives
		forêt (S) <sup>2</sup>	-	-	-	0.050	.018	0.032	
		forêt + pâturage } (I) <sup>1</sup>	-	-	-	0.043	.016	0.028	
		forêt + pâturage } (S) <sup>2</sup>	-	-	-	0.10	0.030	0.063	
Ce travail	Yamaska	mixte	5.6	1.2	3,1 <sup>3</sup>	1.16	0.10	0.28 <sup>3</sup>	} Comparer Tableaux 3.1.27 et 3.1.28
	Saint-François	mixte	2.3	0.63	1.2 <sup>3</sup>	0.29	0.02	0.21 <sup>2</sup>	

<sup>1</sup> I = roches ignées prédominantes.

<sup>2</sup> S = roches sédimentaires prédominantes.

<sup>3</sup> Les valeurs moyennes pour les rivières Yamaska et Saint-François correspondent aux coefficients calculés pour les stations aux embouchures (respectivement 03030Y et 03021L).

TABLEAU 3.1.25: EXEMPLES DE L'INFLUENCE DE L'UTILISATION DU TERRITOIRE SUR LES CHARGES ANNUELLES SPECIFIQUES EN AZOTE TOTAL ET EN PHOSPHORE TOTAL POUR LES SOUS-BASSINS DES TRIBUTAIRES DES RIVIERES YAMASKA ET SAINT-FRANCOIS.

Facteur	Effet <sup>1</sup>	Sous-bassin représentatif	Remarques
Urbanisation	+	rivière Yamaska Nord rivière Saint-Germain	surtout le phosphore est influencé
Couverture forestière	-	rivière Ascot rivière Au Saumon	surtout le phosphore est influencé
Agriculture	+	rivière Salvail rivière Chibouet	l'azote et le phosphore sont influencés
Lacs	-	rivière Magog	surtout le phosphore est influencé

<sup>1</sup> Un signe positif implique que l'augmentation de l'importance du facteur considéré entraîne une augmentation de l'exportation de l'élément nutritif indiqué; un signe négatif implique l'inverse.

TABLEAU 3.1.26: CHARGES EN AZOTE TOTAL - BASSIN DE LA RIVIERE YAMASKA.

STATION	ANNEE (01-03-74 au 28-02-75)		PRINTEMPS (01-03-74 au 31-05-74)			ETE (01-06-74 au 31-08-74)			AUTOMNE (01-09-74 au 15-12-74)			HIVER (16-12-74 au 28-02-75)		
	kg/jour	kg	kg/jour	kg	%	kg/jour	kg	%	kg/jour	kg	%	kg/jour	kg	%
03030Y	16275	5940265	38075	3502908	59	6386	587518	10	8772	929873	16	12266	919966	15
03031M	1005	366946	2725	250691	68	263	24239	7	360	38160	10	718	53855	15
03030Z	15273	5574519	35262	3244148	58	6308	580348	10	8419	892388	16	11435	857635	16
03031N	1063	367933	2330	214378	55	716	65874	17	503	53307	14	725	54373	14
03031P	713	260361	1537	141436	54	378	34795	14	378	40118	15	587	44012	17
03030D	11162	4074005	24303	2235869	55	5333	490665	12	6385	676813	17	8942	670658	16
03031A	11049	4032738	26124	2403445	60	4883	449238	11	5647	598599	15	7753	581457	14
03031B	5978	2181955	14193	1305794	60	2438	224252	10	3324	352363	16	3994	299545	14
03030C	3486	1272381	7002	644148	51	1835	168845	13	2197	232886	18	3020	226502	18
03031H	3215	1173328	6482	569300	51	1672	153839	13	2144	227215	19	2613	195974	17
03031G	1042	380358	2279	209661	55	538	49526	13	661	70099	18	681	51072	14
03031D	1681	613557	2869	263921	43	1158	106574	17	1497	158700	26	1125	84364	14
03031E	710	258991	1344	123663	48	555	51041	20	463	49040	19	470	35248	13
03031F	835	304943	1723	158492	52	453	41665	14	670	71015	23	450	33770	11
03031C	1310	477979	1834	168735	35	1497	137691	29	1229	130262	27	551	41291	9
03031R	181	65977	306	21134	43	124	11430	17	147	15568	24	145	10845	16
03031Q	2212	807256	4152	381958	47	1466	134894	17	1377	145909	18	1927	144496	18
03031K	850	310279	1568	144283	47	475	43660	14	559	59250	19	841	63086	20
03031J	604	220620	1068	98296	45	423	38913	18	413	43765	20	529	39647	17

TABLEAU 3.1.27: CHARGES EN PHOSPHORE TOTAL - BASSIN DE LA RIVIERE YAMASKA.

STATION	ANNEE (01-03-74 au 28-02-75)		PRINTEMPS (01-03-74 au 31-05-74)			ETE (01-06-74 au 31-08-74)			AUTOMNE (01-09-74 au 15-12-74)			HIVER (16-12-74 au 28-02-75)		
	kg/jour	kg	kg/jour	kg	%	kg/jour	kg	%	kg/jour	kg	%	kg/jour	kg	%
	03030Y	1360	496363	2774	255198	51	783	72020	15	940	99622	20	927	69523
03031M	94	34265	191	17583	51	43	3991	12	61	6507	19	82	6184	18
03030Z	1404	512470	3056	281139	55	778	71573	14	921	97613	19	829	62145	12
03031N	87	31780	156	14388	45	96	8872	28	43	4602	14	52	3917	13
03031P	48	17639	99	9111	52	43	3933	22	24	2586	15	27	2009	11
03030D	1036	378283	2224	204568	54	546	50229	13	646	68484	18	733	55001	15
03031A	1204	439356	3123	287298	65	553	50867	12	553	58573	13	568	42618	10
03031B	754	275394	1806	166120	60	365	33581	12	457	48429	18	364	27264	10
03030C	317	115666	659	60668	53	149	13722	12	223	23597	20	236	17679	15
03031H	404	147634	913	83974	57	268	24624	17	198	20991	14	241	18045	12
03031G	103	37518	227	20911	56	66	6105	16	69	7317	20	42	3185	8
03031D	351	128270	637	58595	46	252	23162	18	273	28924	22	235	17588	14
03031E	71	25978	113	10355	40	147	13491	52	9	904	3	16	1228	5
03031F	109	39705	244	22420	56	75	6868	17	63	6693	17	50	3724	10
03031C	211	77052	327	30106	39	224	20564	27	182	19263	25	95	7119	9
03031R	60	21733	58	5380	25	64	5898	27	65	6938	32	47	3518	16
03031Q	240	87587	549	50476	58	115	10576	12	94	9968	11	221	16567	19
03031K	82	30090	222	20400	68	29	2678	9	33	3486	12	47	3525	11
03031S	52	19090	114	10521	55	31	2820	15	28	3018	16	36	2731	14

TABLEAU 3.1.28: CHARGES EN AZOTE TOTAL - BASSIN DE LA RIVIERE SAINT-FRANCOIS.

STATION	ANNEE (01-03-74 au 28-02-75)		PRINTEMPS (01-03-74 au 31-05-74)			ETE (01-06-74 au 31-08-74)			AUTOMNE (01-09-74 au 15-12-74)			HIVER (16-12-74 au 28-02-75)		
	kg/jour	kg	kg/jour	kg	%	kg/jour	kg	%	kg/jour	kg	%	kg/jour	kg	%
03021L	13676	4991750	30569	2812377	56	8009	736827	15	8654	917326	18	7003	525220	11
03021N	684	249508	1272	117062	47	433	39876	16	434	46055	18	620	46515	19
03021M	12604	4600443	25650	2359825	51	6900	634826	14	9150	969897	21	8479	635896	14
03021P	11950	4361670	25211	2319396	53	6678	614343	14	8824	935374	21	6567	492557	12
03021Q	10593	3866356	23420	2154603	56	5864	539465	14	7221	765449	20	5425	406839	10
03021S	1926	702985	5196	477993	68	852	78405	11	926	98192	14	645	48395	7
03021R	1674	610971	3920	360603	59	1013	93189	15	968	102568	17	728	54612	9
03021V	5154	1881304	11859	1091021	58	2722	250417	13	3170	335973	18	2719	203892	11
03021U	1672	610350	4291	394726	65	693	63770	10	931	98465	16	709	53208	9
03021T	817	298112	1947	176116	60	384	35285	12	465	49327	17	458	34384	11
03020Y	5136	1874536	12532	1152929	61	2539	233567	13	2797	296487	16	2554	191553	10
03020C	936	341620	2302	211810	62	388	35711	11	584	61866	18	430	32232	9
03021W	3628	1324258	7468	687076	52	2430	223593	17	2381	252406	19	2149	161183	12
03021Y	3227	1177941	6904	635165	54	2123	195280	17	2008	212826	18	1796	134670	11
03021X	1140	416282	2536	233335	56	593	54570	13	840	89002	21	525	39374	10
03021Z	1750	638866	4219	388114	61	989	90947	14	586	62128	10	1302	97676	15
03022A	1560	569580	3335	306831	54	1005	92499	16	780	82631	15	1168	87619	15

TABLEAU 3.1.29: CHARGES EN PHOSPHORE TOTAL - BASSIN DE LA RIVIERE SAINT-FRANCOIS.

STATION	ANNEE		PRINTEMPS			ETE			AUTOMNE			HIVER		
	(01-03-74 au 28-02-75)		(01-03-74 au 31-05-74)			(01-06-74 au 31-08-74)			(du 01-09-74 au 15-12-74)			(16-12-74 au 28-02-75)		
	kg/jour	kg	kg/jour	kg	%	kg/jour	kg	%	kg/jour	kg	%	kg/jour	kg	%
03021L	2066	754009	5861	539245	72	742	68293	9	1192	126400	17	268	20072	2
03021N	74	27087	109	10057	37	46	4218	16	64	6775	25	80	6037	22
03021M	630	229802	962	88499	39	452	41557	18	659	69869	30	398	29878	13
03021P	711	259579	919	84585	33	468	43089	17	863	91465	35	539	40439	15
03021Q	612	223516	1134	104338	47	443	40740	18	491	52047	23	352	26393	12
03021S	128	46737	246	22630	48	71	6507	14	148	15682	34	26	1918	4
03021R	83	30121	169	15528	52	64	5883	20	71	7510	25	16	1201	3
03021V	264	96444	619	56939	59	111	10189	11	206	21810	23	100	7507	7
03021V	79	28864	197	18162	63	28	2538	9	60	6378	22	24	1786	6
03021T	26	9310	59	5464	59	14	1277	14	21	2214	24	5	354	3
03020Y	155	56434	243	22386	40	107	9871	17	155	16428	29	103	7749	14
03020C	25	8998	58	5292	59	6	512	6	23	2439	27	10	755	8
03021W	83	30441	131	12062	40	49	4477	15	83	8776	29	68	5126	16
03021Y	124	45146	305	28022	61	43	3917	9	79	8383	19	64	4823	11
03021X	22	7852	25	2367	30	13	1159	15	32	3401	43	12	924	12
03021Z	49	18061	93	8518	47	21	1945	11	28	2945	16	62	4652	26
03022A	89	32474	291	26786	82	11	983	3	34	3576	12	15	1130	3

TABEAU 3.1.30: COMPARAISON DES CHARGES EN SUBSTANCES NUTRITIVES A DIFFERENTES STATIONS DANS LES BASSINS DES RIVIERES YAMASKA ET SAINT-FRANCOIS - RESUME DES STATIONS CONSIDEREES <sup>1</sup>.

Bassin versant de la riviere Yamaska	Bassin versant le la riviere Saint-François
1. 03031F → 03031G	1. 03022A → 03021Z
2. 03031R → 03031C → 03031D	2. 03021Z { → 03021Y → 03021W 03021X }
3. 03031D } 03031E } → 03031H → 03031B 03031G }	3. 03021W { → 03020Y → 03021V 03020C }
4. 03031J } 03031K } → 03031Q → 03031C	4. 03021S → 03021R
5. 03031B } 03031C } → 03031A → 03030D	5. 03021V } 03021T } → 03021Q → 03021P → 03021M 03021U } 03021R }
6. 03030D } 03031N } → 03030Z 03031P }	6. 03021M } 03021N } → 03021L
7. 03030Z } 03031M } → 03030Y	

<sup>1</sup> L'identification des stations d'échantillonnage et leur localisation sont indiquées sur les figures 2.1 (rivière Yamaska) et 2.2 (rivière Saint-François).

TABLEAU 3.1.31: COMPARAISON DES CHARGES EN SUBSTANCES NUTRITIVES A DIFFERENTES STATIONS DANS LE BASSIN DE LA RIVIERE YAMASKA - RESUME DES CAS DE PERTES ENTRE STATIONS.

Stations	Période	Observation initiale	Autres observations	Explications possibles
03031C → 03031D	été	perte $\{N_T\}_{NF}$ (-21%)	perte $\{N\text{-org.}\}_{NF}$ (-34%); perte $\{N\text{-org.}\}_F$ (-25%); augmentation $\{N\text{-NO}_3\}_{NF}$ (+40%)	minéralisation, dénitrification; minéralisation, assimilation par périphyton
03031D } 03031E } → 03031H 03031G }	été	perte $\{P_T\}_{NF}$ (-30%)	perte $\{P\text{-inorg.}\}_{NF}$ (-42%); perte $\{P\text{-inorg.}\}_F$ (-53%)	sédimentation; assimilation par périphyton.
03031D } 03031E } → 03031H 03031G }	automne	perte $\{P_T\}_{NF}$ (-44%)	perte $\{P\text{-inorg.}\}_{NF}$ (-32%); perte $\{P\text{-inorg.}\}_F$ (-17%)	sédimentation
03031B } 03030C } → 03031A	automne	perte $\{P_T\}_{NF}$ (-22%)	perte $\{P\text{-inorg.}\}_{NF}$ (-19%); perte $\{P\text{-inorg.}\}_F$ (-26%)	sédimentation
03031A → 03030D	printemps	perte $\{N_T\}_{NF}$ (-29%) perte $\{P_T\}_{NF}$ (-28%)	perte $\{N\text{-NH}_4\}_{NF}$ (-44%); gain $\{N\text{-NH}_4\}_F$ (+25%) perte $\{P\text{-inorg.}\}_{NF}$ (-12%); gain $\{P\text{-inorg.}\}_F$ (+18%)	

TABLEAU 3.1.32: COMPARAISON DES CHARGES EN SUBSTANCES NUTRITIVES A DIFFERENTES STATIONS DANS LE BASSIN DE LA RIVIERE SAINT-FRANCOIS - RESUME DES CAS DE GAINS EXCEPTIONNELS OU DE PERTES ENTRE STATIONS.

Stations	Période	Observation initiale	Autres observations	Explications possibles
03022A → 03021Z	printemps	perte $\{P_T\}_{NF}$ (-62%)	gain $\{P_T\}_F$ (+117%)	sédimentation dans le lac Aylmer; régularisation du débit.
	automne	perte $\{N_T\}_{NF}$ (-25%) perte $\{P_T\}_{NF}$ (-25%)	perte $\{N-org.\}_{NF}$ (-26%); gain $\{N-inorg.\}_{NF}$ (+16%) perte $\{P_T\}_F$ (-21%)	
03021Y → 03021W	printemps	perte $\{P_T\}_{NF}$ (-60%)		
03021S → 03021R	printemps	perte $\{P_T\}_{NF}$ (-33%)	perte $\{P_T\}_F$ (-30%)	sédimentation dans le lac Magog.
	automne	perte $\{P_T\}_{NF}$ (-46%)	perte $\{P_T\}_F$ (-50%)	
03021P → 03021M	automne	perte $\{P_T\}_{NF}$ (-20%)	gain $\{P_T\}_F$ (+24%)	sédimentation dans le tronçon de rivière; effet de la couleur (ligno-sulfonates) sur dosage de $P_T$ .
	hiver	perte $\{P_T\}_{NF}$ (-20%)	gain $\{P_T\}_F$ (+21%)	
03021N → 03021L	printemps	gain $\{P_T\}_{NF}$ (+47%)	gain $\{P_T\}_F$ (+38%)	érosion physique des rives; remaniement du fond.
03021N → 03021L	hiver	perte $\{N_T\}_{NF}$ (-23%) perte $\{P_T\}_{NF}$ (-37%)	perte $\{N_T\}_F$ (-2%) perte $\{P_T\}_F$ (-8%)	sédimentation dans le tronçon de rivière.

TABLEAU 3.2.1A: POTENTIEL DE FERTILITE ET INDICES D'ENRICHISSEMENT:  
TRONCON PRINCIPAL DE LA RIVIERE SAINT-FRANCOIS (1974).

Date de prélèvement <sup>5</sup>	TRONCON PRINCIPAL: RIVIERE SAINT-FRANCOIS																		
	PIERREVILLE			DRUMMONDVILLE			RICHMOND			BROMPTONVILLE			LENNOXVILLE (passe 1)			LENNOXVILLE (passe 2)			
	P.F. <sup>1</sup>	C.V. <sup>3</sup>	I.E. <sup>4</sup>	P.F.	C.V.	I.E.	P.F.	C.V.	I.E.	P.F.	C.V.	I.E.	P.F.	C.V.	I.E.	P.F.	C.V.	I.E.	
1974																			
HIVER	1	19	5	4	4.4	5	3	1.0	4	3	0.8	3	2	0.6	6	2	0.6	7	2
	2	20	7	4	2.1	10	3	3.7	5	3	0.5	15	2	1.1	3	3	0.3	2	2
	3	6	4	3	1.7	13	3	1.1	6	3	1.0	25	3	-	-	-	-	-	-
PRINT.	1	8	3	4	4.8	9	3	2.5	4	3	4.8	2	3	1.3	5	3	1.6	7	3
	2	3	2	3	2.4	9	3	1.2	7	3	1.6	9	3	1.5	7	3	0.8	8	2
	3	11	6	4	8.1	6	4	8.9	1	4	6.7	7	4	7	8	4	1.6	12	3
ETE	1	4	10	3	3.4	-	3	2.2	3	3	3.1	9	3	2.7	3	3	1.6	3	3
	2	4	3	3	3.7	1	3	2.8	7	3	2.6	7	3	1.0	9	3	0.9	7	3
	3	0.7	8	2	1.8	3	3	1.2	5	3	0.4	-	2	1.8	4	3	0.9	6	3
AUT.	1	4.1	-	3	3.7	6	3	3.8	9	3	2.9	8	3	0.6	2	2	0.5	7	2
	2	1.4	6	3	1.1	-	3	0.5	11	2	3.3	5	3	-	-	-	4.9	9	3
	3	2.0	4	3	4.7	6	3	7.8	2	4	3.8	6	3	0.8	9	2	2.6	21	3
P.F. <sup>2</sup>		6.9			3.5			3.1			2.6			1.8			1.5		
P.V. <sup>6</sup>		(0.7-20)			(1.1-8.1)			(0.5-8.9)			(0.4-6.7)			(0.6-2.7)			(0.3-4.9)		

<sup>1</sup> P.F. : potentiel de fertilité (mg d'algues  $\ell^{-1}$ ).

<sup>2</sup> P.F. : P.F. moyen pour les saisons étudiées.

<sup>3</sup> C.V. : coefficient de variation corrigé au jour 21.

<sup>4</sup> I.E. : indice d'enrichissement 1 = faible :  $< 0.1$  mg d'algues  $\ell^{-1}$ ;  
2 = moyen :  $0.1 - 0.8$  mg d'algues  $\ell^{-1}$ ;  
3 = moyen + :  $0.81 - 6$  mg d'algues  $\ell^{-1}$ ;  
4 = fort :  $> 6$  mg d'algues  $\ell^{-1}$ .

<sup>5</sup> Prélèvements mensuels : les dates de prélèvement sont indiquées dans l'Annexe 4 (Tableau A.4.1).

<sup>6</sup> P.V. : plage de variation (x - y): x = valeur minimum observée;  
y = valeur maximum observée.

TABLEAU 3.2.1B: POTENTIEL DE FERTILITE ET INDICES D'ENRICHISSEMENT:  
TRONCON PRINCIPAL DE LA RIVIERE SAINT-FRANCOIS (1974).

Date de s prélèvement		TRONCON PRINCIPAL: RIVIERE SAINT-FRANCOIS														
		ASCOT CORNER			EAST ANGUS			AU SAUMON			ST-GERARD			DISPAELI		
		P.F. <sup>1</sup>	C.V. <sup>3</sup>	I.E. <sup>4</sup>	P.F.	C.V.	I.E.	P.F.	C.V.	I.E.	P.F.	C.V.	I.E.	P.F.	C.V.	I.E.
1974																
HIVER	1	0.6	10	2	0.4	7	2	0.5	5	2	0.5	7	2	0.4	2	2
	2	2.2	9	3	0.5	15	2	0.5	12	2	0.6	11	2	0.5	3	2
	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PRINT.	1	1.5	5	3	0.7	6	2	0.8	11	2	1.1	-	3	5.3	9	3
	2	2.5	4	3	1.4	2	3	7.2	5	4	6.7	2	4	9.6	7	4
	3	2.8	5	3	2.4	10	3	0.3	12	2	0.4	12	2	0.7	-	2
ETE	1	0.7	2	2	1.4	7	3	0.7	22	2	1	10	3	0.6	7	2
	2	0.8	9	2	4.1	5	3	1.6	1	3	0.6	9	2	0.8	3	2
	3	0.9	6	3	0.7	3	2	2.7	4	3	0.6	4	2	3.2	2	3
AUT.	1	0.4	8	2	0.3	5	2	0.7	7	2	0.4	14	2	0.4	5	2
	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	3	0.7	18	2	3.6	13	3	6.4	3	4	3.9	7	3	9.1	11	4
P.F. <sup>2</sup>	1.3			1.6			2.1				1.6			3.1		
P.V. <sup>6</sup>	(0.4-2.8)			(0.3-4.1)			(0.3-7.2)				(0.4-6.7)			(0.4-9.6)		

<sup>1</sup> P.F. : potentiel de fertilité (mg d'algues  $\ell^{-1}$ ).

<sup>2</sup> P.F. : P.F. moyen pour les saisons étudiées.

<sup>3</sup> C.V. : coefficient de variation corrigé au jour 21.

<sup>4</sup> I.E. : indice d'enrichissement: 1 = faible :  $< 0.1 \text{ mg d'algues } \ell^{-1}$ ;  
2 = moyen :  $0.1 - 0.8 \text{ mg d'algues } \ell^{-1}$ ;  
3 = moyen + :  $0.81 - 6 \text{ mg d'algues } \ell^{-1}$ ;  
4 = fort :  $> 6 \text{ mg d'algues } \ell^{-1}$ .

<sup>5</sup> Prélèvements mensuels : les dates de prélèvement sont indiquées dans l'Annexe 4 (Tableau A.4.2).

<sup>6</sup> P.V. : plage de variation (x - y): x = valeur minimum observée;  
y = valeur maximum observée.

TABLEAU 3.2.2: POTENTIEL DE FERTILITE ET INDICES D'ENRICHISSEMENT: TUBUTAIRES DE LA RIVIERE SAINT-FRANCOIS (1974).

Date de prélèvements <sup>5</sup>	TRIBUTAIRES DE LA RIVIERE SAINT-FRANCOIS																					
	RIV. ST-GERMAIN			LAC MEMPHR.			RIV. MAGOG			RIV. HASSAWIPPI			RIV. ASCOT			RIV. EATON			RIV. AU SAUMON			
	P.F. <sup>1</sup>	C.V. <sup>3</sup>	I.E. <sup>4</sup>	P.F.	C.V.	I.E.	P.F.	C.V.	I.E.	P.F.	C.V.	I.E.	P.F.	C.V.	I.E.	P.F.	C.V.	I.E.	P.F.	C.V.	I.E.	
1974																						
HIVER	1 26 47 4.5	1 4 4	4 4 3	4.1 0.5 -	3 20 -	3 2 -	1.5 3.6 0.4	9 18 -	3 3 2	1.9 0.8 0.3	6 8 25	3 2 2	0.8 0.7 -	6 3 -	2 2 -	1.3 8 -	4 11 -	3 4 -	0.5 0.9 -	8 5 -	2 3 -	
PRINT.	1 7.6 13 17	1 3 2	4 4 4	1.6 6.4 6.5	13 - 5	3 4 4	2.6 2.1 3.1	6 7 5	3 3 3	1.8 4.2 2.4	1 4 18	3 3 3	2.8 1.4 2.1	6 8 7	3 3 3	9 0.9 3.5	4 5 7	4 3 3	0.7 0.7 2.6	8 11 8	2 2 3	
ETE	1 17 10 16	7 2 1	4 4 4	2.6 1.8 0.3	6 6 22	3 3 2	2.2 1.6 0.4	3 7 9	3 3 2	1.4 3.6 0.7	15 12 19	3 3 2	0.8 2.3 0.6	6 7 1	2 3 2	0.7 1.8 0.7	14 8 8	2 3 2	0.6 0.8 0.6	9 4 9	2 2 2	
AUT.	1 18 31 16	5 3 3	4 4 4	5.3 8.7 3.9	7 6 12	3 4 3	1.3 3.6 6.2	18 3 2	3 3 4	3.1 1.1 4.8	7 4 2	3 3 3	3.2 3.7 3.4	3 5 10	3 3 3	0.3 - 2	9 - 14	2 - 3	0.8 - 1.5	13 - 9	2 - 3	
P.F. <sup>2</sup>	19			3.8			2.4			2.2			2			2.8			1			
P.V. <sup>6</sup>	(4.5-47)			(0.3-8.7)			(0.4-6.2)			(0.3-4.8)			(0.6-3.7)			(0.3-9)			(0.5-2.6)			

<sup>1</sup> P.F. : potentiel de fertilité (mg d'algues  $\ell^{-1}$ ).

<sup>2</sup> P.F. : P.F. moyen pour les saisons étudiées.

<sup>3</sup> C.V. : coefficient de variation corrigé au jour 21.

<sup>4</sup> I.E. : indice d'enrichissement: 1 = faible :  $< 0.1$  mg d'algues  $\ell^{-1}$ ;  
 2 = moyen :  $0.1 - 0.8$  mg d'algues  $\ell^{-1}$ ;  
 3 = moyen + :  $0.81 - 6$  mg d'algues  $\ell^{-1}$ ;  
 4 = fort :  $> 6$  mg d'algues  $\ell^{-1}$ .

<sup>5</sup> Prélèvements mensuels : les dates de prélèvement sont indiquées dans l'Annexe 4 (Tableau A.4.3).

<sup>6</sup> P.V. : plage de variation (x - y): x = valeur minimum observée;  
 y = valeur maximum observée.

TABLEAU 3.2.3A: POTENTIEL DE FERTILITE ET INDICES D'ENRICHISSEMENT:  
TRONCON PRINCIPAL DE LA RIVIERE SAINT-FRANCOIS (1975).

Date de s prélèvement	TRONCON PRINCIPAL: RIVIERE SAINT-FRANCOIS																		
	PIERREVILLE			DRUMMONDVILLE			RICHMOND			BROMPTONVILLE			LENNOXVILLE (passe 1)			LENNOXVILLE (passe 2)			
	P.F. <sup>1</sup>	C.V. <sup>3</sup>	I.E. <sup>4</sup>	P.F.	C.V.	I.E.	P.F.	C.V.	I.E.	P.F.	C.V.	I.E.	P.F.	C.V.	I.E.	P.F.	C.V.	I.E.	
1975																			
HIVER	1	19	-	4	8.2	5	4	4.9	8	3	7.5	7	4	3.1	3	3	3.5	9	3
	2	13	6	4	4.7	9	3	9.7	8	4	14	4	4	1.8	4	3	2.1	4	3
	3	16	8	4	5.4	7	3	0.7	2	2	6.6	3	4	4.8	4	3	2	9	3
PRINT.	1	6.9	2	4	6.2	4	4	7.4	4	4	7.8	6	4	12	8	4	6.5	-	4
	2	1.3	6	3	4.5	9	3	2.4	9	3	4.2	5	3	1.7	5	3	3.6	1	3
	3	1.6	6	3	1	5	3	3.2	9	3	2.8	2	3	3.2	6	3	1.6	5	3
ETE	1	0.2	85	2	4.7	5	3	3.7	45	3	0.5	45	2	1.9	6	3	0.5	-	2
	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.7	8	2	-	-	-
	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.1	9	3	-	-	-
AUT.	1	4.8	1	3	4.6	5	3	2.6	8	3	1.8	2	3	3.4	-	3	0.5	19	2
	2	4.6	10	3	3.9	13	3	3.7	7	3	3.3	3	3	2.6	9	3	2.9	5	3
	3	9.5	6	4	3.6	6	3	4.8	9	3	12.1	5	4	-	-	-	8.4	5	4
P.F. <sup>2</sup>		7.7			4.7			4.3			6.1			3.3			3.2		
P.V. <sup>6</sup>		(0.2-19)			(1-8)			(0.7-9.7)			(0.5-14)			(0.7-12)			(0.5-8.4)		

<sup>1</sup> P.F. : potentiel de fertilité (mg d'algues  $\ell^{-1}$ ).

<sup>2</sup> P.F. : P.F. moyen pour les saisons étudiées.

<sup>3</sup> C.V. : coefficient de variation corrigé au jour 21.

<sup>4</sup> I.E. : indice d'enrichissement: 1 = faible :  $< 0.1$  mg d'algues  $\ell^{-1}$ ;  
2 = moyen :  $0.1 - 0.8$  mg d'algues  $\ell^{-1}$ ;  
3 = moyen + :  $0.81 - 6$  mg d'algues  $\ell^{-1}$ ;  
4 = fort :  $> 6$  mg d'algues  $\ell^{-1}$ .

<sup>5</sup> Prélèvements mensuels : les dates de prélèvement sont indiquées dans l'Annexe 4 (Tableau A.4.4).

<sup>6</sup> P.V. : plage de variation (x - y): x = valeur minimum observée;  
y = valeur maximum observée.

TABLEAU 3.2.3B: POTENTIEL DE FERTILITE ET INDICES D'ENRICHISSEMENT:  
TRONCON PRINCIPAL DE LA RIVIERE SAINT-FRANCOIS (1975).

Date de prélèvement <sup>5</sup>	TRONCON PRINCIPAL: RIVIERE SAINT-FRANCOIS															
	ASCOT CORNER			EAST ANGUS			AU SAUMON			ST-GERARD			DISPAELI			
	P.F. <sup>1</sup>	C.V. <sup>3</sup>	I.E. <sup>4</sup>	P.F.	C.V.	I.E.	P.F.	C.V.	I.E.	P.F.	C.V.	I.E.	P.F.	C.V.	I.E.	
1975																
HIVER	1	6.7	-	4	3.7	5	3	2	6	3	6.1	5	4	3.9	3	3
	2	7.3	6	4	8.3	5	4	8.2	4	4	6.7	5	4	4.3	5	3
	3	10	3	4	3.6	4	3	3.4	5	3	14	8	4	3.5	8	3
PRINT.	1	12	7	4	2.9	2	3	2.7	5	3	9.5	7	4	9.2	9	4
	2	4.8	5	3	3	4	3	2.6	8	3	2.6	8	3	3.5	4	3
	3	3.2	5	3	3.9	10	3	2.6	7	3	4.4	10	3	5.5	3	3
ETE	1	1.6	6	3	2.2	7	3	1	77	3	4.6	8	3	-	-	-
	2	0.9	7	3	1.8	3	3	4.8	2	3	0.8	7	2	2.5	5	3
	3	1.3	9	3	2.1	7	3	1.8	4	3	3.9	5	3	3.8	5	3
AUT.	1	4.4	2	3	6.9	3	4	4.1	4	3	5.4	3	3	7.4	4	4
	2	1.6	3	3	7.4	6	4	1.2	2	3	3.8	7	3	3.5	9	3
	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P.F. <sup>2</sup>	4.9			4.2			3.1				5.6			4.7		
P.V. <sup>6</sup>	(0.9-12)			(1.8-8.3)			(1-8.2)				(0.8-14.2)			(2.5-9.2)		

<sup>1</sup> P.F. : potentiel de fertilité (mg d'algues  $l^{-1}$ ),

<sup>2</sup> P.F. : P.F. moyen pour les saisons étudiées.

<sup>3</sup> C.V. : coefficient de variation corrigé du jour 21.

<sup>4</sup> I.E. : indice d'enrichissement: 1 = faible :  $< 0.1$  mg d'algues  $l^{-1}$ ;  
2 = moyen :  $0.1 - 0.8$  mg d'algues  $l^{-1}$ ;  
3 = moyen + :  $0.81 - 6$  mg d'algues  $l^{-1}$ ;  
4 = fort :  $> 6$  mg d'algues  $l^{-1}$ .

<sup>5</sup> Prélèvements mensuels : les dates de prélèvement sont indiquées dans l'Annexe 4 (Tableau A.4.5).

<sup>6</sup> P.V. : plage de variation (x - y): x = valeur minimum observée;  
y = valeur maximum observée.

TABLEAU 3.2.4: POTENTIEL DE FERTILITE ET INDICES D'ENRICHISSEMENT:  
TRIBUTAIRES DE LA RIVIERE SAINT-FRANCOIS (1975).

Date de prélèvement <sup>5</sup>	TRIBUTAIRES DE LA RIVIERE SAINT-FRANCOIS																					
	RIV. ST-GERMAIN			LAC MEMPHR.			RIV. MAGOG			RIV. MASSAWIPPI			RIV. ASCOT			RIV. EATON			RIV. AU SAUMON			
	P.F. <sup>1</sup>	C.V. <sup>3</sup>	I.E. <sup>4</sup>	P.F.	C.V.	I.E.	P.F.	C.V.	I.E.	P.F.	C.V.	I.E.	P.F.	C.V.	I.E.	P.F.	C.V.	I.E.	P.F.	C.V.	I.E.	
1975																						
HIVER	1	45	2	4	11	6	4	9.1	-	4	7.4	3	4	37	10	4	2.8	4	3	17	7	4
	2	56	3	4	9.2	9	4	6.4	3	4	17	1	4	8.5	5	4	2.7	5	3	2.1	-	3
	3	50	1	4	3.2	4	3	13	4	4	6.2	1	4	27	4	4	16	14	4	3.1	6	3
PRINT.	1	27	5	4	10	10	4	12	7	4	20	3	4	3.7	4	3	5.9	8	3	10	3	4
	2	39	9	3	7.6	1	4	1.3	3	3	3	7	3	2.3	3	3	2	7	3	2.1	5	3
	3	41	6	4	0.4	9	2	0.7	6	2	5.2	5	3	2.7	5	3	3.3	4	3	1.8	1	3
ETE	1	48	4	4	0.2	3	2	-	-	-	1.5	19	3	0.3	3	2	1.2	23	3	1.5	10	3
	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.1	6	3	1.2	11	3
	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.4	3	3	1.8	5	3
AUT.	1	72	2	4	4.2	8	3	2.5	4	3	3.9	4	3	4	7	3	2.7	8	3	4	8	3
	2	34	1	4	1.4	4	3	3.5	12	3	6.4	4	4	2.8	6	3	2.9	6	3	4.3	4	3
	3	38	3	4	5.1	-	3	5.8	5	3	7.5	7	4	2	23	3	-	-	-	-	-	-
P.F. <sup>2</sup>		45			5.2			6			7.8			9			3.9			4.4		
P.V. <sup>6</sup>		(27-72)			(0.2-11)			(0.7-13)			(1.5-20)			(0.3-37)			(1.2-16)			(1.2-17)		

<sup>1</sup> P.F. : potentiel de fertilité (mg d'algues  $\ell^{-1}$ ).

<sup>2</sup> P.F. : P.F. moyen pour les saisons étudiées.

<sup>3</sup> C.V. : coefficient de variation corrigé au jour 21.

<sup>4</sup> I.E. : indice d'enrichissement: 1 - faible :  $< 0.1$  mg d'algues  $\ell^{-1}$ ;  
2 - moyen :  $0.1 - 0.8$  mg d'algues  $\ell^{-1}$ ;  
3 - moyen + :  $0.81 - 6$  mg d'algues  $\ell^{-1}$ ;  
4 - fort :  $> 6$  mg d'algues  $\ell^{-1}$ .

<sup>5</sup> Prélèvements mensuels : les dates de prélèvement sont indiquées dans l'Annexe 4 (Tableau A.4.6).

<sup>6</sup> P.V. : plage de variation (x - y): x = valeur minimum observée;  
y = valeur maximum observée.

TABLEAU 3.2.5: POTENTIEL DE FERTILITE ET INDICES D'ENRICHISSEMENT:  
TRONCON PRINCIPAL DE LA RIVIERE YAMASKA (1974).

DATE DE PRELEVEMENT <sup>5</sup>	TRONCON PRINCIPAL: RIVIERE YAMASKA																					
	YAMASKA			SAINT-MARCEL			AUTOROUTE 20			DOUVILLE			SAINT-DAMASE			FARHAM			ADAMSVILLE			
	P.F. <sup>1</sup>	C.V. <sup>3</sup>	I.E. <sup>4</sup>	P.F.	C.V.	I.E.	P.F.	C.V.	I.E.	P.F.	C.V.	I.E.	P.F.	C.V.	I.E.	P.F.	C.V.	I.E.	P.F.	C.V.	I.E.	
1974																						
RIVER	1	38	1	4	39	4	4	43	3	4	-	-	-	-	-	25	7	4	2.7	58	3	
	2	31	5	4	33	10	4	35	3	4	32	3	4	34	7	4	34	2	4	2.2	7	3
	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12	-	4	5.5	7	3	
PRINT.	1	27	3	4	27	2	4	22	6	4	24	2	4	25	9	4	13	5	4	9.1	2	4
	2	32	7	4	29	8	4	39	3	4	33	2	4	34	2	4	14	-	4	9.3	4	4
	3	28	4	4	29	5	4	22	1	4	23	3	4	21	2	4	15	5	4	7.1	5	4
ETE	1	26	1	4	29	3	4	37	5	4	31	3	4	27	-	4	6.4	1	4	1.4	3	3
	2	14	3	4	13	7	4	10	8	4	9.7	6	4	8.1	7	4	8.9	2	4	4	3	3
	3	2.4	-	3	7.9	6	4	8.9	5	4	13	5	4	8.7	2	4	14	8	4	1.4	8	3
	4	19	5	4	19	3	4	24	1	4	18	6	4	20	10	4	-	-	-	-	-	-
AUT.	1	18	5	4	16	-	4	21	2	4	20	9	4	18	7	4	15	7	4	1.2	6	3
	2	28	5	4	19	7	4	16	6	4	14	3	4	23	3	4	6.6	13	4	8.5	2	4
	3	39	2	4	39	4	4	35	7	4	32	4	4	40	3	4	15	8	4	6.3	25	4
P.F. <sup>2</sup>		25			25			26			23			24			15			4.9		
P.V. <sup>6</sup>		(2.4-39)			(7.9-39)			(8.9-43)			(9.7-33)			(8.1-40)			(6.4-34)			(1.2-9.3)		

- 1 P.F. : potentiel de fertilité (mg d'algues  $\ell^{-1}$ )
- 2 P.F. : P.F. moyen pour les saisons étudiées.
- 3 C.V. : coefficient de variation corrigé au jour 21.
- 4 I.E. : indice d'enrichissement 1 = faible : < 0.1 mg d'algues  $\ell^{-1}$ ;  
5 2 = moyen : 0.1 - 0.8 mg d'algues  $\ell^{-1}$ ;  
3 = moyen + : 0.81 - 6 mg d'algues  $\ell^{-1}$ ;  
4 = fort : > 6 mg d'algues  $\ell^{-1}$ .
- 5 Prélèvements mensuels : les dates de prélèvement sont indiquées dans l'Annexe 4 (Tableau A.4.7).
- 6 P.V. : plage de variation (x - y): x = valeur minimum observée;  
y = valeur maximum observée.

TABLEAU 3.2.6A: POTENTIEL DE FERTILITE ET INDICES D'ENRICHISSEMENT:  
TRIBUTAIRES DE LA RIVIERE YAMASKA (1974).

DATE DE PRELEVEMENT <sup>5</sup>	TRIBUTAIRES DE LA RIVIERE YAMASKA																		
	RIVIERE ST-NAZAIRE			RIVIERE YAMASKA NORD									RIVIERE YAMASKA SUD-EST						
				Aval de Waterloo			Aval de Granby			Aval de St-Alphonse			Aval de Cowansville			Aval de Brigham			
	P.F. <sup>1</sup>	C.V. <sup>3</sup>	I.E. <sup>4</sup>	P.F.	C.V.	I.E.	P.F.	C.V.	I.E.	P.F.	C.V.	I.E.	P.F.	C.V.	I.E.	P.F.	C.V.	I.E.	
1974																			
HIVER	1	42	5	4	54	8	4	27	24	4	20	47	4	34	6	4	32	3	4
	2	52	4	4	54	3	4	29	7	4	64	6	4	57	4	4	47	5	4
	3	15	4	4	42	1	4	22	3	4	24	3	4	16	4	4	17	9	4
PRINT.	1	12	4	4	15	2	4	13	8	4	12	5	4	10	8	4	13	6	4
	2	16	2	4	39	4	4	23	8	4	27	4	4	18	2	4	13	-	4
	3	29	3	4	48	5	4	17	2	4	36	-	4	23	2	4	25	5	4
ETE	1	16	2	4	6.1	-	4	6.1	8	4	10	3	4	6	11	3	7	8	4
	2	17	2	4	33	5	4	42	4	4	18	2	4	11	1	4	5	4	3
	3	13	3	4	23	6	4	87	3	4	72	8	4	31	5	4	6	-	3
AUT.	1	25	-	4	45	2	4	28	8	4	29	5	4	20	2	4	15	7	4
	2	14	10	4	26	2	4	22	6	4	15	3	4	10	7	4	14	8	4
	3	2.2	6	3	23	6	4	20	2	4	29	8	4	19	8	4	7	11	4
P.F. <sup>2</sup>		21			34			26			30			21			17		
P.V. <sup>6</sup>		(2.2-52)			(6.1-54)			(6.1-87)			(10-72)			(6-57)			(5-47)		

<sup>1</sup> P.F. : potentiel de fertilité (mg d'algues  $\ell^{-1}$ )

<sup>2</sup> P.F. : P.F. moyen pour les saisons étudiées.

<sup>3</sup> C.V. : coefficient de variations corrigé au jour 21.

<sup>4</sup> I.E. : indice d'enrichissement 1 = faible :  $< 0.1$  d'algues  $\ell^{-1}$ ;  
2 = moyen :  $0.1 - 0.8$  mg d'algues  $\ell^{-1}$ ;  
3 = moyen + :  $0.81 - 6$  mg d'algues  $\ell^{-1}$ ;  
4 = fort :  $> 6$  mg d'algues  $\ell^{-1}$ .

<sup>5</sup> Prélèvements mensuels : les dates de prélèvement sont indiquées dans l'Annexe 4 (Tableau A.4.3).

<sup>6</sup> P.V. : plage de variation (x - y): x = valeur minimum observée;

y = valeur maximum observée.

TABLEAU 3.2.6B: POTENTIEL DE FERTILITE ET INDICES D'ENRICHISSEMENT:  
TRIBUTAIRES DE LA RIVIERE YAMASKA (1974).

DATE DE PRELEVEMENT	TRIBUTAIRES DE LA RIVIERE YAMASKA																		
	RIVIERE DAVID			RIVIERE SALVAIL			RIVIERE CHIBOUET			RIVIERE NOIRE									
										Roxton Falls			St-Hector			St-Pie			
	P.F. <sup>1</sup>	C.V. <sup>3</sup>	I.E. <sup>4</sup>	P.F.	C.V.	I.E.	P.F.	C.V.	I.E.	P.F.	C.V.	I.E.	P.F.	C.V.	I.E.	P.F.	C.V.	I.E.	
1974																			
HIVER	1	20	6	4	43	3	4	39	2	4	17	44	4	34	6	4	46	5	4
	2	22	10	4	-	-	-	23	6	4	31	8	4	39	7	4	27	3	4
	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9.7	6	4	17	1	4	-	-	-
PRINT.	1	23	-	4	28	2	4	28	2	4	61	3	4	8.2	4	4	16	5	4
	2	26	5	4	24	6	4	30	1	4	5.4	5	3	12	1	4	14	8	4
	3	6.8	3	4	3.1	8	3	28	3	4	9.4	-	4	18	3	4	12	5	4
ETE	1	21	7	4	39	1	4	63	5	4	6.5	2	4	6	5	3	27	5	4
	2	8.1	-	4	60	13	4	36	5	4	4.9	6	3	9.2	3	4	6.1	5	4
	3	3.2	4	3	4.9	8	3	17	8	4	2.9	13	3	3.4	11	3	7.5	7	4
	4	4.6	6	3	2	9	3	23	5	4	-	-	-	-	-	-	8.2	9	4
AUT.	1	2.6	3	3	16	6	4	18	4	4	2	10	3	13	5	4	22	5	4
	2	2.8	10	3	4.3	6	3	6	6	3	3.6	3	3	12	3	4	23	5	4
	3	29	1	4	55	2	4	43	-	4	5	8	3	9.8	7	4	32	3	4
P.F. <sup>2</sup>		14			25			29			13			15			20		
P.V. <sup>6</sup>		(2.6-29)			(2-60)			(6-63)			(2-61)			(3.4-39)			(6.1-46)		

<sup>1</sup> P.F. : potentiel de fertilité (mg d'algues  $\ell^{-1}$ )

<sup>2</sup> P.F. : P.F. moyen pour les saisons étudiées.

<sup>3</sup> C.V. : coefficient de variation corrigé au jour 21.

<sup>4</sup> I.E. : indice d'enrichissement 1 = faible : < 0.1 mg d'algues  $\ell^{-1}$ ; -1;  
2 = moyen : 0.1 - 0.8 mg d'algues  $\ell^{-1}$ ;  
3 = moyen + : 0.81 - 6 mg d'algues  $\ell^{-1}$ ;  
4 = fort : > 6 mg d'algues  $\ell^{-1}$ .

<sup>5</sup> Prélèvements mensuels : les dates de prélèvement sont indiquées dans l'Annexe 4 (Tableau A.4.9).

<sup>6</sup> P.V.: plage de variation (x - y): x = valeur minimum observée;  
y = valeur maximum observée.

TABLEAU 3.2.7: POTENTIEL DE FERTILITE ET INDICES D'ENRICHISSEMENT:  
TRONCON PRINCIPAL DE LA RIVIERE YAMASKA (1975).

DATE DE PRELEVEMENT <sup>5</sup>		TRONCON PRINCIPAL: RIVIERE YAMASKA																				
		YAMASKA			ST-MARCEL			AUTOROUTE 20			DOUVILLE			ST-DAMASE			FARHAM			ADAMSVILLE		
		P.F. <sup>1</sup>	C.V. <sup>3</sup>	I.E. <sup>4</sup>	P.F.	C.V.	I.E.	P.F.	C.V.	I.E.	P.F.	C.V.	I.E.	P.F.	C.V.	I.E.	P.F.	C.V.	I.E.	P.F.	C.V.	I.E.
1975																						
HIVER	1	54	4	4	59	4	4	55	3	4	44	4	4	43	5	4	45	6	4	9	1	4
	2	69	4	4	76	2	4	70	2	4	68	3	4	67	1	4	51	3	4	14	9	4
	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PRINT.	1	39	8	4	56	4	4	44	4	4	43	8	4	37	7	4	38	2	4	9.1	-	4
	2	26	6	4	22	6	4	27	7	4	23	9	4	21	4	4	22	4	4	14	5	4
	3	40	1	4	40	-	4	39	2	4	32	3	4	34	5	4	30	3	4	9.3	4	4
ETE	1	7.1	11	4	6.4	15	4	25	8	4	12	4	4	21	21	4	8.4	7	4	1.5	10	3
	2	7.3	6	4	3.5	24	3	17	7	4	13	8	4	14	6	4	34	6	4	1	50	3
	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AUT.	1	55	9	4	49	3	4	45	5	4	45	5	4	30	7	4	40	7	4	2	15	3
	2	38	6	4	44	5	4	32	6	4	31	9	4	26	6	4	12	7	4	1.2	9	3
P.F. <sup>2</sup> P.V. <sup>6</sup>		37 (7.1-69)			40 (3.5-76)			39 (17-70)			34 (12-68)			32 (14-67)			31 (8.4-51)			6.8 (1-14)		

<sup>1</sup> P.F. : potentiel de fertilité (mg d'algues  $l^{-1}$ )

<sup>2</sup> P.F. : P.F. moyen pour les saisons étudiées.

<sup>3</sup> C.V. : coefficient de variation corrigé au jour 21.

<sup>4</sup> I.E. : indice d'enrichissement  
 1 = faible: < 0.1 mg d'algues  $l^{-1}$ ;  
 2 = moyen : 0.1 - 0.8 mg d'algues  $l^{-1}$ ;  
 3 = moyen +: 0.81 - 6 mg d'algues  $l^{-1}$ ;  
 4 = fort : > 6 mg d'algues  $l^{-1}$ .

<sup>5</sup> Prélèvements mensuels: les dates de prélèvement sont indiquées dans l'Annexe 4 (Tableau A.4.10).

<sup>6</sup> P.V. : plage de variation (x - y): x = valeur minimum observée;  
 y = valeur maximum observée.

TABLEAU 3.2.8A: POTENTIEL DE FERTILITE ET INDICES D'ENRICHISSEMENT:  
TRIBUTAIRES DE LA RIVIERE YAMASKA (1975).

DATE DE PRELEVEMENT	TRIBUTAIRES DE LA RIVIERE YAMASKA																		
	RIVIERE ST-NAZAIRE			RIVIERE YAMASKA NORD									RIVIERE YAMASKA SUD-EST						
				Aval de Waterloo			Aval de Granby			Aval de St-Alphonse			Aval de Cowansville			Aval de Brigham			
	P.F. <sup>1</sup>	C.V. <sup>3</sup>	I.E. <sup>4</sup>	P.F.	C.V.	I.E.	P.F.	C.V.	I.E.	P.F.	C.V.	I.E.	P.F.	C.V.	I.E.	P.F.	C.V.	I.E.	
1975																			
HIVER	1	37	6	4	36	4	4	61	3	4	62	2	4	30	1	4	29	-	4
	2	53	6	4	55	3	4	54	3	4	60	2	4	35	2	4	51	3	4
	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PRINT.	1	36	2	4	39	4	4	24	5	4	32	11	4	15	5	4	15	9	4
	2	26	8	4	22	4	4	32	2	2	55	3	4	24	8	4	13	4	4
	3	29	3	4	70	2	4	0,3	7	-	59	3	4	51	3	4	41	-	4
ETE	1	3.1	10	3	8.2	7	4	73	-	4	91	4	4	53	9	4	2,8	14	3
	2	35	3	4	0.5	-	2	126	3	4	139	5	4	66	-	4	11	3	4
	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AUT.	1	33	3	4	78	5	4	24	1	4	78	3	4	16	6	4	11	8	4
	2	-	-	-	49	5	4	21	10	4	46	8	4	13	4	4	9	6	4
<sup>2</sup> P.F. P.V. <sup>6</sup>		32 (3.1-53)			40 (0.5-78)			46 (0.3-126)			69 (32-139)			37 (13-66)			20 (2.8-51)		

<sup>1</sup> P.F. : potentiel de fertilité (mg d'algues  $\ell^{-1}$ ).

<sup>2</sup> P.F. : P.F. moyen pour les saisons étudiées.

<sup>3</sup> C.V. : coefficient de variation corrigé au jour 21.

<sup>4</sup> I.E. : indice d'enrichissement 1 = faible : < 0.1 mg d'algues  $\ell^{-1}$ ;  
2 = moyen : 0.1 - 0.8 mg d'algues  $\ell^{-1}$ ;  
3 = moyen + : 0.81 - 6 mg d'algues  $\ell^{-1}$ ;  
4 = fort : > 6 mg d'algues  $\ell^{-1}$ .

<sup>5</sup> Prélèvements mensuels : les dates de prélèvement sont indiquées dans l'Annexe 4 (Tableau A.4.11).

<sup>6</sup> P.V. : plage de variation (x - y): x = valeur minimum observée;  
y = valeur maximum observée.

TABLEAU 3.2.8B: POTENTIEL DE FERTILITE ET INDICES D'ENRICHISSEMENT:  
TRIBUTAIRES DE LA RIVIERE YAMASKA (1975).

DATE DE PRELEVEMENT	TRIBUTAIRES DE LA RIVIERE YAMASKA																	
	RIVIERE DAVID			RIVIERE SALVAIL			RIVIERE CHIBOUET			RIVIERE NOIRE								
										Roxton Falls			St-Hector			St-Pie		
	P.F. <sup>1</sup>	C.V. <sup>3</sup>	I.E. <sup>4</sup>	P.F.	C.V.	I.E.	P.F.	C.V.	I.E.	P.F.	C.V.	I.E.	P.F.	C.V.	I.E.	P.F.	C.V.	I.E.
1975																		
HIVER	1 20	3	4	9.8	2	4	29	3	4	22	3	4	37	4	4	36	3	4
	2 70	2	4	83	3	4	51	2	4	41	2	4	55	-	4	63	2	4
	3 -	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PRINT.	1 41	6	4	50	6	4	33	4	4	6,6	4	4	28	6	4	41	2	4
	2 20	6	4	37	-	4	36	5	4	10	2	4	23	4	4	12	6	4
	3 28	4	4	55	2	4	43	3	4	8,7	7	4	5,4	8	3	25	6	4
ETE	1 3.8	5	3	29	3	4	22	5	4	1,1	20	3	1,8	11	3	5,1	2	3
	2 1.8	9	3	5,1	9	3	7,3	-	4	14	13	4	11	12	4	8	20	4
	3 -	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AUT.	1 11	2	4	22	6	4	58	6	4	5,9	7	3	20	5	4	37	7	4
	2 23	6	4	57	3	4	51	3	4	5,1	11	3	13	7	4	20	5	4
P.F. <sup>2</sup>	24			39			44			13			22			28		
P.V. <sup>6</sup>	(1.8-70)			(5.1-83)			(7.3-58)			(1.1-41)			(1.8-55)			(5.1-63)		

1 P.F. : potentiel de fertilité (mg d'algues  $\ell^{-1}$ ).

2  $\overline{P.F.}$  : P.F. moyen pour les saisons étudiées.

3 C.V. : coefficient de variation corrigé au jour 21.

4 I.E. : indice d'enrichissement 1 = faible : < 0.1 mg d'algues  $\ell^{-1}$ ;  
2 = moyen : 0.1 - 0.8 mg d'algues  $\ell^{-1}$ ;  
3 = moyen + : 0.81 - 6 mg d'algues  $\ell^{-1}$ ;  
4 = fort : > 6 mg d'algues  $\ell^{-1}$ .

5 Prélèvements mensuels: les dates de prélèvement sont indiquées dans l'Annexe 4 (Tableau A.4.12).

6 P.V. : plage de variation (x - y): x = valeur minimum observée;  
y = valeur maximum observée.

TABLEAU 3.2.9A: COEFFICIENT DE CROISSANCE MAXIMUM: TRONCON PRINCIPAL DE LA RIVIERE SAINT-FRANCOIS (1974).

Date de prélèvement <sup>5</sup>	TRONCON PRINCIPAL: RIVIERE SAINT-FRANCOIS												
	PIERREVILLE		DRUMMONDVILLE		RICHMOND		BROMPTONVILLE		LENNOXVILLE (passe 1)		LENNOXVILLE (passe 2)		
	C.C.M. <sup>1</sup>	C.V. <sup>2</sup>	C.C.M.	C.V.	C.C.M.	C.V.	C.C.M.	C.V.	C.C.M.	C.V.	C.C.M.	C.V.	
1974													
HIVER	1	0.84	31	1.10	7	1.37	8	0.91	10	1.48	17	0.76	-
	2	2.02	7	0.95	3	0.95	8	0.95	5	1.83	11	1.24	1
	3	2.64	8	1.88	1	2.51	9	2.39	4	-	-	-	-
PRINT.	1	1.52	4	1.46	6	1.27	4	1.63	10	1.09	10	1.31	2
	2	1.29	7	1.35	6	0.94	5	1.03	10	1.27	5	0.82	1
	3	1.23	9	1.11	7	1.05	6	1.31	5	1.57	2	0.83	9
ETE	1	1.76	7	2.16	13	2.39	8	1.72	9	1.30	6	2.03	8
	2	2.19	7	1.59	8	1.27	-	1.54	5	1.87	6	1.32	6
	3	0.80	4	0.81	7	0.84	4	0.58	34	0.20	20	0.79	-
AUT.	1	0.85	-	0.79	16	1.19	4	0.78	7	1.03	8	0.54	-
	2	0.69	12	0.65	4	0.57	9	0.79	3	-	-	0.74	1
	3	<u>0.87</u>	5	<u>1.00</u>	7	<u>1.35</u>	3	<u>1.08</u>	6	<u>0.63</u>	36	<u>0.96</u>	16
C.C.M. <sup>3</sup>	1.39		1.23		1.30		1.22		1.22		1.18		
P.V. <sup>4</sup>	(0.69-2.64)		(0.65-2.16)		(0.57-2.51)		(0.58-2.39)		(0.20-1.87)		(0.54-2.03)		

<sup>1</sup> C.C.M.: coefficient de croissance maximum

$$C.C. = \frac{\ln(X_2 - X_1)}{t} \quad \begin{array}{l} X_2 = \text{biomasse au temps } t_2 \\ X_1 = \text{biomasse au temps } t_1 \\ t = t_2 - t_1 \end{array}$$

<sup>2</sup> C.V. : coefficient de variation corrigé au jour 21.

<sup>3</sup> C.C.M.: C.C.M. moyen pour les saisons étudiées.

<sup>4</sup> P.V. : plage de variation (x - y): x = valeur minimum observée;  
y = valeur maximum observée.

<sup>5</sup> Prélèvements mensuels: les dates de prélèvement sont indiquées dans l'Annexe 4 (Tableau A.4.1).

TABLEAU 3.2.9B: COEFFICIENT DE CROISSANCE MAXIMUM: TRONCON PRINCIPAL DE LA RIVIERE SAINT-FRANCOIS (1974).

Date de prélèvement <sup>5</sup>	TRONCON PRINCIPAL: RIVIERE SAINT-FRANCOIS										
	ASCOT CORNER		EAST ANGUS		AU SAUMON		ST-GERARD		DISRAELI		
	C.C.M. <sup>1</sup>	C.V. <sup>2</sup>	C.C.M.	C.V.	C.C.M.	C.V.	C.C.M.	C.V.	C.C.M.	C.V.	
1974											
HIVER	1	0.98	20	1.08	15	0.95	-	1.50	8	1.23	5
	2	1.89	14	2.02	1	0.85	29	0.84	8	1.12	35
	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PRINT.	1	1.04	3	0.82	7	0.85	2	0.96	4	1.13	6
	2	1.32	5	1.19	9	1.59	6	1.68	9	1.63	5
	3	0.72	15	1.13	6	0.47	8	0.53	6	0.65	8
ETE	1	1.55	1	1.36	6	1.37	4	0.90	9	1.00	4
	2	1.35	10	1.42	7	1.51	11	1.24	10	1.26	6
	3	0.83	6	0.19	38	0.20	7	0.12	6	0.55	37
AUT.	1	0.74	16	0.82	9	1.03	12	0.80	10	1.05	7
	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	3	<u>1.03</u>	3	<u>1.20</u>	10	<u>2.02</u>	19	<u>1.09</u>	9	<u>0.99</u>	7
C.C.M. <sup>3</sup>		1.14		1.12		1.08		0.96		1.06	
P.V. <sup>4</sup>		(0.72-1.89)		(0.19-2.02)		(0.20-2.02)		(0.12-1.68)		(0.55-1.63)	

<sup>1</sup> C.C.M.: coefficient de croissance maximum

$$C.C. = \frac{\ln(X_2 - X_1)}{t}$$

$X_2$  = biomasse au temps  $t_2$

$X_1$  = biomasse au temps  $t_1$

$t = t_2 - t_1$

<sup>2</sup> C.V. : coefficient de variation corrigé au jour 21.

<sup>3</sup> C.C.M.: C.C.M. moyen pour les saisons étudiées.

<sup>4</sup> P.V. : plage de variation (x-y): x = valeur minimum observée;  
y = valeur maximum observée.

<sup>5</sup> Prélèvements mensuels: les dates de prélèvement sont indiquées dans l'Annexe 4 (Tableau A.4.2).

TABLEAU 3.2.10: COEFFICIENT DE CROISSANCE MAXIMUM: TRIBUTAIRES DE LA RIVIERE SAINT-FRANCOIS (1974).

Date de prélèvement <sup>5</sup>	TRIBUTAIRES DE LA RIVIERE ST-FRANCOIS														
	RIV. ST-GERMAIN		LAC MEMPHR.		RIV. MAGOG		RIV. MASSAWIPPI		RIV. ASCOT		RIV. EATON		RIV. AU SAUMON		
	C.C.M. <sup>1</sup>	C.V. <sup>2</sup>	C.C.M.	C.V.	C.C.M.	C.V.	C.C.M.	C.V.	C.C.M.	C.V.	C.C.M.	C.V.	C.C.M.	C.V.	
1974															
HIVER	1	2.13	13	0.91	4	1.00	7	1.33	7	0.79	4	1.86	2	0.95	9
	2	1.83	6	0.56	9	1.06	8	1.04	9	0.96	4	2.30	11	2.09	8
	3	2.24	9	-	-	2.19	4	1.77	3	-	-	-	-	-	-
PRINT.	1	1.52	4	1.52	3	1.47	5	1.16	5	1.68	4	1.12	10	1.15	12
	2	1.23	9	1.18	2	0.94	3	1.25	4	0.98	7	1.33	9	0.93	2
	3	1.24	2	0.96	7	1.78	20	1.64	10	1.06	8	1.29	10	1.36	1
ETE	1	1.92	9	1.57	13	1.72	8	1.62	2	1.26	4	0.77	7	1.16	9
	2	1.68	4	1.07	5	1.21	6	1.41	9	1.20	3	1.14	9	1.42	5
	3	1.00	3	0.91	3	0.57	12	0.59	27	0.92	3	0.13	10	0.13	11
AUT.	1	1.56	6	0.58	9	1.49	8	1.06	10	1.54	7	1.41	6	1.99	30
	2	1.55	6	0.89	5	0.67	12	0.94	13	1.07	4	-	-	-	-
	3	<u>2.30</u>	7	<u>0.78</u>	2	<u>0.91</u>	8	<u>1.10</u>	4	<u>1.13</u>	7	<u>1.23</u>	18	<u>1.23</u>	10
<u>C.C.M.</u> <sup>3</sup>		1.68		0.99		1.25		1.24		1.14		1.25		1.24	
P.V. <sup>4</sup>		(1.00-2.30)		(0.56-1.57)		(0.57-2.19)		(0.59-1.77)		(0.79-1.68)		(0.13-2.30)		(0.13-2.09)	

<sup>1</sup> C.C.M.: coefficient de croissance maximum

$$C.C. = \frac{\ln(X_2 - X_1)}{t}$$

$X_2$  = biomasse au temps  $t_2$   
 $X_1$  = biomasse au temps  $t_1$   
 $t$  =  $t_2 - t_1$

<sup>2</sup> C.V. : coefficient de variation corrigé au jour 21.

<sup>3</sup> C.C.M.: C.C.M. moyen pour les saisons étudiées.

<sup>4</sup> P.V. : plage de variation (x-y): x = valeur minimum observée;  
y = valeur maximum observée.

<sup>5</sup> Prélèvements mensuels: les dates de prélèvement sont indiquées dans l'Annexe 4 (Tableau A.4.3).

TABLEAU 3.2.11A: COEFFICIENT DE CROISSANCE MAXIMUM: TRONCON PRINCIPAL DE LA RIVIERE SAINT-FRANCOIS (1975).

Date de prélèvement <sup>5</sup>	TRONCON PRINCIPAL: RIVIERE SAINT-FRANCOIS												
	PIERREVILLE		DRUMMONDVILLE		RICHMOND		BROMPTONVILLE		LENNOXVILLE (passe 1)		LENNOXVILLE (passe 2)		
	C.C.M. <sup>1</sup>	C.V. <sup>2</sup>	C.C.M.	C.V.	C.C.M.	C.V.	C.C.M.	C.V.	C.C.M.	C.V.	C.C.M.	C.V.	
1975													
HIVER	1	1.60	5	1.47	2	1.59	3	1.55	7	1.49	8	1.26	5
	2	1.30	3	1.14	1	1.31	4	1.72	10	1.38	6	1.33	4
	3	1.52	5	1.72	10	1.21	4	1.53	1	1.77	6	1.35	8
PRINT.	1	1.70	5	1.66	4	1.59	10	1.65	6	1.49	7	1.60	7
	2	1.20	4	1.62	3	1.25	3	1.70	8	1.56	5	1.45	3
	3	1.32	9	1.22	3	1.29	12	1.19	10	1.59	8	1.11	2
ETE	1	2.30	57	0.52	10	0.82	15	1.13	8	1.40	-	0.66	37
	2	-	-	-	-	-	-	-	-	1.16	4	-	-
	3	-	-	-	-	-	-	-	-	1.67	2	-	-
AUT.	1	0.94	8	0.95	2	0.82	2	0.82	9	1.41	2	0.81	8
	2	1.05	23	0.97	3	1.12	9	1.12	4	1.09	-	1.10	2
	3	1.45	9	2.54	3	1.76	9	1.80	5	-	-	1.81	6
C.C.M. <sup>3</sup>	1.43		1.38		1.27		1.42		1.45		1.24		
P.V. <sup>4</sup>	(0.94-2.30)		(0.52-2.54)		(0.82-1.76)		(0.82-1.80)		(1.09-1.77)		(0.66-1.81)		

<sup>1</sup> C.C.M.: coefficient de croissance maximum

$$C.C. = \frac{\ln(X_2 - X_1)}{t}$$

$X_2$  = biomasse au temps  $t_2$

$X_1$  = biomasse au temps  $t_1$

$$t = t_2 - t_1$$

<sup>2</sup> C.V. : coefficient de variation corrigé au jour 21.

<sup>3</sup> C.C.M.: C.C.M. moyen pour les saisons étudiées.

<sup>4</sup> P.V. : plage de variation (x-y): x = valeur minimum observée;  
y = valeur maximum observée.

<sup>5</sup> Prélèvements mensuels: les dates de prélèvement sont indiquées dans l'Annexe 4 (Tableau A.4.4).

TABLEAU 3.2.118: COEFFICIENT DE CROISSANCE MAXIMUM: TRONCON PRINCIPAL DE LA RIVIERE SAINT-FRANCOIS (1975).

Date de prélèvement	TRONCON PRINCIPAL: RIVIERE SAINT-FRANCOIS										
	ASCOT CORNER		EAST ANGUS		AU SAUMON		ST-GERARD		DISRAELI		
	C.C.M. <sup>1</sup>	C.V. <sup>2</sup>	C.C.M.	C.V.	C.C.M.	C.V.	C.C.M.	C.V.	C.C.M.	C.V.	
1975											
HIVER	1	1.44	6	1.44	3	1.33	6	1.43	4	1.33	5
	2	1.70	9	1.78	2	2.02	7	1.65	4	1.33	8
	3	1.79	9	1.63	8	1.64	8	1.56	5	1.65	4
PRINT.	1	1.42	5	1.52	9	1.31	5	1.54	4	1.36	1
	2	1.70	8	1.35	1	1.32	2	1.20	-	1.47	10
	3	1.69	3	1.56	7	1.42	8	1.30	7	1.53	3
ETE	1	1.42	9	1.33	6	2.13	42	1.41	5	-	-
	2	1.47	8	1.65	6	1.70	8	1.63	2	2.25	6
	3	1.68	10	1.62	9	1.22	9	1.60	6	1.61	7
AUT.	1	1.35	2	1.53	1	1.37	3	1.36	3	1.45	2
	2	1.14	6	1.38	2	1.00	5	1.16	5	1.21	3
	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C.C.M. <sup>3</sup>	1.52		1.52		1.37		1.44		1.51		
P.V. <sup>4</sup>	(1.14-1.79)		(1.33-1.78)		(1.00-2.13)		(1.16-1.65)		(1.21-2.25)		

<sup>1</sup> C.C.M.: coefficient de croissance maximum

$$C.C. = \frac{\ln(X_2 - X_1)}{t}$$

X<sub>2</sub> = biomasse au temps t<sub>2</sub>  
X<sub>1</sub> = biomasse au temps t<sub>1</sub>  
t = t<sub>2</sub> - t<sub>1</sub>

<sup>2</sup> C.V. : coefficient de variation corrigé au jour 21.

<sup>3</sup> C.C.M.: C.C.M. moyen pour les saisons étudiées.

<sup>4</sup> P.V. : plage de variation (x-y): x = valeur minimum observée;  
y = valeur maximum observée.

<sup>5</sup> Prélèvements mensuels: les dates de prélèvement sont indiquées dans l'Annexe 4 (Tableau A.4.5).

TABLEAU 3.2.12: COEFFICIENT DE CROISSANCE MAXIMUM: TRIBUTAIRES DE LA RIVIERE SAINT-FRANCOIS (1975).

Date de prélèvement <sup>5</sup>	TRIBUTAIRES DE LA RIVIERE SAINT-FRANCOIS														
	RIV. ST-GERMAIN		LAC MEMPHR.		RIV. MAGOG		RIV. MASSAWIPPI		RIV. ASCOT		RIV. EATON		RIV. AU SAUMON		
	C.C.M. <sup>1</sup>	C.V. <sup>2</sup>	C.C.M.	C.V.	C.C.M.	C.V.	C.C.M.	C.V.	C.C.M.	C.V.	C.C.M.	C.V.	C.C.M.	C.V.	
1975															
HIVER	1	2.29	3	1.75	6	1.66	6	1.62	3	2.05	6	1.43	9	1.74	-
	2	1.68	9	1.34	8	1.91	7	1.67	4	1.70	7	1.34	3	1.59	5
	3	1.97	12	1.55	4	1.58	6	1.51	6	1.62	8	1.63	4	1.62	6
PRINT.	1	1.61	3	1.54	5	1.52	2	1.49	-	1.81	8	1.59	5	1.34	3
	2	2.31	7	1.67	9	1.26	6	1.48	9	1.52	7	1.32	6	1.44	7
	3	1.93	7	0.84	11	0.82	8	1.27	5	1.36	9	1.48	8	1.41	4
ETE	1	3.58	17	0.13	42	-	-	0.42	37	0.30	34	1.35	6	1.32	4
	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.41	6	1.36	8
	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.44	7	1.55	7
AUT.	1	2.72	20	0.98	3	0.75	4	1.07	3	1.04	2	1.43	2	1.43	2
	2	3.53	22	0.73	11	1.17	3	1.32	5	1.27	4	1.28	1	1.37	1
	3	1.88	6	1.10	5	1.27	8	1.41	5	1.08	6	-	-	-	-
C.C.M. <sup>3</sup>		2.35		1.16		1.32		1.32		1.37		1.43		1.47	
P.V. <sup>4</sup>		(1.61-3.58)		(0.13-1.75)		(0.75-1.91)		(0.42-1.67)		(0.30-2.05)		(1.28-1.63)		(1.32-1.74)	

<sup>1</sup> C.C.M.: coefficient de croissance maximum

$$C.C. = \frac{\ln(X_2 - X_1)}{t}$$

$X_2$  = biomasse au temps  $t_2$   
 $X_1$  = biomasse au temps  $t_1$   
 $t$  =  $t_2 - t_1$

<sup>2</sup> C.V. : coefficient de variation corrigé au jour 21.

<sup>3</sup> C.C.M.: C.C.M. moyen pour les saisons étudiées.

<sup>4</sup> P.V. : plage de variation (x-y): x = valeur minimum observée;  
y = valeur maximum observée.

<sup>5</sup> Prélèvements mensuels: les dates de prélèvement sont indiquées dans l'Annexe 4 (Tableau A.4.6).

TABLEAU 3.2.13: COEFFICIENT DE CROISSANCE MAXIMUM: TRONCON PRINCIPAL DE LA RIVIERE YAMASKA (1974).

Date de prélèvement <sup>5</sup>	TRONCON PRINCIPAL: RIVIERE YAMASKA														
	YAMASKA		ST-MARCEL		AUTOROUTE 20		DOUVILLE		ST-DAMASE		FARNHAM		ADAMSVILLE		
	C.C.M. <sup>1</sup>	C.V. <sup>2</sup>	C.C.M.	C.V.	C.C.M.	C.V.	C.C.M.	C.V.	C.C.M.	C.V.	C.C.M.	C.V.	C.C.M.	C.V.	
1974															
HIVER	1	1.26	20	1.24	0.9	2.36	3	-	-	-	-	1.10	7	0.98	12
	2	2.40	8	1.65	16	1.94	20	1.55	3	1.76	9	1.27	13	1.13	27
	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.27	13	1.51	7
PRINT.	1	1.60	5	1.56	5	1.47	10	1.62	10	1.51	8	1.40	19	1.32	15
	2	2.00	16	1.94	8	2.10	17	2.07	6	2.05	19	1.51	5	1.66	6
	3	1.37	19	1.51	6	1.57	19	1.49	5	1.72	10	1.47	9	1.49	16
ETE	1	1.31	5	1.46	12	1.34	4	1.35	7	1.41	19	1.73	20	2.08	11
	2	1.52	2	1.60	6	1.63	7	1.61	0.5	1.54	8	1.72	2	1.62	16
	3	1.92	43	1.44	12	1.36	9	1.40	0.7	1.57	8	1.50	6	1.26	15
	4	1.28	5	1.94	17	1.51	25	2.01	4	2.14	3	-	-	-	-
AUT.	1	1.79	6	1.06	14	1.15	24	1.08	4	1.07	7	1.39	25	0.84	10
	2	1.35	8	1.18	14	1.07	14	1.13	29	1.45	11	1.78	4	2.27	16
	3	<u>1.49</u>	2	<u>1.68</u>	6	<u>1.50</u>	7	<u>2.68</u>	14	<u>1.49</u>	6	<u>2.01</u>	19	<u>1.64</u>	4
C.C.M. <sup>3</sup>		1.60		1.52		1.59		1.63		1.61		1.51		1.48	
P.V. <sup>4</sup>		(1.26-2.40)		(1.06-1.94)		(1.07-2.36)		(1.08-2.68)		(1.07-2.14)		(1.10-2.01)		(0.84-2.27)	

<sup>1</sup> C.C.M.: coefficient de croissance maximum

$$C.C. = \frac{\ln(X_2 - X_1)}{t} \quad \begin{array}{l} X_2 = \text{biomasse au temps } t_2 \\ X_1 = \text{biomasse au temps } t_1 \\ t = t_2 - t_1 \end{array}$$

<sup>2</sup> C.V. : coefficient de variation corrigé au jour 21.

<sup>3</sup> C.C.M.: C.C.M. moyen pour les saisons étudiées.

<sup>4</sup> P.V. : plage de variation (x-y): x = valeur minimum observée;  
y = valeur maximum observée.

<sup>5</sup> Prélèvements mensuels: les dates de prélèvement sont indiquées dans l'Annexe 4 (Tableau A.4.7).

TABLEAU 3.2.14A: COEFFICIENT DE CROISSANCE MAXIMUM: TRIBUTAIRES DE LA RIVIERE YAMASKA (1974).

Date de prélèvement <sup>5</sup>	TRIBUTAIRES DE LA RIVIERE YAMASKA												
	RIVIERE YAMASKA NORD								RIVIERE YAMASKA SUD-EST				
	RIV. ST-NAZAIRE		AVAL DE WATERLOO		AVAL DE GRANBY		AVAL ST-ALPHONSE		AVAL COWANSVILLE		AVAL DE BRIGHAM		
	C.C.M. <sup>1</sup>	C.V. <sup>2</sup>	C.C.M.	C.V.	C.C.M.	C.V.	C.C.M.	C.V.	C.C.M.	C.V.	C.C.M.	C.V.	
1974													
HIVER	1	1.18	9	1.04	4	1.27	9	1.31	18	1.01	14	1.36	10
	2	1.28	8	1.51	-	2.59	3	1.89	9	1.36	9	1.48	5
	3	1.48	9	1.38	8	1.39	7	1.37	8	1.31	-	1.41	8
PRINT.	1	1.32	9	1.44	5	1.37	6	1.47	9	1.26	7	1.24	-
	2	1.16	8	1.29	8	1.50	4	1.26	1	1.21	3	1.37	14
	3	1.80	7	1.79	2	1.37	8	1.50	8	1.50	6	1.37	2
ETE	1	1.52	4	0.73	10	2.68	2	1.97	12	2.18	1	1.87	2
	2	2.44	7	1.61	14	2.25	24	2.09	5	3.62	19	1.55	9
	3	1.54	4	1.78	9	1.86	7	3.25	6	1.54	-	1.29	4
AUT.	1	1.49	14	1.56	-	1.43	4	1.63	10	1.41	2	1.60	8
	2	1.25	4	1.73	2	1.73	7	2.01	-	1.28	2	1.35	4
	3	<u>2.28</u>	4	<u>1.63</u>	8	<u>3.44</u>	10	<u>2.86</u>	12	<u>2.07</u>	10	<u>2.13</u>	10
C.C.M. <sup>3</sup>	1.56		1.45		1.90		1.88		1.64		1.50		
P.V. <sup>4</sup>	(1.16-2.44)		(0.73-1.79)		(1.27-3.44)		(1.26-3.25)		(1.01-3.62)		(1.24-2.13)		

<sup>1</sup> C.C.M.: coefficient de croissance maximum

$$C.C. = \frac{\ln(X_2 - X_1)}{t}$$

$X_2$  = biomasse au temps  $t_2$

$X_1$  = biomasse au temps  $t_1$

$t = t_2 - t_1$

<sup>2</sup> C.V. : coefficient de variation corrigé au jour 21.

<sup>3</sup> C.C.M.: C.C.M. moyen pour les saisons étudiées.

<sup>4</sup> P.V. : plage de variation (x-y): x = valeur minimum observée;  
y = valeur maximum observée.

<sup>5</sup> Prélèvements mensuels: les dates de prélèvement sont indiquées dans l'Annexe 4 (Tableau A.4.8).

TABLEAU 3.2.14B: COEFFICIENT DE CROISSANCE MAXIMUM: TRIBUTAIRES DE LA RIVIERE YAMASKA (1974).

Date de prélèvement <sup>5</sup>	TRIBUTAIRES DE LA RIVIERE YAMASKA																							
	RIV. DAVID						RIV. SALVAIL						RIV. CHIBOUET						RIVIERE NOIRE					
	RIV. DAVID		RIV. SALVAIL		RIV. CHIBOUET		ROXTON FALLS		ST-HECTOR		ST-PIE													
	C.C.M. <sup>1</sup>	C.V. <sup>2</sup>	C.C.M.	C.V.	C.C.M.	C.V.	C.C.M.	C.V.	C.C.M.	C.V.	C.C.M.	C.V.												
1974																								
HIVER	1	1.32	4	1.45	4	2.30	5	1.17	6	1.16	10	2.27	2											
	2	2.75	4	-	-	1.92	10	1.49	10	1.47	6	1.77	6											
	3	-	-	-	-	-	-	1.55	7	1.42	6	-	-											
PRINT.	1	1.85	5	2.04	2	1.64	3	1.33	2	1.38	10	1.61	3											
	2	1.59	5	2.32	2	2.37	10	1.44	5	1.66	2	1.73	6											
	3	1.57	7	1.19	10	2.23	4	1.47	10	1.59	4	1.54	5											
ETE	1	1.48	2	1.47	2	1.31	-	2.29	4	1.56	6	1.30	1											
	2	1.91	4	2.19	6	1.78	2	5.68	28	1.72	15	1.41	7											
	3	1.58	7	1.55	2	1.63	6	2.24	2	2.42	19	1.55	20											
	4	1.25	10	1.35	6	1.55	5	-	-	-	-	1.38	5											
AUT.	1	1.37	5	1.49	9	1.25	9	0.97	3	1.23	11	1.24	7											
	2	1.24	7	1.16	8	1.44	6	1.25	15	1.61	5	1.27	7											
	3	1.57	2	1.60	3	1.57	-	2.39	8	2.16	9	2.74	26											
C.C.M. <sup>3</sup>		1.62		1.61		1.74		1.93		1.61		1.65												
P.V. <sup>4</sup>		(1.24-2.75)		(1.16-2.32)		(1.25-2.37)		(0.97-5.68)		(1.16-2.42)		(1.24-2.74)												

<sup>1</sup> C.C.M.: coefficient de croissance maximum

$$C.C. = \frac{\ln(X_2 - X_1)}{t}$$

$X_2$  = biomasse au temps  $t_2$   
 $X_1$  = biomasse au temps  $t_1$   
 $t$  =  $t_2 - t_1$

<sup>2</sup> C.V. : coefficient de variation corrigé au jour 21.

<sup>3</sup> C.C.M.: C.C.M. moyen pour les saisons étudiées.

<sup>4</sup> P.V. : plage de variation (x-y): x = valeur minimum observée;  
y = valeur maximum observée.

<sup>5</sup> Prélèvements mensuels: les dates de prélèvement sont indiquées dans l'Annexe 4 (Tableau A.4.9).

TABLEAU 3.2.15: COEFFICIENT DE CROISSANCE MAXIMUM: TRONCON PRINCIPAL DE LA RIVIERE YAMASKA (1975).

Date de prélèvement <sup>5</sup>	TRONCON PRINCIPAL: RIVIERE YAMASKA														
	YAMASKA		ST-MARCEL		AUTOROUTE 20		DOUVILLE		ST-DAMASE		FARNHAM		ADAMSVILLE		
	C.C.M. <sup>1</sup>	C.V. <sup>2</sup>	C.C.M.	C.V.	C.C.M.	C.V.	C.C.M.	C.V.	C.C.M.	C.V.	C.C.M.	C.V.	C.C.M.	C.V.	
1975															
HIVER	1	2.49	6	2.42	-	2.38	3	2.93	2	2.69	7	1.81	2	1.71	8
	2	1.89	4	1.89	8	1.76	8	1.77	4	1.77	14	2.06	4	1.67	5
	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PRINT.	1	1.61	10	1.45	8	1.74	5	1.62	6	2.00	5	1.12	6	1.38	7
	2	1.68	2	1.90	9	1.58	6	1.56	-	1.90	8	1.54	5	1.51	6
	3	3.89	9	2.41	6	1.89	3	2.06	4	2.34	6	1.62	8	1.48	6
ETE	1	1.26	6	0.58	8	2.86	2	1.80	15	2.54	9	0.99	8	1.03	2
	2	3.44	2	2.47	6	1.67	14	2.99	3	4.15	13	1.47	7	0.39	40
	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AUT.	1	2.33	1	2.33	8	3.31	6	2.84	10	2.70	1	1.86	3	1.02	3
	2	1.67	12	1.75	6	2.06	14	1.97	10	1.58	8	1.41	3	1.08	6
$\overline{\text{C.C.M.}}$ <sup>3</sup>		2.25		1.91		2.13		2.17		2.40		1.54		1.25	
P.V. <sup>4</sup>		(1.26-3.89)		(0.58-2.47)		(1.58-3.31)		(1.56-2.99)		(1.58-4.15)		(0.99-2.06)		(0.39-1.71)	

<sup>1</sup> C.C.M.: coefficient de croissance maximum

$$\text{C.C.} = \frac{\ln(X_2 - X_1)}{t} \quad \begin{array}{l} X_2 = \text{biomasse au temps } t_2 \\ X_1 = \text{biomasse au temps } t_1 \\ t = t_2 - t_1 \end{array}$$

<sup>2</sup> C.V. : coefficient de variation corrigé au jour 21.

<sup>3</sup>  $\overline{\text{C.C.M.}}$ : C.C.M. moyen pour les saisons étudiées.

<sup>4</sup> P.V. : plage de variation (x-y): x = valeur minimum observée;  
y = valeur maximum observée.

<sup>5</sup> Prélèvements mensuels: les dates de prélèvement sont indiquées dans l'Annexe 4 (Tableau A.4.10).

TABLEAU 3.2.16A: COEFFICIENT DE CROISSANCE MAXIMUM:  
TRIBUTAIRES DE LA RIVIERE YAMASKA (1975).

Date de prélèvement	TRIBUTAIRES DE LA RIVIERE YAMASKA												
	RIV. ST-NAZAIRE		RIVIERE YAMASKA NORD				RIVIERE YAMASKA SUD EST						
	C.C.M. <sup>1</sup>	C.V. <sup>2</sup>	C.C.M.	C.V.	C.C.M.	C.V.	C.C.M.	C.V.	C.C.M.	C.V.	C.C.M.	C.V.	
1975													
HIVER	1	2.01	3	0.79	5	1.41	-	2.30	5	1.87	8	1.69	8
	2	1.95	7	1.56	8	1.70	6	1.76	6	1.64	3	1.86	5
	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PRINT.	1	1.16	16	1.37	7	1.17	3	1.37	10	1.15	9	1.29	6
	2	1.78	8	1.14	4	1.56	4	1.74	3	1.58	5	1.60	3
	3	1.76	7	1.65	4	1.13	5	1.26	4	1.72	2	1.67	8
ETE	1	1.50	9	1.30	2	3.07	2	4.58	2	1.91	5	1.09	8
	2	1.29	14	0.00	20	2.81	14	2.54	15	2.08	5	1.45	9
	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AUT.	1	3.00	9	3.59	6	1.25	7	2.57	7	1.42	5	1.25	10
	2	-	-	1.56	2	1.29	3	1.50	3	1.45	4	1.37	3
C.C.M. <sup>3</sup>	1.80		1.44		1.71		2.18		1.64		1.47		
P.V. <sup>4</sup>	(1.16-3.00)		(0.00-3.59)		(1.13-3.07)		(1.26-4.58)		(1.15-2.08)		(1.09-1.86)		

<sup>1</sup> C.C.M.: coefficient de croissance maximum

$$C.C. = \frac{\ln(X_2 - X_1)}{t} \quad \begin{array}{l} X_2 = \text{biomasse au temps } t_2 \\ X_1 = \text{biomasse au temps } t_1 \\ t = t_2 - t_1 \end{array}$$

<sup>2</sup> C.V. : coefficient de variation corrigé au jour 21.

<sup>3</sup> C.C.M.: C.C.M. moyen pour les saisons étudiées.

<sup>4</sup> P.V. : plage de variation (x-y): x = valeur minimum observée;  
y = valeur maximum observée.

<sup>5</sup> Prélèvements mensuels: les dates de prélèvement sont indiquées dans l'Annexe 4 (Tableau A.4.11).

TABLEAU 3.2.16B: COEFFICIENT DE CROISSANCE MAXIMUM:  
TRIBUTAIRES DE LA RIVIERE YAMASKA (1975).

Date de prélèvement <sup>5</sup>		TRIBUTAIRES DE LA RIVIERE YAMASKA																					
		RIV. DAVID						RIV. SALVAIL						RIV. CHIBOUET						RIVIERE NOIRE			
		RIV. DAVID		RIV. SALVAIL		RIV. CHIBOUET		ROXTON FALLS		ST-HECTOR		ST-PIE											
		C.C.M. <sup>1</sup>	C.V. <sup>2</sup>	C.C.M.	C.V.	C.C.M.	C.V.	C.C.M.	C.V.	C.C.M.	C.V.	C.C.M.	C.V.										
1975																							
HIVER	1	2.78	5	2.71	13	2.79	3	1.75	3	1.86	4	2.26	16										
	2	1.88	4	2.04	13	1.93	4	2.01	8	1.90	5	1.60	5										
	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-										
PRINT.	1	1.76	7	1.82	3	3.69	4	1.40	5	1.33	17	1.96	6										
	2	1.67	2	1.68	4	1.65	6	1.34	3	1.66	6	1.61	-										
	3	2.17	1	3.52	8	2.11	3	1.45	2	1.43	3	1.86	7										
ETE	1	0.49	14	3.26	9	2.56	4	1.79	6	1.81	3	1.01	2										
	2	2.28	6	2.87	15	3.30	16	1.52	7	1.96	1	1.59	6										
	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-										
AUT.	1	1.63	7	1.71	5	3.26	6	1.11	2	1.93	1	2.72	8										
	2	1.83	8	1.69	8	1.66	3	1.34	3	1.41	5	2.02	12										
	C.C.M. <sup>3</sup>	1.83		2.36		2.55		1.52		1.69		1.84											
	P.V. <sup>4</sup>	(0.49-2.78)		(1.68-3.52)		(1.65-3.69)		(1.11-2.01)		(1.33-1.96)		(1.01-2.71)											

<sup>1</sup> C.C.M.: coefficient de croissance maximum

$$C.C. = \frac{\ln(X_2 - X_1)}{t} \quad \begin{array}{l} X_2 = \text{biomasse au temps } t_2 \\ X_1 = \text{biomasse au temps } t_1 \\ t = t_2 - t_1 \end{array}$$

<sup>2</sup> C.V. : coefficient de variation corrigé au jour 21.

<sup>3</sup> C.C.M.: C.C.M. moyen pour les saisons étudiées.

<sup>4</sup> P.V. : plage de variation (x-y): x = valeur minimum observée;  
y = valeur maximum observée.

<sup>5</sup> Prélèvements mensuels: les dates de prélèvement sont indiquées dans l'Annexe 4 (Tableau A.4.12).

TABLEAU 3.2.17A: COEFFICIENT DE STIMULATION: BASSIN DE LA RIVIERE SAINT-FRANCOIS (1974).

Date de prélèvement	BASSIN DE LA RIVIERE SAINT-FRANCOIS								
	PIERREVILLE			RICHMOND			BROMPTONVILLE		
	N <sup>1</sup>	P <sup>2</sup>	NP <sup>3</sup>	N	P	NP	N	P	NP
21-01-74	1.4	1.0	2.2	1.1	2.6	5.0	0.9	1.4	4.6
19-02-74	2.6	1.0	2.7	2.0	1.0	3.8	2.5	2.6	7.5
26-03-74	1.0	2.9	3.0	1.0	3.8	11.2	1.0	2.2	6.7
23-04-74	1.2	1.2	6.7	0.9	1.2	6.3	0.8	1.3	5.7
23-05-74	0.9	6.2	21.2	1.5	5.3	16.8	0.8	6.5	23.2
18-06-74	0.7	1.0	8.4	1.3	0.6	10.7	1.7	1.2	6.3
16-07-74	1.7	1.0	8.8	1.2	1.2	9.1	0.6	3.3	7.0
13-08-74	1.2	0.8	12.3	1.3	1.0	12.1	0.7	1.3	5.7
10-09-74	0.8	1.6	7.7	-	-	-	1.6	0.8	11.2
09-10-74	1.0	0.9	7.3	1.7	0.8	7.1	1.0	1.0	5.4
04-11-74	0.7	1.3	4.1	0.8	1.8	5.6	0.8	2.8	7.7
04-12-74	1.1	4.9	10.5	1.0	4.1	10.3	0.7	1.7	4.9
$\bar{N}^4$	1.2			1.3			1.1		
PV <sup>5</sup>	(0.7-2.6)			(0.8-2.0)			(0.6-2.5)		
$\bar{P}^6$		2.0			2.1			2.2	
PV		(0.8-6.2)			(0.6-5.3)			(0.8-6.5)	
$\overline{NP}^7$			7.9			8.9			8.0
PV			(2.2-21.2)			(3.8-16.8)			(4.6-23.2)

<sup>1</sup> N: coefficient de stimulation de croissance calculé avec ajout de 1.4 mg N/l.

<sup>2</sup> P: coefficient de stimulation de croissance calculé avec ajout de 0.062 mg P/l.

<sup>3</sup> NP: coefficient de stimulation de croissance calculé avec ajout de 1.4 mg N/l + 0.062 mg P/l.

<sup>4</sup>  $\bar{N}$ : coefficient de stimulation moyen avec ajout de N.

<sup>5</sup> PV: plage de variation (x-y) où x = valeur minimum observée; y = valeur maximum observée.

<sup>6</sup>  $\bar{P}$ : coefficient de stimulation moyen avec ajout de P.

<sup>7</sup>  $\overline{NP}$ : coefficient de stimulation moyen avec ajout du mélange NP.

TABLEAU 3.2.17B: COEFFICIENT DE STIMULATION: BASSIN DE LA RIVIERE SAINT-FRANCOIS (1974).

Date de prélèvement	BASSIN DE LA RIVIERE SAINT-FRANCOIS								
	RIVIERE MASSAWIPPI			LENNOXVILLE			SAINT-GERARD		
	N <sup>1</sup>	P <sup>2</sup>	NP <sup>3</sup>	N	P	NP	N	P	NP
21-01-74	1.7	9.3	13.1	1.0	2.4	5.7	1.1	7.9	17.1
19-02-74	1.2	12.2	18.7	0.8	1.5	4.2	1.3	13.3	29.2
26-03-74	1.2	4.3	8.3	1.0	5.3	20.3	1.0	12.5	29.4
23-04-74	1.4	1.7	5.2	0.9	1.2	6.2	0.9	5.0	25.3
23-05-74	1.2	19.0	34.4	1.0	4.4	19.7	1.0	10.2	35.3
18-06-74	1.1	7.5	33.4	0.7	1.4	17.0	0.9	5.5	24.3
16-07-74	0.6	3.8	2.1	1.0	2.1	11.3	1.1	4.8	24.2
13-08-74	1.1	0.9	3.8	0.8	3.9	15.7	0.8	7.5	31.1
10-09-74	0.5	1.6	8.3	0.9	0.9	20.7	1.2	12.3	63.2
09-10-74	0.7	2.8	9.7	0.6	1.0	18.0	1.2	15.8	65.1
04-11-74	1.0	13.9	26.4	0.8	17.5	40.8	0.8	20.1	54.0
04-12-74	1.0	5.6	9.0	0.8	3.1	8.9	1.0	17.8	53.7
$\bar{N}$	1.1			0.9			1.0		
PV	(0.5-1.7)			(0.6-1.0)			(0.8-1.3)		
$\bar{P}$		6.9			3.7			11.1	
PV		(0.9-19.0)			(0.9-17.5)			(4.8-20.1)	
$\overline{NP}$			14.0			15.7			37.6
PV			(2.1-34.4)			(4.2-40.8)			(17.1-65.1)

<sup>1</sup> N: coefficient de stimulation de croissance calculé avec ajout de 1.4 mg N/l.

<sup>2</sup> P: coefficient de stimulation de croissance calculé avec ajout de 0.062 mg P/l.

<sup>3</sup> NP: coefficient de stimulation de croissance calculé avec ajout de 1.4 mg N/l + 0.062 mg P/l.

<sup>4</sup>  $\bar{N}$ : coefficient de stimulation moyen avec ajout de N.

<sup>5</sup> PV: plage de variation (x-y) où x = valeur minimum observée; y = valeur maximum observée.

<sup>6</sup>  $\bar{P}$ : coefficient de stimulation moyen avec ajout de P.

<sup>7</sup>  $\overline{NP}$ : coefficient de stimulation moyen avec ajout du mélange NP.

TABLEAU 3.2.18A: COEFFICIENT DE STIMULATION: BASSIN DE LA RIVIERE SAINT-FRANCOIS (1975).

Date de prélèvement	BASSIN DE LA RIVIERE SAINT-FRANCOIS									
	PIERREVILLE			RICHMOND			BROMPTONVILLE			
	N <sup>1</sup>	P <sup>2</sup>	NP <sup>3</sup>	N	P	NP	N	P	NP	
07-01-75	0.9	1.3	2.8	0.8	1.8	3.8	1.1	2.6	6.0	
04-02-75	1.1	2.7	7.2	0.7	1.2	4.0	1.0	2.1	5.5	
03-03-75	0.6	1.1	1.8	0.8	1.0	2.4	0.9	3.7	7.8	
01-04-75	0.9	2.2	4.1	0.9	2.3	5.1	0.9	2.6	5.3	
28-04-75	1.0	5.8	13.4	1.0	5.0	9.4	1.0	5.7	12.2	
26-05-75	1.1	1.0	14.4	1.2	0.8	6.4	1.3	0.9	4.3	
16-06-75	1.1	0.9	11.2	0.7	1.3	8.5	2.0	1.1	5.0	
23-07-75	1.4	1.1	5.4	0.9	1.2	8.5	1.1	1.2	3.5	
19-08-75	1.1	0.9	8.4	1.8	0.7	9.0	2.3	0.9	5.4	
$\bar{N}^4$	1.0			1.0			1.3			
PV <sup>5</sup>	(0.6-1.4)			(0.7-1.8)			(0.9-2.3)			
$\bar{P}^6$		1.9			1.7			2.3		
PV		(0.9-5.8)			(0.7-5.0)			(0.9-5.7)		
$\overline{NP}^7$			7.6			6.3			6.1	
PV			(1.8-14.4)			(2.9-9.4)			(3.4-12.2)	

<sup>1</sup> N: coefficient de stimulation de croissance calculé avec ajout de 1.4 mg N/l.

<sup>2</sup> P: coefficient de stimulation de croissance calculé avec ajout de 0.062 mg P/l.

<sup>3</sup> NP: coefficient de stimulation de croissance calculé avec ajout de 1.4 mg N/l + 0.062 mg P/l.

<sup>4</sup>  $\bar{N}$ : coefficient de stimulation moyen avec ajout de N.

<sup>5</sup> PV: plage de variation (x-y) où x = valeur minimum observée; y = valeur maximum observée.

<sup>6</sup>  $\bar{P}$ : coefficient de stimulation moyen avec ajout de P.

<sup>7</sup>  $\overline{NP}$ : coefficient de stimulation moyen avec ajout du mélange NP.

TABLEAU 3.2.18B: COEFFICIENT DE STIMULATION: BASSIN DE LA RIVIERE SAINT-FRANCOIS (1975).

Date de prélèvement	BASSIN DE LA RIVIERE SAINT-FRANCOIS											
	RIVIERE MAGOG			RIVIERE MASSAWIPPI			LENOXVILLE			SAINT-GERARD		
	N <sup>1</sup>	P <sup>2</sup>	NP <sup>3</sup>	N	P	NP	N	P	NP	N	P	NP
07-01-75	-	-	-	1.0	4.3	6.4	1.1	8.3	20.2	0.9	9.1	23.0
04-02-75	-	-	-	1.3	6.5	8.7	1.1	10.8	21.2	1.2	10.3	28.9
03-03-75	-	-	-	1.0	2.5	4.1	0.9	3.1	6.9	1.0	10.4	30.2
01-04-75	-	-	-	0.7	3.7	5.7	1.1	4.0	6.9	1.2	11.9	28.1
29-04-75	-	-	-	1.1	7.9	14.6	0.9	8.0	14.7	1.2	13.2	34.6
26-05-75	-	-	-	0.9	3.1	13.1	7.2	1.1	8.8	1.1	4.5	20.1
16-06-75	1.5	1.1	10.7	0.9	3.2	7.8	1.1	5.0	28.7	1.2	14.4	59.4
23-07-75	0.7	1.4	6.9	1.0	2.1	6.2	1.3	8.4	25.0	0.9	6.4	19.0
19-08-75	1.0	0.9	6.0	1.2	1.0	6.3	0.8	1.2	17.1	0.2	9.7	14.5
$\bar{N}^4$	1.1			1.0			1.7			0.9		
PV <sup>5</sup>	(0.7-1.5)			(0.7-1.3)			(0.8-7.2)			(0.2-1.2)		
$\bar{P}^6$		1.1			3.8			5.5			10.0	
PV		(0.9-1.4)			(1.0-7.9)			(1.1-10.8)			(4.5-14.4)	
$\bar{NP}^7$			7.9			8.1			16.6			29.0
PV			(6.0-10.7)			(4.1-14.6)			(6.9-28.7)			(14.5-59.4)

<sup>1</sup> N: coefficient de stimulation de croissance calculé avec ajout de 1.4 mg N/l.

<sup>2</sup> P: coefficient de stimulation de croissance calculé avec ajout de 0.062 mg P/l.

<sup>3</sup> NP: coefficient de stimulation de croissance calculé avec ajout de 1.4 mg N/l + 0.062 mg P/l.

<sup>4</sup>  $\bar{N}$ : coefficient de stimulation moyen avec ajout de N.

<sup>5</sup> PV: plage de variation (x-y) où x = valeur minimum observée; y = valeur maximum observée.

<sup>6</sup>  $\bar{P}$ : coefficient de stimulation moyen avec ajout de P.

<sup>7</sup>  $\bar{NP}$ : coefficient de stimulation moyen avec ajout du mélange NP.

TABLEAU 3.2.19A: COEFFICIENT DE STIMULATION: BASSIN DE LA RIVIERE YAMASKA (1974).

Date de prélèvement	BASSIN DE LA RIVIERE YAMASKA								
	SAINT-MARCEL			SAINT-PIE			SAINT-DAMASE		
	N <sup>1</sup>	P <sup>2</sup>	NP <sup>3</sup>	N	P	NP	N	P	NP
15-01-74	0.9	1.4	1.0	0.8	0.8	1.2	0.8	1.1	1.5
27-02-74	-	-	-	1.5	1.0	2.4	2.0	1.0	2.7
19-03-74	1.0	0.9	2.5	2.9	1.0	2.7	1.4	1.0	1.7
17-04-74	1.6	0.6	2.3	1.9	1.3	4.7	1.4	1.1	2.4
14-05-74	1.0	1.7	2.2	1.5	1.2	3.6	1.4	1.2	2.8
21-06-74	1.8	1.0	2.8	1.0	1.0	1.7	2.6	1.0	2.6
18-07-74	1.8	1.1	3.1	1.5	1.0	4.3	6.0	1.3	8.0
13-08-74	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12-09-74	2.0	1.0	2.2	1.2	0.8	3.4	1.8	1.0	2.6
10-10-74	1.5	0.9	1.6	1.4	0.8	1.9	2.2	1.0	2.5
06-11-74	2.1	1.1	1.8	1.1	1.0	2.0	1.3	1.0	1.7
05-12-74	0.9	1.1	1.2	1.9	1.7	2.9	0.9	1.1	1.7
$\bar{N}$ <sup>4</sup>	1.5			1.4			2.0		
PV <sup>5</sup>	(0.9-2.1)			(0.8-2.9)			(0.8-6.0)		
$\bar{P}$ <sup>6</sup>		1.1			1.1			1.1	
PV		(0.6-1.7)			(0.8-1.7)			(1.0-1.3)	
$\overline{NP}$ <sup>7</sup>			2.1			2.8			2.7
PV			(1.0-3.1)			(1.2-4.7)			(1.5-8.0)

<sup>1</sup> N: coefficient de stimulation de croissance calculé avec ajout de 1.4 mg N/l.

<sup>2</sup> P: coefficient de stimulation de croissance calculé avec ajout de 0.062 mg P/l.

<sup>3</sup>NP: coefficient de stimulation de croissance calculé avec ajout de 1.4 mg N/l + 0.062 mg P/l.

<sup>4</sup>  $\bar{N}$ : coefficient de stimulation moyen avec ajout de N.

<sup>5</sup>PV: plage de variation (x-y) où x = valeur minimum observée; y = valeur maximum observée.

<sup>6</sup>  $\bar{P}$ : coefficient de stimulation moyen avec ajout de P.

<sup>7</sup> $\overline{NP}$ : coefficient de stimulation moyen avec ajout du mélange NP.

TABLEAU 3.2.19B: COEFFICIENT DE STIMULATION: BASSIN DE LA RIVIERE YAMASKA.

Date de prélèvement	BASSIN DE LA RIVIERE YAMASKA								
	AVAL DE BRIGHAM			AVAL DE SAINT-ALPHONSE			ADAMSVILLE		
	N <sup>1</sup>	P <sup>2</sup>	NP <sup>3</sup>	N	P	NP	N	P	NP
15-01-74	1.0	1.2	1.6	2.1	1.0	2.2	0.8	1.7	47.4
27-02-74	2.4	1.0	2.7	1.6	1.0	1.6	1.0	2.8	10.5
19-03-74	2.3	1.5	2.7	1.4	0.9	1.6	0.8	3.1	11.3
17-04-74	1.4	1.1	2.6	1.8	1.1	2.9	1.0	2.6	4.3
14-05-74	1.8	1.0	4.2	2.8	1.1	3.0	1.1	4.7	26.3
21-06-74	3.0	1.0	2.9	2.3	1.1	2.3	0.7	4.3	10.7
18-07-74	1.8	0.9	5.2	5.7	0.9	5.6	3.3	1.3	29.8
13-08-74	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12-09-74	2.0	1.0	2.2	1.9	0.9	1.9	0.8	9.8	56.5
10-10-74	2.3	1.0	3.0	1.7	0.9	1.5	0.7	3.6	33.0
06-11-74	1.8	1.0	2.5	1.6	1.0	1.5	0.9	2.4	7.2
05-12-74	1.1	1.0	2.3	1.4	1.0	1.6	1.0	8.3	19.1
$\bar{N}^4$	1.9			2.2			1.1		
PV <sup>5</sup>	(1.0-3.0)			(1.4-5.7)			(0.7-3.3)		
$\bar{P}^6$		1.1			1.0			4.1	
PV		(0.9-1.5)			(0.9-1.1)			(1.3-9.8)	
$\overline{NP}^7$			2.9			2.3			2.3
PV			(1.6-5.2)			(1.5-5.6)			(4.3-56.5)

<sup>1</sup> N: coefficient de stimulation de croissance calculé avec ajout de 1.4 mg N/l.

<sup>2</sup> P: coefficient de stimulation de croissance calculé avec ajout de 0.062 mg P/l.

<sup>3</sup>NP: coefficient de stimulation de croissance calculé avec ajout de 1.4 mg N/l + 0.062 mg P/l.

<sup>4</sup>  $\bar{N}$ : coefficient de stimulation moyen avec ajout de N.

<sup>5</sup>PV: plage de variation (x-y) où x = valeur minimum observée; y = valeur maximum observée.

<sup>6</sup>  $\bar{P}$ : coefficient de stimulation moyen avec ajout de P.

<sup>7</sup>NP: coefficient de stimulation moyen avec ajout du mélange NP.

TABLEAU 3.2.20A: COEFFICIENT DE STIMULATION: BASSIN DE LA RIVIERE YAMASKA (1975).

Date de prélèvement	BASSIN DE LA RIVIERE YAMASKA								
	SAINT-MARCEL			SAINT-PIE			SAINT-DAMASE		
	N <sup>1</sup>	P <sup>2</sup>	NP <sup>3</sup>	N	P	NP	N	P	NP
09-01-75	0.8	1.1	1.6	1.0	3.0	3.3	0.9	1.2	1.7
06-02-75	0.9	1.0	1.2	0.7	1.1	1.6	1.1	0.9	1.6
05-03-75	1.0	0.9	1.2	0.9	1.1	1.5	1.0	0.9	1.4
03-04-75	1.2	1.0	1.7	1.2	1.0	1.7	1.1	0.9	1.7
30-04-75	0.8	1.2	1.8	1.0	1.5	2.7	1.1	1.1	2.2
28-05-75	3.5	1.0	3.5	2.2	1.0	3.6	2.2	1.0	2.1
18-06-75	1.9	1.0	2.2	1.8	1.0	3.1	2.6	1.0	2.8
23-07-75	2.4	1.0	2.5	2.4	0.9	2.6	1.4	0.9	1.9
20-08-75	4.5	1.0	4.6	3.6	0.9	3.8	2.6	0.9	2.8
$\bar{N}$ <sup>4</sup>	1.9			1.6			1.5		
PV <sup>5</sup>	(0.8-4.5)			(0.7-3.6)			(0.9-2.6)		
$\bar{P}$ <sup>6</sup>		1.0			1.3			1.0	
PV		(0.9-1.2)			(0.9-3.0)			(0.9-1.2)	
$\overline{NP}$ <sup>7</sup>			2.2			2.7			1.0
PV			(1.2-4.6)			(1.5-3.8)			(1.4-2.8)

<sup>1</sup> N: coefficient de stimulation de croissance calculé avec ajout de 1.4 mg N/l.

<sup>2</sup> P: coefficient de stimulation de croissance calculé avec ajout de 0.062 mg P/l.

<sup>3</sup> NP: coefficient de stimulation de croissance calculé avec ajout de 1.4 mg N/l + 0.062 mg P/l.

<sup>4</sup>  $\bar{N}$ : coefficient de stimulation moyen avec ajout de N.

<sup>5</sup> PV: plage de variation (x-y) où x = valeur minimum observée; y = valeur maximum observée.

<sup>6</sup>  $\bar{P}$ : coefficient de stimulation moyen avec ajout de P.

<sup>7</sup>  $\overline{NP}$ : coefficient de stimulation moyen avec ajout du mélange NP.

TABLEAU 3.2.20B: COEFFICIENT DE STIMULATION: BASSIN DE LA RIVIERE YAMASKA (1975).

Date de prélèvement	BASSIN DE LA RIVIERE YAMASKA								
	AVAL DE BRIGHAM			AVAL DE SAINT-ALPHONSE			ADAMSVILLE		
	N <sup>1</sup>	P <sup>2</sup>	NP <sup>3</sup>	N	P	NP	N	P	NP
09-01-75	2.3	1.0	2.6	1.3	0.9	1.4	1.0	3.5	12.2
06-02-75	1.4	1.0	1.5	0.7	0.9	0.9	1.2	7.2	16.4
05-03-75	1.1	1.1	1.8	1.6	1.0	1.7	0.9	5.5	8.1
03-04-75	1.0	1.0	1.8	1.7	1.0	1.8	1.0	2.0	4.4
30-04-75	0.9	1.1	1.8	1.7	0.9	1.5	1.0	5.4	8.7
28-05-75	1.4	1.0	2.4	2.5	0.9	2.6	1.0	1.4	4.6
18-06-75	2.8	1.0	2.9	1.3	0.9	1.3	1.0	2.0	25.7
23-07-75	1.2	1.1	3.1	1.6	1.4	1.0	0.6	1.6	7.0
20-08-75	3.2	0.9	3.2	1.1	1.0	0.8	1.5	2.1	29.1
$\bar{N}$ <sup>4</sup>	1.7			1.5			1.0		
PV <sup>5</sup>	(0.9-3.2)			(0.7-2.5)			(0.6-1.5)		
$\bar{P}$ <sup>6</sup>		1.0			1.0			3.4	
PV		(0.9-1.1)			(0.9-1.4)			(1.4-7.2)	
$\overline{NP}$ <sup>7</sup>			2.3			1.4			13.0
PV			(1.5-3.2)			(0.8-2.6)			(4.4-29.1)

<sup>1</sup> N: coefficient de stimulation de croissance calculé avec ajout de 1.4 mg N/l.

<sup>2</sup> P: coefficient de stimulation de croissance calculé avec ajout de 0.062 mg P/l.

<sup>3</sup> NP: coefficient de stimulation de croissance calculé avec ajout de 1.4 mg N/l + 0.062 mg P/l.

<sup>4</sup>  $\bar{N}$ : coefficient de stimulation moyen avec ajout de N.

<sup>5</sup> PV: plage de variation (x-y) où x = valeur minimum observée; y = valeur maximum observée.

<sup>6</sup>  $\bar{P}$ : coefficient de stimulation moyen avec ajout de P.

<sup>7</sup>  $\overline{NP}$ : coefficient de stimulation moyen avec ajout du mélange NP.

TABLEAU 3.2.21: VARIATION JOURNALIERE DU POTENTIEL DE FERTILITE.

DATE D'ECHAN- TILLONNAGE <sup>1</sup>	POTENTIEL DE FERTILITE <sup>2</sup>	
	Saint-Alphonse (03031D)	Adamsville (03031E)
07-07-75	85	2.0
08-07-75	74	0.8
09-07-75	57	2.4
10-07-75	57	2.0
moyenne	68	1.8
CV <sup>3</sup>	20%	38%
27-10-75	41	1.5
28-10-75	37	1.7
29-10-75	0.4 <sup>4</sup>	1.7
30-10-75	50	1.2
moyenne	32	1.5
CV <sup>3</sup>	68%	15%

<sup>1</sup> L'échantillonnage a été effectué à heure fixe pour chaque jour successif.

<sup>2</sup> Le potentiel de fertilité est exprimé en mg d'algues-litre<sup>-1</sup>.

<sup>3</sup> CV = coefficient de variation.

<sup>4</sup> Phénomène de toxicité se manifeste; voir la section 3.6.5.

TABLEAU 3.2.22: VARIATION DIURNE DU POTENTIEL DE FERTILITE.

DATE D'ECHANTILLONNAGE	POTENTIEL DE FERTILITE			
	Saint-Alphonse (03031D)		Adamsville (03031E)	
	heure	PF <sup>1</sup>	heure	PF <sup>1</sup>
08-07-75	14:50	74	14:30	0.8
	20:55	80	20:35	1.6
09-07-75	2:55	59	2:40	4.8
	8:55	65	8:35	3.0
	15:00	<u>57</u>	14:45	<u>2.4</u>
	moyenne	67	moyenne	2.5
	CV <sup>2</sup>	15%	CV <sup>2</sup>	60%
28-10-75	10:55	37	11:10	1.7
	17:00	39	17:15	1.6
	23:40	21	24:00	1.5
29-10-75	5:15	6.3	5:30	1.4
	11:00	<u>0.4<sup>3</sup></u>	11:20	<u>1.7</u>
	moyenne	21	moyenne	1.6
	CV <sup>2</sup>	84%	CV <sup>2</sup>	8%

<sup>1</sup> PF = potentiel de fertilité, exprimé en mg d'algues·litre<sup>-1</sup>.

<sup>2</sup> CV = coefficient de variation.

<sup>3</sup> Phénomène de toxicité se manifeste; voir la section 3.6.5.

TABLEAU 3.2.23: VALEURS CARACTERISTIQUES DES COEFFICIENTS D'EXPORTATION POUR LES SUBSTANCES NUTRITIVES<sup>1</sup>

TYPE D'UTILISATION DU SOL	N-total (kg/ha-année)		
	<u>Fort</u>	<u>Faible</u>	<u>Intermédiaire</u>
Forestier	5.0	1.0	2.5
Agricole	10.0	2.0	5.0
Urbain	10.0	2.5	5.0
	P-total (kg/ha-année)		
	<u>Fort</u>	<u>Faible</u>	<u>Intermédiaire</u>
Forestier	0.8	0.05	0.2
Agricole	1.0	0.1	0.3
Urbain	5.0	1.0	1.5
	{N/P} (équivalents molaires)		
	<u>Fort</u>	<u>Faible</u>	<u>Intermédiaire</u>
Forestier	14	44	27
Agricole	22	44	37
Urbain	4	6	7

<sup>1</sup> D'après Uttormark *et al.* (1974)

TABLEAU 3.3.1: EVOLUTION DIURNE DU POTENTIEL AUTOTROPHE ET DU POTENTIEL DE FERTILITE AUX STATIONS D'ADAMSVILLE ET DE SAINT-ALPHONSE.

		ADAMSVILLE (03031E)		SAINT-ALPHONSE (03031D)	
DATE (1975)	HEURE DE PRELEVEMENT	PA <sup>1</sup>	PF <sup>2</sup>	PA <sup>1</sup>	PF <sup>2</sup>
8 juillet	15.00 h	38.6	0.8	236.4	74
8 juillet	21.00 h	13.5	1.6	200.4	80
9 juillet	03.00 h	9.2	4.8	85.3	59
9 juillet	09.00 h	24.7	3.0	110.3	65
9 juillet	15.00 h	34.3	2.4	143.3	57
28 octobre	11.00 h	11.5	1.7	3.7	37
28 octobre	17.00 h	2.8	1.6	3.4	39
29 octobre	0.00 h	1.3	1.5	3.3	21
29 octobre	05.00 h	3.0	1.4	2.0	6.3
29 octobre	11.00 h	6.2	1.7	2.3	0.4

<sup>1</sup> Potentiel autotrophe, exprimé en  $\mu\text{g}$  de C fixé par litre par heure ( $\mu\text{g C l}^{-1}\text{h}^{-1}$ ).

<sup>2</sup> Potentiel de fertilité, exprimé en mg de poids sec d'algues par litre après 21 jours d'incubation ( $\text{mg d'algues l}^{-1}$ ).

TABLEAU 3.3.2: EVOLUTION JOURNALIERE DU POTENTIEL AUTOTROPHE AUX STATIONS D'ADAMSVILLE ET DE SAINT-ALPHONSE.

DATE (1975)	HEURE	ADAMSVILLE (03031E)		SAINT-ALPHONSE (03031D)	
		PA <sup>1</sup>	Q <sup>2</sup>	PA <sup>1</sup>	Q <sup>2</sup>
7 juillet	15.00 h	75	33.7	157	40.3
8 juillet	15.00 h	39	33.2	236	39.6
9 juillet	15.00 h	34	35.9	144	44.7
27 octobre	11.00 h	3.3	- <sup>3</sup>	8.3	- <sup>3</sup>
28 octobre	11.00 h	11.5	- <sup>3</sup>	3.7	- <sup>3</sup>
29 octobre	11.00 h	6.2	- <sup>3</sup>	2.3	- <sup>3</sup>
30 octobre	11.00 h	4.1	- <sup>3</sup>	3.0	- <sup>3</sup>

<sup>1</sup> Potentiel autotrophe, exprimé en  $\mu\text{g}$  de C fixé par litre par heure ( $\mu\text{g C l}^{-1} \text{h}^{-1}$ ).

<sup>2</sup> Débit de la rivière, exprimé en pieds cubes par seconde ( $\text{pi}^3 \text{s}^{-1}$ ).

<sup>3</sup> Données non disponibles.

TABLEAU 3.3.3: POTENTIEL AUTOTROPHE - TAUX DE PRODUCTION POTENTIELLE HORAIRE<sup>1</sup> POUR LES STATIONS SPECIALES DE LA RIVIERE YAMASKA (1974).

STATION DATE	SAINT- MARCEL	SAINT- DAMASE	SAINT- PIE	AVAL DE BRIGHAM	SAINT- ALPHONSE	ADAMS- VILLE
19-20 mars	< 0.5	< 0.5	0.5	< 0.5	1.3	0.5
17-18 avril	1.1	< 0.5	< 0.5	< 0.5	1.5	1.6
13-14 mai	1.9	1.3	< 0.5	1.7	4.8	0.6
20-21 juin	46.3	12.3	1.9	5.7	7.5	3.0
15-18 juillet	1.9	32.2	1.0	5.2	16.8	14.3
12-15 août	85.3	65.0	11.6	16.1	11.2	5.2
9-12 septembre	18.8	12.6	10.5	10.3	13.0	0.8
8-10 octobre	19.2	19.6	1.9	3.9	6.0	0.8
4- 6 novembre	* <sup>2</sup>	*	*	*	*	*
3- 5 décembre	0.6	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	1.1
Valeur moyenne mai → octobre	28.9	23.8	< 4.6	7.2	9.9	4.1
Valeur maximale	85.3	65.0	11.6	16.1	16.8	14.3

<sup>1</sup> Les valeurs du potentiel autotrophe sont exprimées en termes de  $\mu\text{g de C l}^{-1} \text{ h}^{-1}$ .

<sup>2</sup> Un astérisque (\*) dénote une valeur rejetée.

TABLEAU 3.3.4: POTENTIEL AUTOTROPHE - TAUX DE PRODUCTION POTENTIELLE HORAIRE<sup>1</sup> POUR LES STATIONS SPECIALES DE LA RIVIERE YAMASKA (1975).

DATE \ STATION	SAINT-MARCEL	SAINT-DAMASE	SAINT-PIE	AVAL DE BRIGHAM	SAINT-ALPHONSE	ADAMS-VILLE
7- 9 janvier	* <sup>2</sup>	*	*	*	*	*
6 février	*	< 0,5	< 0,5	0,5	< 0,5	0,5
3- 5 mars	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
3- 4 avril	*	1,3	0,5	3,0	< 0,5	1,8
28-30 avril	0,9	2,4	< 0,5	2,4	*	2,4
26-28 mai	7,2	16,1	10,9	15,0	28,4	5,3
16-18 juin	106,0	104,0	27,5	41,3	47,1	4,9
15-17 juillet	76,4	183,0	36,9	99,5	731,0	5,0
18-20 août	24,7	0,8	1,7	3,8	5,1	2,6
23-25 septembre	3,6	38,0	21,9	13,8	72,3	5,6
20-22 octobre	20,3	3,2	1,7	4,8	1,6	6,2
24-26 novembre	8,9	1,9	< 0,5	1,0	0,8	1,6
Valeur moyenne mai → octobre	39,7	57,5	16,8	29,7	147,6	4,9
Valeur maximale	106,0	183,0	36,9	99,5	731,0	6,2

<sup>1</sup> Les valeurs du potentiel autotrophe sont exprimées en termes de  $\mu\text{g de C l}^{-1} \text{ h}^{-1}$ .

<sup>2</sup> Un astérisque (\*) dénote une valeur rejetée.

**TABLEAU 3.3.5:** POTENTIEL AUTOTROPHE - TAUX DE PRODUCTION POTENTIELLE HORAIRE<sup>1</sup> POUR LES STATIONS SPECIALES DE LA RIVIERE SAINT-FRANCOIS (1974).

DATE \ STATION	PIERRE-VILLE	RICHMOND	BROMPTON-VILLE	LENNOX-VILLE	SAINT-GERARD	MASSAWIPPI	RIVIERE MAGOG
26-27 mars	< 0.5	3.4	1.8	< 0.5	< 0.5	7.3	- <sup>2</sup>
22-23 avril	2.1	1.3	< 0.5	.25	3.9	1.3	-
22-23 mai	7.1	6.3	7.5	1.1	2.9	2.3	-
18-19 juin	25.9	9.6	19.7	12.6	0.9	17.5	-
15-16 juillet	1.0	1.1	1.8	0.6	0.8	3.2	-
12-13 août	8.9	5.0	5.2	2.0	1.3	22.0	-
9-10 septembre	11.1	10.1	12.0	2.2	1.2	14.5	-
8- 9 octobre	1.4	4.6	4.7	1.1	2.0	4.2	-
4- 5 novembre	* <sup>3</sup>	2.4	4.5	0.4	2.3	*	-
3- 4 décembre	1.2	0.6	0.6	< 0.5	0.5	< 0.5	-
Valeur moyenne mai → octobre	9.2	6.1	8.5	3.3	1.5	10.6	-
Valeur maximale	25.9	10.1	19.7	12.6	3.9	22.0	-

<sup>1</sup> Les valeurs du potentiel autotrophe sont exprimées en termes de  $\mu\text{g de C l}^{-1} \text{ h}^{-1}$ .

<sup>2</sup> Un trait (-) dénote une valeur manquante.

<sup>3</sup> Un astérisque (\*) dénote une valeur rejetée.

**TABLEAU 3.3.6:** POTENTIEL AUTOTROPHE - TAUX DE PRODUCTION POTENTIELLE HORAIRE<sup>1</sup> POUR LES STATIONS SPECIALES DE LA RIVIERE SAINT-FRANCOIS (1975).

DATE \ STATION	PIERRE-VILLE	RICHMOND	BROMPTON-VILLE	LENNOX-VILLE	SAINTEGERARD	MASSAWIPPI	RIVIERE MAGOG
7- 8 janvier	* <sup>2</sup>	*	*	*	*	2.3	- <sup>3</sup>
6 février	*	*	*	*	*	*	-
3- 4 mars	1.3	0.8	0.6	5.3	< 0.5	< 0.5	-
3- 4 avril	*	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	0.5	-
27-28 avril	0.7	*	*	*	*	*	-
26-27 mai	3.8	6.8	6.3	2.2	5.7	2.1	-
16-17 juin	9.5	21.3	2.1	9.3	4.3	23.3	19.5
15-17 juillet	13.1	64.6	21.5	5.1	2.1	16.5	28.2
18-19 août	22.0	33.9	27.0	3.7	2.1	17.5	41.4
23-24 septembre	0.8	32.8	20.5	2.1	2.9	6.3	58.7
20-21 octobre	2.2	7.1	4.9	1.8	1.6	2.0	23.3
24-25 novembre	2.5	1.7	1.9	< 0.5	1.2	7.0	8.2
Valeur moyenne mai → octobre	8.6	27.8	13.7	4.0	3.1	11.3	34.2
Valeur maximale	22.0	64.6	27.0	9.3	5.7	23.3	58.7

<sup>1</sup> Les valeurs du potentiel autotrophe sont exprimées en termes de  $\mu\text{g de C l}^{-1} \text{ h}^{-1}$ .

<sup>2</sup> Un astérisque (\*) dénote une valeur rejetée.

<sup>3</sup> Un trait (-) dénote une valeur manquante.

TABLEAU 3.3.7: VALEURS DE LA PRODUCTIVITE PRIMAIRE DU PHYTOPLANCTON DANS DIVERS MILIEUX - COMPARAISON AVEC LES RESULTATS DE LA PRESENTE ETUDE.

Milieu	Productivité primaire <sup>1</sup>	Référence
estuaire (Pamlico, Caroline du Nord)	1.1 à 70.6 $\mu\text{g C l}^{-1}\text{h}^{-1}$	Crawford <i>et al.</i> (1974)
fleuve (Tamise, Angleterre)	0.85 à 15.65 $\text{mg O}_2\text{l}^{-1}\text{j}^{-1}$ (20 à 367 $\mu\text{g C l}^{-1}\text{h}^{-1}$ )	Kowalczewski et Lack (1971)
fleuve (Dniepr, Russie)	14 à 60 $\text{mg O}_2\text{l}^{-1}\text{j}^{-1}$ (33 à 141 $\mu\text{g C l}^{-1}\text{h}^{-1}$ )	Sivko <i>et al.</i> (1972)
lacs tempérés	17 à 180 $\mu\text{g C l}^{-1}\text{h}^{-1}$	Berman et Eppley (1974)
lacs tropicaux	11 à 738 $\mu\text{g C l}^{-1}\text{h}^{-1}$	
lac (Boivin, Québec)	2.2 à 107 $\mu\text{g C l}^{-1}\text{h}^{-1}$	INRS-Eau (1976)
rivière (Saint-François, Québec)	<0.5 à 26 $\mu\text{g C l}^{-1}\text{h}^{-1}$ (1974)	(cette étude)
	<0.5 à 65 $\mu\text{g C l}^{-1}\text{h}^{-1}$ (1975)	(cette étude)
rivière (Yamaska, Québec)	<0.5 à 85 $\mu\text{g C l}^{-1}\text{h}^{-1}$ (1974)	(cette étude)
	<0.5 à 731 $\mu\text{g C l}^{-1}\text{h}^{-1}$ (1975)	(cette étude)

<sup>1</sup> Lorsque nécessaire, les mesures exprimées en  $\text{mg de O}_2\text{ l}^{-1}\text{j}^{-1}$  ont été converties en unités de  $\mu\text{g de C l}^{-1}\text{h}^{-1}$  en supposant une photopériode de 16 heures et un rapport {C assimilé/ $\text{O}_2$  produit} de 12/32.

**TABLEAU 3.3.8:** COMPARAISON INTERANNUELLE DES DEBITS MENSUELS MOYENS<sup>1</sup> DE LA RIVIERE YAMASKA AUX STATIONS SPECIALES D'ECHANTILLONNAGE (ETE 1974/ETE 1975).

MOIS \ STATION		SAINT-MARCEL	SAINT-DAMASE	SAINT-PIE	AVAL DE BRIGHAM	SAINT-ALPHONSE	ADAMS-VILLE
1974	Mai	6964	2741	2396	604	485	841
	Juin	1697	672	634	211	127	229
	Juillet	4912	2461	1693	618	409	824
	Août	2436	1014	606	281	176	365
	Septembre	1296	656	422	273	94	244
	Octobre	1554	749	562	257	148	276
1975	Mai	1534	797	483	240	133	303
	Juin	1644	798	499	214	141	211
	Juillet	1261	596	297	297	46	151
	Août	479	320	131	228	30	64

<sup>1</sup> Les débits mensuels moyens, exprimés en termes de  $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ , ont été simulés à partir de données météorologiques journalières (MRN-INRS, 1976b).

TABLEAU 3.3.9: COMPARAISON INTERANNUELLE DES DEBITS MENSUELS MOYENS<sup>1</sup>  
DE LA RIVIERE SAINT-FRANCOIS AUX STATIONS SPECIALES  
D'ECHANTILLONNAGE (ETE 1974/ETE 1975).

STATION MOIS		PIERRE- VILLE	RICH- MOND	BROMPTON- VILLE	LENNOX- VILLE	SAINT- GERARD	MASSA- WIPPI	RIVIERE MAGOG
1974	Mai	22955	20901	18708	9528	5237	2737	4691
	Juin	9480	7909	7016	3098	1057	1001	2266
	Juillet	8896	8331	7384	3816	1019	895	1934
	Août	5833	5236	4846	2891	1063	492	975
	Septembre	3849	3761	3297	2097	586	300	656
	Octobre	5599	5304	4496	2623	620	537	1001
1975	Mai	10103	8909	7948	3670	927	1046	2487
	Juin	4759	4279	3788	2086	936	468	923
	Juillet	3342	3259	2820	1747	708	356	433
	Août	3102	3386	2992	1922	681	209	553

<sup>1</sup> Les débits mensuels moyens, exprimés en termes de  $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ , ont été simulés à partir de données météorologiques journalières (MRN-INRS, 1976b).

TABLEAU 3.4.1: MODE D'ASSIMILATION DU GLUCOSE AUX STATIONS SPECIALES DANS LE BASSIN VERSANT DE LA RIVIERE YAMASKA<sup>1,2,3</sup>

STATION		SAINT-MARCEL	SAINT-DAMASE	SAINT-PIE	BRIGHAM	SAINT-ALPHONSE	ADAMS-VILLE
DATE							
1974	19-20 mars	* <sup>3</sup>	* <sup>3</sup>	D	D	* <sup>3</sup>	D
	17-18 avril	M-M	D	D	* <sup>3</sup>	* <sup>3</sup>	D
	13-14 mai	D	D	M-M	D	D	M-M
	20-21 juin	M-M	M-M	* <sup>3</sup>	* <sup>3</sup>	D	* <sup>3</sup>
	15-18 juillet	D	D	M-M	M-M	D	M-M
	12-15 août	M-M	D	M-M	M-M	D	D
	9-12 septembre	D	D	M-M	D	D	D
	8-10 octobre	D	* <sup>3</sup>	M-M	D	D	D
	4- 6 novembre	D	D	D	D	D	M-M
	3- 5 décembre	D	D	D	D	D	M-M
1975	7- 9 janvier	M-M	D	M-M	M-M	D	M-M
	1- 4 avril	D	D	D	D	D	D
	28-30 avril	D	D	D	D	D	M-M
	16-18 juin	M-M	M-M	M-M	M-M	D	M-M
	15-17 juillet	M-M	M-M	D	D	D	* <sup>3</sup>
	18-20 août	D	D	D	M-M	D	M-M
	22-25 septembre	D	M-M	M-M	D	D	* <sup>3</sup>
	20-22 octobre	D	D	D	D	D	M-M
24-25 novembre	M-M	D	M-M	D	D	M-M	
Incidence du comportement de type M-M (%)		39	24	50	29	0	63

<sup>1</sup> Mode d'assimilation suivant le modèle enzymatique de Michaelis-Menten (M-M).

<sup>2</sup> Mode d'assimilation suivant le modèle de diffusion linéaire (D).

<sup>3</sup> Mesure ne passant pas le test de Student à N-2 degrés de liberté pour un niveau de confiance de 97.5%.

TABLEAU 3.4.2: MODE D'ASSIMILATION DU GLUCOSE AUX STATIONS SPECIALES DANS LE BASSIN VERSANT DE LA RIVIERE SAINT-FRANCOIS<sup>1,2,3</sup>

	STATION DATE	PIERRE- VILLE	RICH- MOND	BROMPTON- VILLE	LENNOX- VILLE	SAINT- GERARD	MASSA- WIPPI	RIVIERE MAGOG
1974	26-27 mars	D	* <sup>3</sup>	D	D	* <sup>3</sup>	* <sup>3</sup>	- <sup>4</sup>
	22-23 avril	* <sup>3</sup>	* <sup>3</sup>	* <sup>3</sup>	* <sup>3</sup>	* <sup>3</sup>	D	-
	22-23 mai	D	D	D	* <sup>3</sup>	M-M	D	-
	18-19 juin	M-M	M-M	D	M-M	* <sup>3</sup>	D	-
	15-16 juillet	M-M	D	D	M-M	M-M	D	-
	12-13 août	D	D	D	M-M	M-M	D	-
	9-10 septembre	D	D	D	D	M-M	D	-
	8- 9 octobre	D	D	D	D	M-M	D	-
	4- 5 novembre	D	D	D	M-M	M-M	M-M	-
	3- 4 décembre	D	M-M	D	M-M	D	* <sup>3</sup>	-
1975	7- 8 janvier	M-M	D	D	M-M	* <sup>3</sup>	M-M	-
	1- 2 avril	D	D	M-M	M-M	M-M	M-M	-
	28-29 avril	D	D	M-M	D	D	M-M	-
	16-17 juin	D	D	D	M-M	M-M	D	M-M
	15-17 juillet	M-M	D	D	D	M-M	D	* <sup>3</sup>
	18-19 août	* <sup>3</sup>	D	D	M-M	* <sup>3</sup>	D	D
	23-24 septembre	D	D	D	M-M	M-M	M-M	* <sup>3</sup>
	20-21 octobre	M-M	M-M	D	D	M-M	M-M	M-M
	24-25 novembre	D	D	D	M-M	M-M	M-M	M-M
	Incidence du com- portement de type M-M (%)	29	18	11	65	86	41	(75)

<sup>1</sup> Mode d'assimilation suivant le modèle enzymatique de Michaelis-Menten (M-M).

<sup>2</sup> Mode d'assimilation suivant le modèle de diffusion linéaire (D).

<sup>3</sup> Mesure ne passant pas le test de Student à N-2 degrés de liberté pour un niveau de confiance de 97.5%.

<sup>4</sup> Un trait (-) dénote une valeur manquante.

**TABLEAU 3.4.3: TEMPS DE RENOUVELLEMENT DU GLUCOSE<sup>1</sup> AUX STATIONS SPECIALES DANS LE BAS-SIN VERSANT DE LA RIVIERE YAMASKA**

STATION		SAINT-MARCEL	SAINT-DAMASE	SAINT-PIE	BRIGHAM	SAINT-ALPHONSE	ADAMS-VILLE
DATE							
1974	19-20 mars	* <sup>2</sup>	* <sup>2</sup>	227	369	* <sup>2</sup>	932
	17-18 avril	25	492	274	* <sup>2</sup>	* <sup>2</sup>	201
	13-14 mai	155	149	38	189	375	421
	20-21 juin	38	3	* <sup>2</sup>	* <sup>2</sup>	36	* <sup>2</sup>
	15-18 juillet	82	19	37	11	21	29
	12-15 août	21	51	10	15	24	192
	9-12 septembre	41	83	40	46	78	153
	8-10 octobre	77	* <sup>2</sup>	25	56	98	52
	4- 6 novembre	85	96	76	69	79	58
	3- 5 décembre	117	1050	323	108	1270	223
1975	7- 9 janvier	104	923	36	87	715	117
	1- 4 avril	226	313	409	1570	1670	1193
	28-30 avril	507	566	932	859	359	474
	16-18 juin	30	24	24	20	76	35
	15-17 juillet	94	26	808	418	117	* <sup>2</sup>
	18-20 août	1760	943	1530	71	106	124
	22-25 septembre	410	27	48	97	43	* <sup>2</sup>
	20-22 octobre	70	74	74	94	55	45
	24-25 novembre	178	1970	196	1390	516	1490
MINIMUM		21	3	10	11	21	29
MAXIMUM		1760	1970	1530	1570	1670	1490
MOYENNE		223	401	284	321	331	359

<sup>1</sup> Les unités sont en heures.

<sup>2</sup> Mesure ne passant pas le test de Student à N-2 degrés de liberté pour un niveau de confiance de 97.5%.

**TABLEAU 3.4.4: TEMPS DE RENOUVELLEMENT DU GLUCOSE<sup>1</sup> AUX STATIONS SPECIALES DANS LE BASSIN VERSANT DE LA RIVIERE SAINT-FRANCOIS**

STATION DATE		PIERRE- VILLE	RICH- MOND	BROMPTON- VILLE	LENNOX- VILLE	SAINT- GERARD	MASSA- WIPPI	RIVIERE MAGOG
1974	26-27 mars	717	*2	867	896	*2	*2	- <sup>3</sup>
	22-23 avril	*2	*2	*2	*2	*2	455	-
	22-23 mai	32	38	49	*2	59	194	-
	18-19 juin	30	10	68	94	*2	307	-
	15-16 juillet	9	26	60	9	99	47	-
	12-13 août	27	18	27	36	65	21	-
	9-10 septembre	43	96	80	169	285	76	-
	8- 9 octobre	59	62	74	297	616	112	-
	4- 5 novembre	84	135	182	214	283	163	-
	3- 4 décembre	110	766	1705	1270	2960	*2	-
1975	7- 8 janvier	35	294	293	160	*2	142	-
	1- 2 avril	333	2400	282	812	1680	649	-
	28-29 avril	652	997	479	4380	8080	2390	-
	16-17 juin	180	156	45	134	866	478	339
	15-17 juillet	124	112	168	235	2750	358	*2
	18-19 août	*2	589	306	601	*2	601	5680
	23-24 septembre	260	36	25	139	673	279	*2
	20-21 octobre	9	74	231	374	712	116	550
	24-25 novembre	891	5290	3770	3320	2340	1610	3210
MINIMUM		9	10	25	9	59	21	-
MAXIMUM		891	5290	3770	4380	8080	2390	-
MOYENNE		211	653	529	774	1534	470	-

<sup>1</sup> Les unités sont en heures.

<sup>2</sup> Mesures ne passant pas le test de Student à N-2 degrés de liberté pour un niveau de confiance de 97.5%.

<sup>3</sup> Un trait (-) dénote une valeur manquante.

TABLEAU 3.4.5: POURCENTAGE DE GLUCOSE RESPIRE AUX STATIONS SPECIALES DANS LE BASSIN VERSANT DE LA RIVIERE YAMASKA

STATION		SAINT-MARCEL	SAINT-DAMASE	SAINT-PIE	BRIGHAM	SAINT-ALPHONSE	ADAMS-VILLE
DATE							
1974	19-20 mars	* <sup>1</sup>	* <sup>1</sup>	42	33	* <sup>1</sup>	44
	17-18 avril	40	42	22	* <sup>1</sup>	* <sup>1</sup>	30
	13-14 mai	61	68	52	69	57	52
	20-21 juin	53	54	* <sup>1</sup>	* <sup>1</sup>	64	* <sup>1</sup>
	15-18 juillet	43	43	64	45	48	61
	12-15 août	53	39	46	35	59	37
	9-12 septembre	47	30	25	40	47	34
	8-10 octobre	22	* <sup>1</sup>	30	38	52	37
	4- 6 novembre	40	49	39	43	53	39
	3- 5 décembre	40	50	22	24	52	9
1975	7- 9 janvier	8	24	12	9	11	12
	1- 4 avril	49	27	58	69	55	58
	28-30 avril	73	77	71	73	70	68
	16-18 juin	53	57	47	58	85	53
	15-17 juillet	94	91	92	95	97	* <sup>1</sup>
	18-20 août	82	74	87	89	98	89
	22-25 septembre	50	47	54	49	78	* <sup>1</sup>
	20-22 octobre	62	69	71	65	69	64
24-25 novembre	66	52	57	59	68	49	
MINIMUM		8	24	12	9	11	12
MAXIMUM		94	91	92	95	98	89
MOYENNE		52	53	50	53	63	46

<sup>1</sup> Un astérisque (\*) dénote une valeur rejetée.

TABLEAU 3.4.6: POURCENTAGE DE GLUCOSE RESPIRE AUX STATIONS SPECIALES DANS LE BASSIN VERSANT DE LA RIVIERE SAINT-FRANCOIS

STATION DATE		PIERRE- VILLE	RICH- MOND	BROMPTON- VILLE	LENNOX- VILLE	SAINT- GERARD	MASSA- WIPPI	RIVIERE MAGOG
1974	26-27 mars	47	* <sup>1</sup>	40	69	* <sup>1</sup>	* <sup>1</sup>	- <sup>2</sup>
	22-23 avril	* <sup>1</sup>	* <sup>1</sup>	* <sup>1</sup>	* <sup>1</sup>	* <sup>1</sup>	33	-
	22-23 mai	55	41	40	* <sup>1</sup>	51	54	-
	18-19 juin	44	61	52	66	* <sup>1</sup>	49	-
	15-16 juillet	36	40	35	37	45	29	-
	12-13 août	41	31	47	34	28	39	-
	9-10 septembre	38	20	23	27	21	21	-
	8- 9 octobre	16	30	29	25	14	36	-
	4- 5 novembre	31	41	36	31	30	38	-
	3- 4 décembre	34	33	29	48	38	* <sup>1</sup>	-
1975	7- 8 janvier	8	7	12	5	* <sup>1</sup>	11	-
	1- 2 avril	55	46	42	40	46	44	-
	28-29 avril	67	74	68	83	75	77	-
	16-17 juin	61	62	55	54	57	62	56
	15-17 juillet	92	92	94	95	81	97	* <sup>1</sup>
	18-19 août	* <sup>1</sup>	86	88	80	* <sup>1</sup>	87	79
	23-24 septembre	49	53	57	48	57	45	* <sup>1</sup>
	20-21 octobre	57	61	60	54	63	65	64
24-25 novembre	60	57	55	55	59	18	54	
MINIMUM		8	7	12	5	14	11	-
MAXIMUM		92	92	94	95	81	97	-
MOYENNE		47	49	48	50	48	47	-

<sup>1</sup> Un astérisque (\*) dénote une valeur rejetée.

<sup>2</sup> Un trait (-) dénote une valeur manquante.

TABLEAU 3.4.7: POURCENTAGE DU GLUCOSE RESPIRE - CLASSEMENT DES STATIONS SPECIALES PAR ORDRE CROISSANT (BASSIN VERSANT DE LA RIVIERE YAMASKA)

DATE D'ECHANTILLONNAGE		CLASSEMENT DES STATIONS D'ECHANTILLONNAGE <sup>1,2</sup>
1974	19 - 20 mars	4 2 3 1 5 6
	17 - 18 avril	2 6 4 5 1 3
	13 - 14 mai	2 6 5 1 3 4
	20 - 21 juin	6 2 3 1 5 4
	15 - 18 juillet	5 1 3 4 6 2
	12 - 15 août	4 6 3 2 1 5
	09 - 12 septembre	2 3 6 4 1 5
	08 - 10 octobre	1 2 3 4 6 5
	04 - 06 novembre	2 6 1 4 3 5
	03 - 05 décembre	6 2 4 1 3 5
1975	07 - 09 janvier	3 1 4 6 2 5
	01 - 04 avril	3 1 5 2 6 4
	28 - 30 avril	5 4 1 2 3 6
	16 - 18 juin	2 1 3 6 4 5
	15 - 17 juillet	3 2 6 4 1 5

<sup>1</sup> Pour l'identification et la localisation des stations d'échantillonnage spéciales, voir la Figure 2.1.

<u>no de station</u>	<u>nom de station</u>	<u>no de station</u>	<u>nom de station</u>
1	Saint-Marcel	4	Brigham (aval)
2	Saint-Pie	5	Saint-Alphonse (aval)
3	Saint-Damase	6	Adamsville

<sup>2</sup> Les stations sont rangées par ordre croissant du pourcentage de respiration; les parenthèses dénotent les groupes de stations pour lesquels les valeurs du pourcentage de respiration peuvent être considérées statistiquement égales.

TABLEAU 3.4.8: POURCENTAGE DU GLUCOSE RESPIRE - CLASSEMENT DES STATIONS SPECIALES PAR ORDRE CROISSANT (BASSIN VERSANT DE LA RIVIERE SAINT-FRANCOIS)

DATE D'ECHANTILLONNAGE		CLASSEMENT DES STATIONS D'ECHANTILLONNAGE <sup>1,2</sup>
1974	26 - 27 mars	5 3 1 6 2 7
	22 - 23 avril	5 (7 6 3 2) 1
	22 - 23 mai	6 (3 2) (1) 5 7
	18 - 19 juin	7 (1 5 2) 6 3
	15 - 16 juillet	5 6 3 1 2 7
	12 - 13 août	7 (6 2 5 1) 3
	09 - 10 septembre	7 6 (2 3 5) 1
	08 - 09 octobre	1 7 (3 6 2) 5
	04 - 05 novembre	7 1 6 3 5 2
	03 - 04 décembre	3 (1 2 7 6) 5
1975	07 - 08 janvier	7 6 1 2 5 3
	01 - 02 avril	6 2 5 3 7 1
	28 - 29 avril	1 3 2 7 5 6
	16 - 17 juin	5 6 3 7 2 1
	15 - 17 juillet	7 (1 2 6) 5 3

<sup>1</sup> Pour l'identification et la localisation des stations d'échantillonnage spéciales, voir la Figure 2.2.

<u>no de station</u>	<u>nom de station</u>	<u>no de station</u>	<u>nom de station</u>
1	Pierreville	5	Massawippi
2	Richmond	6	Lennoxville
3	Bromptonville	7	Saint-Gérard

<sup>2</sup> Les stations sont rangées par ordre croissant du pourcentage de respiration; les parenthèses dénotent les groupes de stations pour lesquels les valeurs du pourcentage de respiration peuvent être considérés statistiquement égales.

TABLEAU 3.4.9: POURCENTAGE DE GLUCOSE RESPIRE - RANGS MOYENS ET RANGS MOYENS PONDERES POUR LES STATIONS SPECIALES DANS LES BASSINS VERSANTS DES RIVIERES YAMASKA ET SAINT-FRANCOIS

Bassin versant	Station d'échantillonnage	Rang moyen <sup>1</sup>	Rang moyen pondéré <sup>2</sup>
Rivière Yamaska	Adamsville	3.5	3.2
	Saint-Alphonse (aval)	4.7	4.4
	Brigham (aval)	3.7	3.7
	Saint-Damase	3.3	3.2
	Saint-Pie	2.5	3.5
	Saint-Marcel	3.4	3.0
Rivière Saint-François	Saint-Gérard	3.0	3.1
	Lennoxville	3.1	3.4
	Massawippi	3.7	3.8
	Bromptonville	3.7	3.7
	Richmond	3.9	3.5
	Pierreville	3.5	3.6

<sup>1</sup> Pour chaque campagne de mesures, les stations d'échantillonnage sont rangées par ordre croissant du pourcentage de respiration (voir les Tableaux 3.4.7 et 3.4.8); ensuite, on donne à chaque station un rang variant de 1 (% R le plus faible) à 6 (% R le plus fort). Pour une station donnée le rang moyen est calculé à partir de l'ensemble des rangs mensuels.

<sup>2</sup> Pour le calcul du rang moyen pondéré, voir l'Annexe 7.

TABLEAU 3.4.10: POURCENTAGE DE RESPIRATION - COEFFICIENTS DE CORRELATION ENTRE LES STATIONS D'ECHANTILLONNAGE SPECIALES DANS LES BASSINS VERSANTS DES RIVIERES YAMASKA ET SAINT-FRANCOIS<sup>1</sup>.

BASSIN DE LA RIVIERE YAMASKA						
Stations d'échantillonnage	Saint-Marcel	Saint-Pie	Saint-Damase	Brigham (aval)	Saint-Alphonse	Adamsville
1. Saint-Marcel	X					
2. Saint-Pie	.87(17)	X				
3. Saint-Damase	.86(17)	.76(16)	X			
4. Brigham (aval)	.90(16)	.91(17)	.77(15)	X		
5. Saint-Alphonse (aval)	.86(17)	.80(16)	.76(16)	.82(16)	X	
6. Adamsville	.79(15)	.95(16)	.63(14)	.91(15)	.76(14)	X
BASSIN DE LA RIVIERE SAINT-FRANCOIS						
Stations d'échantillonnage	Pierre-ville	Richmond	Bromptonville	Massawippi	Lennoxville	Saint-Gérard
1. Pierreville	X					
2. Richmond	.89(16)	X				
3. Bromptonville	.91(17)	.97(17)	X			
5. Massawippi	.79(15)	.87(16)	.88(16)	X		
6. Lennoxville	.87(16)	.96(16)	.88(17)	.87(15)	X	
7. Saint-Gérard	.91(14)	.93(14)	.88(14)	.73(13)	.92(13)	X

<sup>1</sup> Le nombre d'observations pairées est indiqué entre parenthèses.

TABLEAU 3.4.11: VALEURS DU POURCENTAGE DE GLUCOSE RESPIRE TROUVEES DANS LA LITTERATURE ET COMPARAISON AVEC LES RESULTATS DE LA PRESENTE ETUDE

Pourcentage de respiration ( $\{R/A\} \times 100$ )	Nature de l'échantillon	Référence
32	eau d'étang	Hobbie et Crawford, 1969
18 - 45 (moyenne ~ 25)	eau de lac	Wood, 1973
11 - 45 (moyenne 26)	eau de lac	Wright, 1974
8 - 17	eau d'estuaire	Crawford <i>et al.</i> , 1974
23 - 49 (moyenne 33)	eau de mer	Williams, 1970
50 - 80 (moyenne 65)	eau de mer	Herbland et Bois, 1974
57	mono-culture bactérienne	Hamilton et Austin, 1967
5 - 98 (moyenne 51)	eau de rivière	cette étude

**TABLEAU 3.4.12:** POTENTIEL HETEROTROPHE (GLUCOSE) - VARIATION DIURNE DU MODE D'ASSIMILATION, DU TEMPS DE RENOUVELLEMENT, DU POURCENTAGE DE RESPIRATION ET DE LA VITESSE D'ASSIMILATION AUX STATIONS D'ADAMSVILLE ET DE SAINT-ALPHONSE.

Date	Heure	ADAMSVILLE (03031E)					SAINT-ALPHONSE (03031D)				
		Mode d'assimilation <sup>1</sup>	T <sup>2</sup> (h)	% R <sup>3</sup>		[C-org.] (mg C/l)	Mode d'assimilation <sup>1</sup>	T <sup>2</sup> (h)	% R <sup>3</sup>		[C-org.] (mg C/l)
				moyenne	écart-type				moyenne	écart-type	
8 juillet 1975	15:00	M-M	267	79(8)	27	8	D	417	88(9)	6	22
8 juillet 1975	21:00	D	221	94(11)	3	7	D	120	93(12)	2	37
9 juillet 1975	3:00	D	170	82(11)	24	11	* <sup>5</sup>	* <sup>5</sup>	94(5)	7	56
9 juillet 1975	9:00	D	219	80(10)	30	8	D	67	93(10)	11	52
9 juillet 1975	15:00	D	198	90(8)	16	8	D	81	98(12)	1	35
		Moyenne	215	85	/	8.4	Moyenne	171	93	/	40
		CV <sup>4</sup> (%)	17	8	/	18	CV <sup>4</sup> (%)	97	4	/	34
28 octobre 1975	11:00	D	37	61(8)	2	8	* <sup>5</sup>	* <sup>5</sup>	45(5)	15	25
28 octobre 1975	17:00	D	57	55(12)	6	9	M-M	448	51(10)	11	22
28 octobre 1975	24:00	* <sup>5</sup>	* <sup>5</sup>	56(6)	12	12	D	67	57(12)	5	19
29 octobre 1975	5:00	M-M	342	49(8)	13	13	D	51	51(11)	6	25
29 octobre 1975	11:00	* <sup>5</sup>	* <sup>5</sup>	23(9)	15	13	D	45	51(12)	4	22
		Moyenne	145	49	/	11	Moyenne	153	51	/	23
		CV <sup>4</sup> (%)	117	31	/	21	CV <sup>4</sup> (%)	129	8	/	11

<sup>1</sup> M-M = assimilation suivant le modèle enzymatique de Michaelis-Menten; D = assimilation suivant le modèle de diffusion.

<sup>2</sup> T = temps de renouvellement, exprimé en heures.

<sup>3</sup> %R = pourcentage moyen de respiration; le nombre de mesures est indiqué entre parenthèses.

<sup>4</sup> CV = coefficient de variation.

<sup>5</sup> Mesure ne passant pas le test de Student à N-2 degrés de liberté pour un niveau de confiance de 97.5%.

TABLEAU 3.4.13: POTENTIEL HETEROTROPHE (GLUCOSE) - VARIATION JOURNALIERE DU MODE D'ASSIMILATION, DU TEMPS DE RENOUVELLEMENT, DU POURCENTAGE DE RESPIRATION ET DE LA VITESSE D'ASSIMILATION AUX STATIONS D'ADAMSVILLE ET DE SAINT-ALPHONSE.

Date	Heure	ADAMSVILLE (03031E)					SAINT-ALPHONSE (03031D)				
		Mode d'assimilation <sup>1</sup>	T <sup>2</sup> (h)	% R <sup>3</sup>		[C-org.] (mg C/ℓ)	Mode d'assimilation <sup>1</sup>	T <sup>2</sup> (h)	% R <sup>3</sup>		[C-org.] (mg C/ℓ)
				moyenne	écart-type				moyenne	écart-type	
7 juillet 1975	15:00	M-M	55	76(12)	13	8	D	82	93(12)	2	39
8 juillet 1975	15:00	M-M	267	79(8)	27	8	D	417	88(9)	6	22
9 juillet 1975	15:00	D	198	90(9)	16	6	D	81	98(12)	1	35
10 juillet 1975	15:00	M-M	47	93(12)	2	8	D	62	96(11)	5	38
		Moyenne	142	85	/	7.5	Moyenne	161	94	/	34
		CV <sup>4</sup> (%)	77	10	/	13	CV <sup>4</sup> (%)	107	5	/	23
27 octobre 1975	11:00	D	2150	56(10)	16	8	D	57	57(10)	5	13
28 octobre 1975	11:00	D	37	61(8)	2	8	* <sup>5</sup>	* <sup>5</sup>	45(5)	15	25
29 octobre 1975	11:00	* <sup>5</sup>	* <sup>5</sup>	23(9)	15	13	D	45	51(12)	4	22
30 octobre 1975	11:00	M-M	84	48(9)	8	12	D	46	49(11)	5	24
		Moyenne	757	47	/	10	Moyenne	49	51	/	21
		CV <sup>4</sup> (%)	159	36	/	26	CV <sup>4</sup> (%)	13	10	/	26

<sup>1</sup> M-M = assimilation suivant le modèle enzymatique de Michaelis-Menten; D = assimilation suivant le modèle de diffusion.

<sup>2</sup> T = temps de renouvellement, exprimé en heures.

<sup>3</sup> %R = pourcentage moyen de respiration; le nombre de mesures est indiqué entre parenthèses.

<sup>4</sup> CV = coefficient de variation.

<sup>5</sup> Mesure ne passant pas le test de Student à N-2 degrés de liberté pour un niveau de confiance de 97.5%.

TABLEAU 3.5.1: TAUX DE PRODUCTION HETEROTROPHE<sup>1</sup> BASE SUR LES MESURES D'ASSIMILATION DE SULFATE MARQUE AU <sup>35</sup>S.

STATION DATE	SAINT- MARCEL	SAINT- DAMASE	SAINT- PIE	AVAL DE BRIGHAM	ADAMS- VILLE	SAINT- ALPHONSE	PIERRE- VILLE	RICHMOND	BROMPTON- VILLE	LENNOX- VILLE	MASSA- WIPPI	SAINT- GERARD
3-5 mars 75	2	3	4	<2	<2	4	<2	3	<2	<2	<2	<2
1-4 avril 75	<2	2	3	<2	<2	<2	<2	3	4	<2	3	<2
28-30 avril 75	3	<2	3	4	2	9	3	<2	<2	<2	<2	<2
26-28 mai 75	5	9	- <sup>2</sup>	- <sup>2</sup>	- <sup>2</sup>	- <sup>2</sup>	8	18	11	7	8	3
18 juin 75	- <sup>2</sup>	- <sup>2</sup>	- <sup>2</sup>	- <sup>2</sup>	4	14	- <sup>2</sup>	- <sup>2</sup>	- <sup>2</sup>	- <sup>2</sup>	- <sup>2</sup>	- <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Les valeurs de production hétérotrophe sont exprimées en termes de  $\mu\text{g de C l}^{-1} \text{ h}^{-1}$ .

<sup>2</sup> Un trait (-) dénote une valeur manquante.

TABLEAU 3.5.2: TAUX DE PRODUCTION AUTOTROPHE POTENTIELLE<sup>1</sup> AUX STATIONS DES RIVIERES YAMASKA ET SAINT-FRANCOIS<sup>2</sup>.

STATION DATE	SAINT- MARCEL	SAINT- DAMASE	SAINT- PIE	AVAL DE BRIGHAM	ADAMS- VILLE	SAINT- ALPHONSE	PIERRE- VILLE	RICHMOND	BROMPTON- VILLE	LENNOX- VILLE	MASSA- WIPPI	SAINT- GERARD
3-5 mars 75	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	1.3	0.8	0.6	5.3	<0.5	<0.5
1-4 avril 75	- <sup>3</sup>	0.7	0.5	0.8	<0.5	<0.5	- <sup>3</sup>	<0.5	<0.5	<0.5	0.5	<0.5
28-30 avril 75	0.9	2.4	<0.5	2.4	2.4	- <sup>3</sup>	0.7	- <sup>3</sup>	- <sup>3</sup>	- <sup>3</sup>	- <sup>3</sup>	- <sup>3</sup>
26-28 mai 75	7.2	16.1	10.9	15.0	5.3	28.4	3.8	6.8	6.3	2.2	2.1	5.7
16-18 juin 75	105.5	104.4	27.5	41.3	4.9	47.1	9.5	21.3	2.1	9.3	23.3	4.3

<sup>1</sup> Les valeurs de production autotrophe sont exprimées en termes de  $\mu\text{g de C l}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ .

<sup>2</sup> Résultats obtenus aux mêmes dates que les mesures du potentiel hétérotrophe-<sup>35</sup>S (comparer avec le Tableau 3.5.1).

<sup>3</sup> Un trait (-) dénote une valeur manquante.

TABLEAU 3.6.1A: POTENTIEL DE FERTILITE MESURE ET POTENTIEL DE FERTILITE ANTICIPE-  
TRONCON PRINCIPAL DE LA RIVIERE SAINT-FRANCOIS (1975)

Date de prélèvement <sup>4</sup>	Tronçon principal: Rivière Saint-François <sup>5</sup>																		
	Pierreville			Drummondville			Richmond			Bromptonville			Lennoxville (Passe 1)			Lennoxville (Passe 2)			
	FN <sub>Ti</sub> <sup>1</sup>	FP <sub>Ti</sub> <sup>2</sup>	FM <sup>3</sup>	FN <sub>Ti</sub>	FP <sub>Ti</sub>	FM	FN <sub>Ti</sub>	FP <sub>Ti</sub>	FM	FN <sub>Ti</sub>	FP <sub>Ti</sub>	FM	FN <sub>Ti</sub>	FP <sub>Ti</sub>	FM	FN <sub>Ti</sub>	FP <sub>Ti</sub>	FM	
1975																			
HIVER	1	15	14	19	29	8	8	14	18	5	17	6	8	16	3	3	15	3	4
	2	13	7	13	9	10	5	12	14	10	15	11	14	11	3	2	11	-	2
	3	16	3	16	14	-	5	16	10	1	14	-	7	14	3	5	15	-	2
PRINTEMPS	1	15	8	7	15	8	6	15	7	7	15	7	8	15	8	12	15	6	7
	2	1	6	1	5	6	4	4	8		4	6	4	10	3	2	6	-	4
	3	-	10	2	<1	4	1	2	7	3	3	4	3	5	3	3	3	3	2
ETE	1	8	6	<1	9	4	5	3	7	4	4	6	<1	4	-	2	3	8	1
	2													-	4	1			
	3													<1	4	1			
AUTOMNE	1	1	6	5	2	-	5	2	-	3	3	-	2	3	-	3	-	-	1
	2	9	3	5	8	6	4	7	7	4	7	-	3	8	-	3	6	3	3
	3	13	3	10	9	3	4	9	7	5	9	7	12				9	-	8

<sup>1</sup> FN<sub>Ti</sub>: potentiel de fertilité anticipé à partir de la concentration d'azote total inorganique [N]. FN<sub>Ti</sub> = 38 x [N] mg.ℓ<sup>-1</sup>.

<sup>2</sup> FP<sub>Ti</sub>: potentiel de fertilité anticipé à partir de la concentration de phosphore total inorganique [P]. FP<sub>Ti</sub> = 430 x [P] mg.ℓ<sup>-1</sup>.

<sup>3</sup> FM = PF: potentiel de fertilité (mg d'algues.ℓ<sup>-1</sup>).

<sup>4</sup> Prélèvements mensuels: les dates de prélèvement sont indiquées dans l'Annexe 4.

<sup>5</sup> Un trait (-) indique que la concentration d'azote total inorganique ou la concentration de phosphore total inorganique était en deçà de la limite de détection (< .03 mg N.ℓ<sup>-1</sup>; <0.01 mg P.ℓ<sup>-1</sup>).

TABLEAU 3.6.1B: POTENTIEL DE FERTILITE MESURE ET POTENTIEL DE FERTILITE ANTICIPE - TRONCON PRINCIPAL DE LA RIVIERE SAINT-FRANCOIS (1975).

Date de prélèvement <sup>4</sup>	Tronçon principal: Rivière Saint-François <sup>5</sup>															
	Ascot Corner			East Angus			Au Saumon			St-Gérard			Disraeli			
	FN <sub>Ti</sub> <sup>1</sup>	FP <sub>Ti</sub> <sup>2</sup>	FM <sup>3</sup>	FN <sub>Ti</sub>	FP <sub>Ti</sub>	FM										
1975																
HIVER	1	14	3	7	14	-	4	11	-	2	10	-	6	9	3	4
	2	10	4	7	11	-	8	10	-	8	9	3	7	9	-	4
	3	13	4	10	12	-	4	11	-	3	12	-	14	9	-	4
PRINTEMPS	1	14	7	12	14	4	3	14	4	3	13	3	10	14	3	9
	2	11	-	5	14	-	3	15	-	3	10	3	3	10	-	4
	3	5	4	3	6	-	4	5	-	3	7	-	4	11	-	6
ETE	1	6	4	2	6	-	2	8	3	1	6	-	5	8	-	<1
	2	<1	6	1	3	-	2	5	-	5	6	3	1	7	7	3
	3	2	3	1	2	3	2	4	-	2	7	-	4	7	-	4
AUTOMNE	1	3	-	4	5	-	7	6	-	4	8	-	5	7	-	7
	2	8	3	2	9	3	7	8	-	1	9	-	4	7	-	4

<sup>1</sup> FN<sub>Ti</sub>: potentiel de fertilité anticipé à partir de la concentration d'azote total inorganique [N].  
 $FN_{Ti} = 38 \times [N] \text{ mg.}\ell^{-1}$ .

<sup>2</sup> FP<sub>Ti</sub>: potentiel de fertilité anticipé à partir de la concentration de phosphore total inorganique [P].  
 $FP_{Ti} = 430 \times [P] \text{ mg.}\ell^{-1}$ .

<sup>3</sup> FM = PF: potentiel de fertilité (mg d'algues. $\ell^{-1}$ ).

<sup>4</sup> Prélèvements mensuels: les dates de prélèvement sont indiquées dans l'Annexe 4.

<sup>5</sup> Un trait (-) indique que la concentration d'azote total inorganique ou la concentration de phosphore total inorganique était en deçà de la limite de détection (<0,03 mg N. $\ell^{-1}$ ; <0,01 mg P. $\ell^{-1}$ ).

TABLEAU 3.6.2: POTENTIEL DE FERTILITE MESURE ET POTENTIEL DE FERTILITE ANTICIPE -  
TRIBUTAIRES DE LA RIVIERE SAINT-FRANCOIS (1975).

Date de prélèvement <sup>4</sup>	Tributaires de la Rivière Saint-François <sup>5</sup>																				
	Rivière Saint-Germain			Lac Memphrémagog			Rivière Magog			Riv. Massawippi			Rivière Ascot			Rivière Eaton			Rivière Au Saumon		
	FN <sub>Ti</sub> <sup>1</sup>	FP <sub>Ti</sub> <sup>2</sup>	FM <sup>3</sup>	FN <sub>Ti</sub>	FP <sub>Ti</sub>	FM	FN <sub>Ti</sub>	FP <sub>Ti</sub>	FM												
1975																					
HIVER																					
1	50	140	45	7	-	11	7	-	9	21	4	7	40	-	37	23	4	3	22	-	17
2	91	87	56	8	13	9	8	6	6	20	6	17	41	4	9	24	-	3	17	-	2
3	61	46	50	9	3	3	10	4	13	23	6	6	37	-	27	25	3	16	19	-	3
PRINTEMPS																					
1	20	23	27	9	6	10	9	7	12	18	6	20	22	6	4	20	4	6	16	4	10
2	34	83	5	8	3	8	-	-	1	8	4	3	6	-	2	11	3	2	16	-	2
3	33	140	41	3	4	<1	-	-	1	4	3	5	5	-	3	4	-	3	6	-	2
ETE																					
1	50	140	48	2	4	<1	1	3		-	4	2	3	3	<1	5	-	1	7	3	2
2																1	4	2	1	-	1
3																-	-	1	3	-	-
AUTOMNE																					
1	98	14	72	1	-	4	1	-	3	4	-	4	2	-	4	3	-	3	4	-	4
2	33	35	34	3	3	1	5	8	4	8	3	6	9	3	3	10	3	4	8	-	4
3	37	30	39	4	3	5	8	4	6	15	3	8	18	-	2						

<sup>1</sup> FN<sub>Ti</sub>: potentiel de fertilité anticipé à partir de la concentration d'azote total inorganique [N], FN<sub>Ti</sub> = 38 x [N] mg.ℓ<sup>-1</sup>.

<sup>2</sup> FP<sub>Ti</sub>: potentiel de fertilité anticipé à partir de la concentration de phosphore total inorganique [P], FP<sub>Ti</sub> = 430 x [P] mg.ℓ<sup>-1</sup>.

<sup>3</sup> FM = PF: potentiel de fertilité (mg d'algues.ℓ<sup>-1</sup>).

<sup>4</sup> Prélèvements mensuels: les dates de prélèvement sont indiquées dans l'Annexe 4.

<sup>5</sup> Un trait (-) indique que la concentration d'azote total inorganique ou la concentration de phosphore total inorganique était en deçà de la limite de détection (<0.03 mg N.ℓ<sup>-1</sup>; <0.01 mg P.ℓ<sup>-1</sup>).

TABLEAU 3.6.3: POTENTIEL DE FERTILITE MESURE ET POTENTIEL DE FERTILITE ANTICIPE - TRONCON PRINCIPAL DE LA RIVIERE YAMASKA (1975).

Date de prélèvement <sup>4</sup>	Tronçon principal: Rivière Yamaska <sup>5</sup>																				
	Yamaska			St-Marcel			Autoroute 20			Douville			St-Damase			Farnham			Adamsville		
	FN <sub>Ti</sub> <sup>1</sup>	FP <sub>Ti</sub> <sup>2</sup>	FM <sup>3</sup>	FN <sub>Ti</sub>	FP <sub>Ti</sub>	FM															
1975																					
HIVER 1	70	51	54	77	56	59	61	62	56	57	37	44	48	53	43	44	32	45	22	14	9
HIVER 2	76	65	69	76	63	76	69	55	70	57	42	68	59	49	67	61	69	51	32	11	14
PRINTEMPS 1	56	45	39	54	52	56	49	35	44	46	24	43	44	30	37	27	21	38	18	7	9
PRINTEMPS 2	21	30	26	22	20	22	26	22	27	22	31	23	19	28	21	16	14	22	10	4	14
PRINTEMPS 3	40	67	40	50	58	40	46	30	39	44	34	32	55	62	34	42	62	30	13	6	9
ETE 1	10	105	7	6	115	6	18	121	25	18	168	12	11	112	21	3	66	8	1	3	2
ETE 2	<1	112	7	<1	98	4	16	100	17	14	35	13	12	44	14	15	90	34	<1	3	1
AUTOMNE 1	58	77	55	46	65	49	46	56	45	43	52	45	30	51	30	21	32	40	-	-	2
AUTOMNE 2	44	67	38	41	56	44	33	35	32	27	32	31	23	34	25	18	14	12	<1	4	1

<sup>1</sup> FN<sub>Ti</sub>: potentiel de fertilité anticipé à partir de la concentration d'azote total inorganique [N]. FN<sub>Ti</sub> = 38 x [N] mg.l<sup>-1</sup>.

<sup>2</sup> FP<sub>Ti</sub>: potentiel de fertilité anticipé à partir de la concentration de phosphore total inorganique [P]. FP<sub>Ti</sub> = 430 x [P] mg.l<sup>-1</sup>.

<sup>3</sup> FM = PF: potentiel de fertilité (mg d'algues.l<sup>-1</sup>).

<sup>4</sup> Prélèvements mensuels: les dates de prélèvement sont indiquées dans l'Annexe 4.

<sup>5</sup> Un trait (-) indique que la concentration d'azote total inorganique ou la concentration de phosphore total inorganique était en deçà de la limite de détection (<.03 mg N.l<sup>-1</sup>; <.01 mg P.l<sup>-1</sup>).

TABLEAU 3.6.4A: POTENTIEL DE FERTILITE MESURE ET POTENTIEL DE FERTILITE ANTICIPE - TRIBUTAIRES DE LA RIVIERE YAMASKA (1975).

Date de prélèvement <sup>4</sup>		Tributaires de la Rivière Yamaska <sup>5</sup>																	
		Riv. Saint-Mazaire			Rivière Yamaska Nord									Rivière Yamaska Sud-Est					
		Aval de Waterloo			Aval de Granby			Aval de St-Alphonse			Aval de Cowansville			Aval de Brigham					
	FN <sub>Ti</sub> <sup>1</sup>	FP <sub>Ti</sub> <sup>2</sup>	FM <sup>3</sup>	FN <sub>Ti</sub>	FP <sub>Ti</sub>	FM	FN <sub>Ti</sub>	FP <sub>Ti</sub>	FM	FN <sub>Ti</sub>	FP <sub>Ti</sub>	FM	FN <sub>Ti</sub>	FP <sub>Ti</sub>	FM	FN <sub>Ti</sub>	FP <sub>Ti</sub>	FM	
1975																			
HIVER	1	56	22	37	46	239	36	39	126	61	53	351	62	28	39	30	35	17	29
	2	94	58	53	79	218	55	52	128	54	62	91	60	24	31	35	43	32	51
PRINTEMPS	1	32	32	36	32	44	39	25	15	24	26	42	32	21	14	15	24	11	15
	2	24	17	26	28	56	22	15	112	32	16	161	55	20	15	24	21	15	13
	3	29	65	29	111	168	70	20	70	<1	73	337	59	46	59	51	43	58	41
ETE	1	* <sup>5</sup>	379	3	74	662	8	15	751	73	112	582	91	79	246	53	1	44	3
	2	15	88	36	105	758	1	68	336	126	274	730	139	58	67	66	4	56	11
AUTOMNE	1	36	28	34	14	140	78	* <sup>5</sup>	121	24	94	84	78	10	21	16	7	10	11
	2	37	51	* <sup>5</sup>	68	196	49	11	46	21	65	52	46	18	30	14	15	18	9

<sup>1</sup> FN<sub>Ti</sub>: potentiel de fertilité anticipé à partir de la concentration d'azote total inorganique [N]. FN<sub>Ti</sub> = 38 x [N] mg.ℓ<sup>-1</sup>.

<sup>2</sup> FP<sub>Ti</sub>: potentiel de fertilité anticipé à partir de la concentration de phosphore total inorganique [P]. FP<sub>Ti</sub> = 430 x [P] mg.ℓ<sup>-1</sup>.

<sup>3</sup> FM = PF: potentiel de fertilité (mg d'algues.ℓ<sup>-1</sup>).

<sup>4</sup> Prélèvements mensuels: les dates de prélèvement sont indiquées dans l'Annexe 4.

<sup>5</sup> Un astérisque (\*) indique l'absence de données.

TABLEAU 3.6.4B: POTENTIEL DE FERTILITE MESURE ET POTENTIEL DE FERTILITE ANTICIPE - TRIBUTAIRES DE LA RIVIERE YAMASKA (1975).

Date de prélèvement <sup>4</sup>		Tributaires de la Rivière Yamaska																	
		Rivière David			Rivière Salvail			Rivière Chibouet			Rivière Noire								
		FN <sub>Ti</sub> <sup>1</sup>	FP <sub>Ti</sub> <sup>2</sup>	FM <sup>3</sup>	FN <sub>Ti</sub>	FP <sub>Ti</sub>	FM	FN <sub>Ti</sub>	FP <sub>Ti</sub>	FM	Roxton Falls			Saint-Hector			St-Pie		
FN <sub>Ti</sub>	FP <sub>Ti</sub>	FM	FN <sub>Ti</sub>	FP <sub>Ti</sub>	FM	FN <sub>Ti</sub>	FP <sub>Ti</sub>	FM	FN <sub>Ti</sub>	FP <sub>Ti</sub>	FM	FN <sub>Ti</sub>	FP <sub>Ti</sub>	FM	FN <sub>Ti</sub>	FP <sub>Ti</sub>	FM		
1975	1	24	59	20	84	59	10	97	34	29	23	17	22	48	42	37	45	34	36
	HIVER 2	96	88	70	76	66	83	100	46	51	51	39	41	58	74	55	62	41	63
PRINTEMPS	1	44	49	41	68	62	50	83	53	33	16	7	7	25	22	28	43	28	41
	2	22	49	20	37	42	37	42	37	36	10	13	10	26	27	23	17	22	12
	3	31	59	28	53	70	55	76	81	43	9	17	9	8	18	5	32	39	25
ETE	1	3	37	4	23	56	29	11	631	22	1	7	1	<1	13	2	8	46	5
	2	<1	48	2	2	60	5	80	421	73	5	14	14	5	22	11	5	24	8
AUTOMNE	1	11	53	11	77	52	22	73	100	58	8	13	6	15	49	20	37	53	37
	2	22	65	23	77	52	57	67	59	51	11	18	5	19	22	13	20	42	20

<sup>1</sup> FN<sub>Ti</sub>: potentiel de fertilité anticipé à partir de la concentration d'azote total inorganique [N]. FN<sub>Ti</sub> = 38 x [N] mg.ℓ<sup>-1</sup>

<sup>2</sup> FP<sub>Ti</sub>: potentiel de fertilité anticipé à partir de la concentration de phosphore total inorganique [P]. FP<sub>Ti</sub> = 430 x [P] mg.ℓ<sup>-1</sup>.

<sup>3</sup> FM = PF: potentiel de fertilité (mg d'algues.ℓ<sup>-1</sup>).

<sup>4</sup> Prélèvements mensuels: les dates de prélèvement sont indiquées dans l'Annexe 4.

**TABEAU 3.6.5: FREQUENCE DU PHENOMENE D'INTOXICATION DES EAUX DES BASSINS DES RIVIERES SAINT-FRANCOIS ET YAMASKA (1975).**

BASSIN DE LA RIVIERE SAINT-FRANCOIS			BASSIN DE LA RIVIERE YAMASKA		
Stations	MRN <sup>1</sup>	INRS <sup>2</sup>	Stations	MRN <sup>1</sup>	INRS <sup>2</sup>
Pierreville	1/10	3/9	Yamaska	0/9	1/9
Drummondville	1/10		St-Marcel	0/9	
Richmond	5/10	1/9	Autoroute 20	0/9	
Bromptonville	1/10	3/9	Douville	0/9	
Lennoxville	1/21	3/9	St-Damase	1/9	1/9
Ascot Corner	1/11		Farnham	0/9	
East Angus	0/11		Adamsville	0/9	2/9
Au Saumon	1/11				
St-Gérard	1/11		Rivière St-Nazaire	0/9	
Disraeli	0/11		Aval de Waterloo	5/9	
			Aval de Granby	1/9	
Rivière St-Germain	2/10		Aval de St-Alphonse	3/9	3/9
Lac Memphrémagog	3/10		Aval de Cowansville	1/9	
Rivière Magog	1/10		Aval de Brigham	1/9	0/9
Rivière Massawippi	0/10	3/9	Rivière David	0/9	
Rivière Ascot	1/10		Rivière Salvail	3/9	
Rivière Eaton	0/11		Rivière Chibouet	3/9	
Rivière Au Saumon	0/11		Roxton Falls	1/9	
			St-Hector	0/9	
			St-Pie	3/9	

<sup>1</sup> MRN: échantillons d'eau prélevés par le MRN (Qualité).

<sup>2</sup> INRS: échantillons d'eau prélevés par l'INRS-EAU.

<sup>3</sup> Incidence:  $x/y$  où  $x$  = nombre d'échantillons où  $FM < FN_{Ti}$  ou  $FP_{Ti}$ ;  
 $y$  = nombre total d'échantillons.

TABLEAU 3.6.6: COEFFICIENTS DE STIMULATION AUX AJOUTS D'OLIGO-ELEMENTS - RIVIERE SAINT-FRANCOIS (1974).

Date de prélèvement <sup>1</sup>	Bassin de la Rivière Saint-François					
	Pierreville M <sup>4</sup>	Richmond M	Bromptonville M	Massawippi M	Lennoxville M	St-Gérard M
1974						
HIVER						
1	1,00	1,18	0,47	- <sup>5</sup>	- <sup>5</sup>	0,96
2	1,14	0,94	0,40	1,08	0,91	1,25
3	1,04	1,01	0,81	0,99	1,05	1,08
PRINTEMPS						
1	1,04	0,85	0,96	1,09	0,97	0,94
2	1,10	0,80	0,99	1,02	0,73	0,92
3	1,13	0,84	0,95	1,02	0,92	0,88
ETE						
1	1,19	0,81	1,69	1,11	0,91	0,99
2	0,96	0,85	0,66	0,92	1,02	0,94
3	0,88	0,85	0,82	0,92	0,76	1,22
AUTOMNE						
1	0,88	1,08	0,92	0,75	1,04	0,87
2	0,93	0,87	0,78	1,04	1,24	0,96
3	1,09	1,19	0,93	0,87	0,99	1,39
$\bar{M}$ <sup>2</sup>	1,03	0,94	0,86	0,98	0,95	1,03
PV <sup>3</sup>	(0,88-1,19)	(0,80-1,19)	(0,40-1,69)	(0,75-1,11)	(0,73-1,24)	(0,87-1,39)

<sup>1</sup> Prélèvements mensuels: les dates sont indiquées dans le Tableau 3.2.17.

<sup>2</sup>  $\bar{M}$ : coefficient de stimulation moyen avec ajout d'oligo-éléments.

<sup>3</sup> PV: plage de variation.

<sup>4</sup> M: coefficient de stimulation de croissance calculé avec ajout d'oligo-éléments (milieu PAAP 30%).

<sup>5</sup> Valeur rejetée à cause d'un coefficient de variation trop élevé (voir l'Annexe 1).

**TABLEAU 3.6.7: COEFFICIENTS DE STIMULATION AUX AJOUTS D'OLIGO-ELEMENTS - RIVIERE YAMASKA (1974).**

Date de prélèvement <sup>1</sup>	Bassin de la Rivière Yamaska					
	St-Marcel M <sup>4</sup>	St-Pie M	St-Damase M	Brigham (aval) M	St-Alphonse (aval) M	Adamsville M
1974						
HIVER						
1	0.82	<sup>-5</sup>	1.01	<sup>-5</sup>	<sup>-5</sup>	0.60
2	<sup>-6</sup>	0.99	0.98	1.01	1.02	0.93
3	0.87	1.00	0.76	1.07	1.05	0.85
PRINTEMPS						
1	1.10	1.20	1.00	1.00	1.00	1.00
2	0.97	1.09	1.04	0.93	1.01	1.12
3	0.79	0.91	0.79	1.08	1.10	0.87
ETE						
1	1.05	0.95	0.99	0.71	1.05	1.01
2	<sup>-6</sup>	<sup>-6</sup>	<sup>-6</sup>	<sup>-6</sup>	<sup>-6</sup>	<sup>-6</sup>
3	0.92	0.82	0.99	0.93	0.93	1.13
AUTOMNE						
1	0.91	0.91	0.96	0.96	0.84	1.10
2	1.15	1.00	0.93	0.92	0.96	0.82
3	<sup>-5</sup>	<sup>-5</sup>	<sup>-5</sup>	<sup>-5</sup>	<sup>-5</sup>	<sup>-5</sup>
$\bar{M}^2$	0.96	0.98	0.94	0.94	0.98	0.94
PV <sup>3</sup>	(0.79-1.15)	(0.82-1.2)	(0.76-1.04)	(0.71-1.08)	(0.84-1.10)	(0.60-1.13)

<sup>1</sup> Prélèvements mensuels: les dates sont indiquées dans le Tableau 3.2.19.

<sup>2</sup>  $\bar{M}$ : coefficient de stimulation moyen avec ajout d'oligo-éléments.

<sup>3</sup> PV: plage de variation.

<sup>4</sup> M: coefficient de stimulation de croissance calculé avec ajout d'oligo-éléments (milieu PAAP 30%).

<sup>5</sup> Valeur rejetée à cause d'un coefficient de variation trop élevé (voir l'Annexe 1).

<sup>6</sup> Absence de données.

**TABLEAU 3.6.8: EFFET DE DILUTION ET D'AJOUTS D'EDTA SUR LA MESURE DU POTENTIEL DE FERTILITE.**

Station Rivière Massawippi			
Echantillon <sup>1</sup>	09-75		
	FN <sub>Ti</sub> <sup>2</sup>	FP <sub>Ti</sub> <sup>3</sup>	FM <sup>4</sup>
D <sub>2</sub>	1.5	1.4	3.4
D <sub>1</sub>	3.1	2,8	1.3
E <sub>1</sub>	5	4,2	2
E <sub>2</sub>	5	4,2	2
E <sub>3</sub>	5	4.2	2.2
Témoin	5	4.2	1
Station Saint-Alphonse (aval)			
Echantillon <sup>1</sup>	09-75		
	FN <sub>Ti</sub>	FP <sub>Ti</sub>	FM
D <sub>2</sub>	33	234	19
D <sub>1</sub>	66	468	43
E <sub>1</sub>	99	702	61
E <sub>2</sub>	99	702	64
E <sub>3</sub>	99	702	62
Témoin	99	702	48

- <sup>1</sup> D<sub>2</sub> = échantillon d'eau traitée: eau de rivière (33%) + eau déminéralisée (66%);  
 D<sub>1</sub> = échantillon d'eau traitée: eau de rivière (66%) + eau déminéralisée (33%);  
 E<sub>1</sub> = échantillon d'eau traitée: eau de rivière + EDTA (1 µ-mole);  
 E<sub>2</sub> = échantillon d'eau traitée; eau de rivière + EDTA (10 µ-moles);  
 E<sub>3</sub> = échantillon d'eau traitée: eau de rivière + EDTA (100 µ-moles).

<sup>2</sup> FN<sub>Ti</sub>: potentiel de fertilité anticipé à partir de la concentration d'azote total inorganique [N]. FN<sub>Ti</sub> = 38 x [N] mg.ℓ<sup>-1</sup>.

<sup>3</sup> FP<sub>Ti</sub>: potentiel de fertilité anticipé à partir de la concentration de phosphore total inorganique [P]. FP<sub>Ti</sub> = 430 x [P] mg.ℓ<sup>-1</sup>.

<sup>4</sup> FM = PF: potentiel de fertilité (mg d'algues.ℓ<sup>-1</sup>).

**TABLEAU 3.6.9: VARIATIONS DIURNES DU POTENTIEL DE FERTILITE ILLUSTRANT LA PRESENCE CROISSANTE DE SUBSTANCES TOXIQUES.**

SAINT-ALPHONSE (AVAL)				
Date	Heure	FN <sub>Ti</sub> <sup>1</sup>	FP <sub>Ti</sub> <sup>2</sup>	FM <sup>3</sup>
27-10-75	11:00	49	39	41
28-10-75	10:55	47	123	37
28-10-75	17:00	56	95	39
	23:40	47	45	21
29-10-75	5:15	102	18	6.3
	11:00	45	32	0.4
30-10-75	11:20	-	-	50

- <sup>1</sup> FN<sub>Ti</sub>: potentiel de fertilité anticipé à partir de la concentration d'azote total inorganique [N].  $FN_{Ti} = 38 \times [N] \text{ mg.l}^{-1}$ .
- <sup>2</sup> FP<sub>Ti</sub>: potentiel de fertilité anticipé à partir de la concentration de phosphore total inorganique [P].  $FP_{Ti} = 430 \times [P] \text{ mg.l}^{-1}$ .
- <sup>3</sup> FM = PF: potentiel de fertilité (mg d'algues.l<sup>-1</sup>).

**TABLEAU 4.1: ELABORATION D'UN RESEAU D'ACQUISITION DE DONNEES RELATIVES AUX SUBSTANCES NUTRITIVES - OBJECTIFS POSSIBLES.**

<u>Objectif</u>	<u>Paramètres</u>	<u>Critères de localisation des stations <sup>1</sup></u>	<u>Critères pour fixer la fréquence d'échantillonnage <sup>1</sup></u>
Connaissance de l'exportation des substances nutritives; prévision de l'état trophique de lacs ou d'autres milieux lénétiques localisés en aval.	Physico-chimiques (voir Figure 4.2) Physique . débit	A l'exutoire des sous-bassins importants.	Fréquence plus élevée en périodes de forts débits, surtout au printemps.
Caractérisation de l'état de qualité d'une rivière; évaluation du degré d'enrichissement des eaux courantes.	Physico-chimiques (voir Figure 4.2) Biologiques (voir Figure 4.3) Physiques . débit, vitesse de courant . turbidité, pénétration de lumière	Dans les zones où il existe un fort potentiel d'utilisation de la ressource.	Fréquence plus élevée en périodes de faibles débits, surtout en été (danger de fleurs d'eau) et en hiver (danger d'anoxie sous couvert de glace).
Evaluation de l'impact des eaux résiduaires sur les eaux réceptrices; discernement des causes importantes de détérioration du milieu.	Physico-chimiques (voir Figure 4.2) Biologiques (voir Figure 4.3) Physiques . débit, vitesse de courant . turbidité, pénétration de lumière	En amont et en aval de la zone de mélange des effluents importants.  Dans le réseau d'égouts, au point de déversement.	Fréquence plus élevée en périodes de faibles débits.

<sup>1</sup> Voir aussi dans le texte pour d'autres critères d'ordre général.

TABLEAU 4.2: ESTIMATION DE LA FREQUENCE DE MESURE: VALEURS DES COEFFICIENTS STATISTIQUES k ET f<sup>1</sup>.

Valeurs de k <sup>2</sup>										
Niveau de confiance		99	98	95	90	80	50			
k		2.58	2.33	1.96	1.64	1.28	0.67			
Valeurs de f										
Moyenne arithmétique	Quantile	$\frac{50}{50}$	$\frac{40}{60}$	$\frac{30}{70}$	$\frac{20}{80}$	$\frac{16}{84}$	$\frac{10}{90}$	$\frac{5}{95}$	$\frac{1}{99}$	
1.00	← f →	1.25	1.27	1.32	1.43	1.52	1.71	2.09	3.67	

<sup>1</sup> Valeurs tirées de Montgomery et Hart (1974).

<sup>2</sup> Lorsque N<30, on devrait remplacer k par la valeur appropriée de t (distribution de Student).

TABLEAU 4.3: RESUME DES METHODES ANALYTIQUES PROPOSEES POUR LA DETERMINATION DES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES PERTINENTS A L'ETUDE DES SUBSTANCES NUTRITIVES.

<u>Paramètre</u>	<u>Type d'échantillon</u> <sup>1</sup>	<u>Méthode Analytique</u>	<u>Remarques</u>
N-NH <sub>4</sub>	F	Colorimétrie	Améliorer la limite de sensibilité de la méthode utilisée au MRN
N-NO <sub>2-3</sub>	F	Méthode utilisée actuellement (réduction nitrates en nitrites; sulfanilamide) est jugée satisfaisante	—
N-Kjeldahl	F	Digestion; colorimétrie	Vérifier l'efficacité de la digestion automatisée utilisée au MRN
P-inorganique	F	Hydrolyse; colorimétrie	Améliorer la limite de sensibilité de la méthode utilisée au MRN
P-total	F	Digestion; colorimétrie	Vérifier l'efficacité de la digestion automatisée.
P-total	R	Combustion du filtre (550°C); hydrolyse (1 N HCl, 104°C); colorimétrie.	
C-organique	F	Acidification, dégazage (CO <sub>2</sub> <sup>↑</sup> ), oxydation (Analyseur Beckman).	Vérifier la justesse systématiquement.

<sup>1</sup> F = échantillon filtré; R = résidu sur un filtre Whatman GF/C (voir la section 4.2.1).

TABEAU 4.4: RESUME DES METHODES ANALYTIQUES PROPOSEES POUR LA DETERMINATION DES PARAMETRES BIOLOGIQUES PERTINENTS A L'ETUDE DES SUBSTANCES NUTRITIVES.

<u>Paramètre</u>	<u>Type d'échantillon</u> <sup>1</sup>	<u>Méthode Analytique</u>	<u>Remarques</u>
Potentiel de fertilité	NF	voir la section 2.3.2 et l'Annexe 1. (EPA, 1971)	Vérifier relation FM vs FP <sub>Ti</sub> pour [P] < 10 µg/l
Facteur chimique limitant	NF	voir la section 2.3.3 et l'Annexe 1. (EPA, 1971)	-
Potentiel autotrophe	NF	voir l'Annexe 3.	-
Productivité hétérotrophe - sulfate	NF	voir l'Annexe 3.	Nouvelle technique encore non-évaluée
Carbone organique particulaire	R	oxydation (Analyseur Hewlett-Packard). (Stainton <i>et al.</i> , 1974)	-
Azote organique particulaire	R	oxydation (Analyseur Hewlett-Packard). (Stainton <i>et al.</i> , 1974)	-
Chlorophylle-a	R	extraction avec acétone, spectrofluorimétrie. (Stainton <i>et al.</i> , 1974)	-
Phaeopigments	R	extraction avec acétone, acidification, spectrofluorimétrie. (Strickland et Parsons, 1972)	-
Adénosine triphosphate (ATP)	R	extraction avec tampon aqueux, bioluminescence. (Holm-Hansen et Booth, 1966)	-

<sup>1</sup> NF = échantillon non filtré; R = résidu sur un filtre Whatman GF/C (voir la section 4.2.1).

## FIGURES



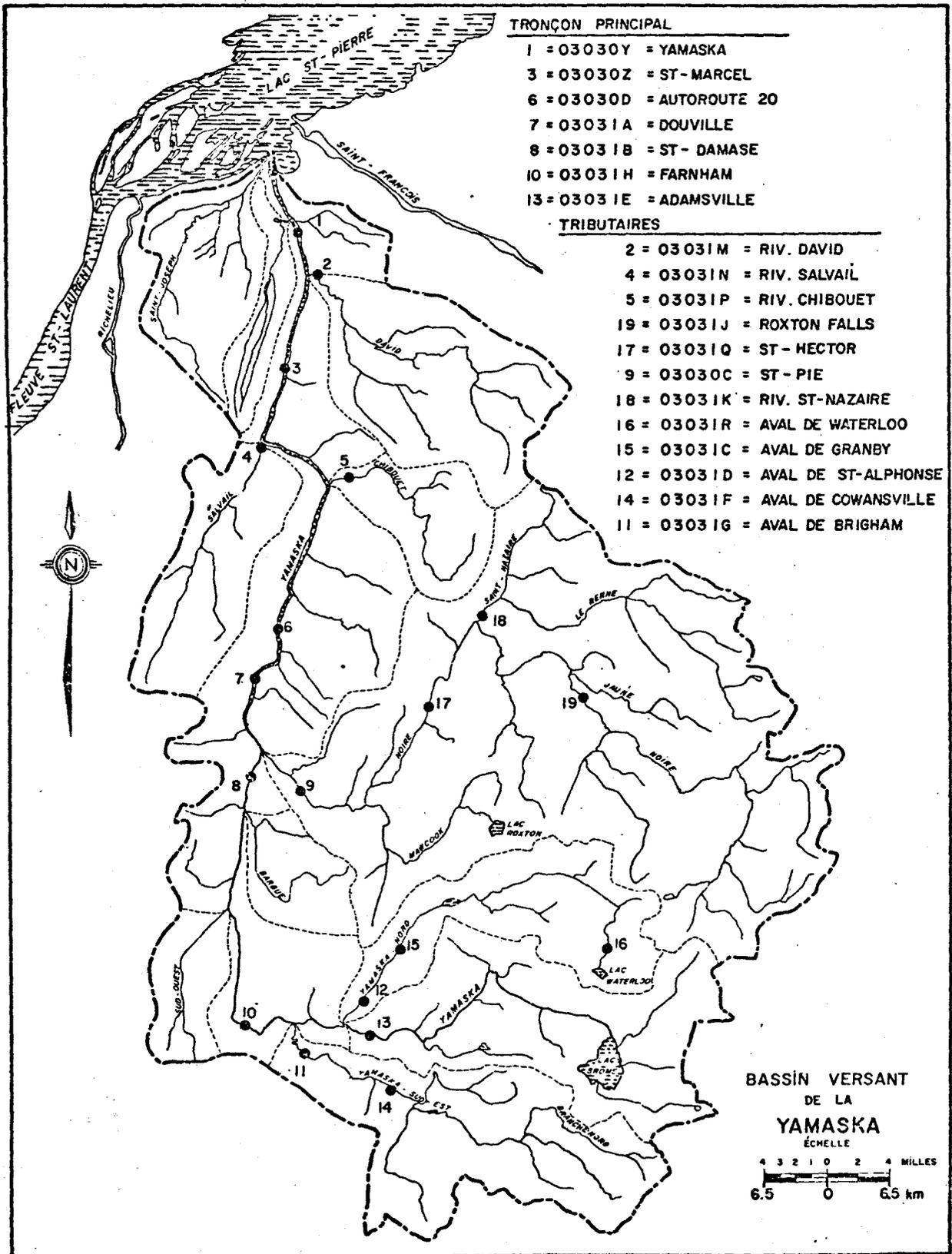


Fig. 2.1. Stations d'échantillonnage dans le bassin versant de la rivière Yamaska.

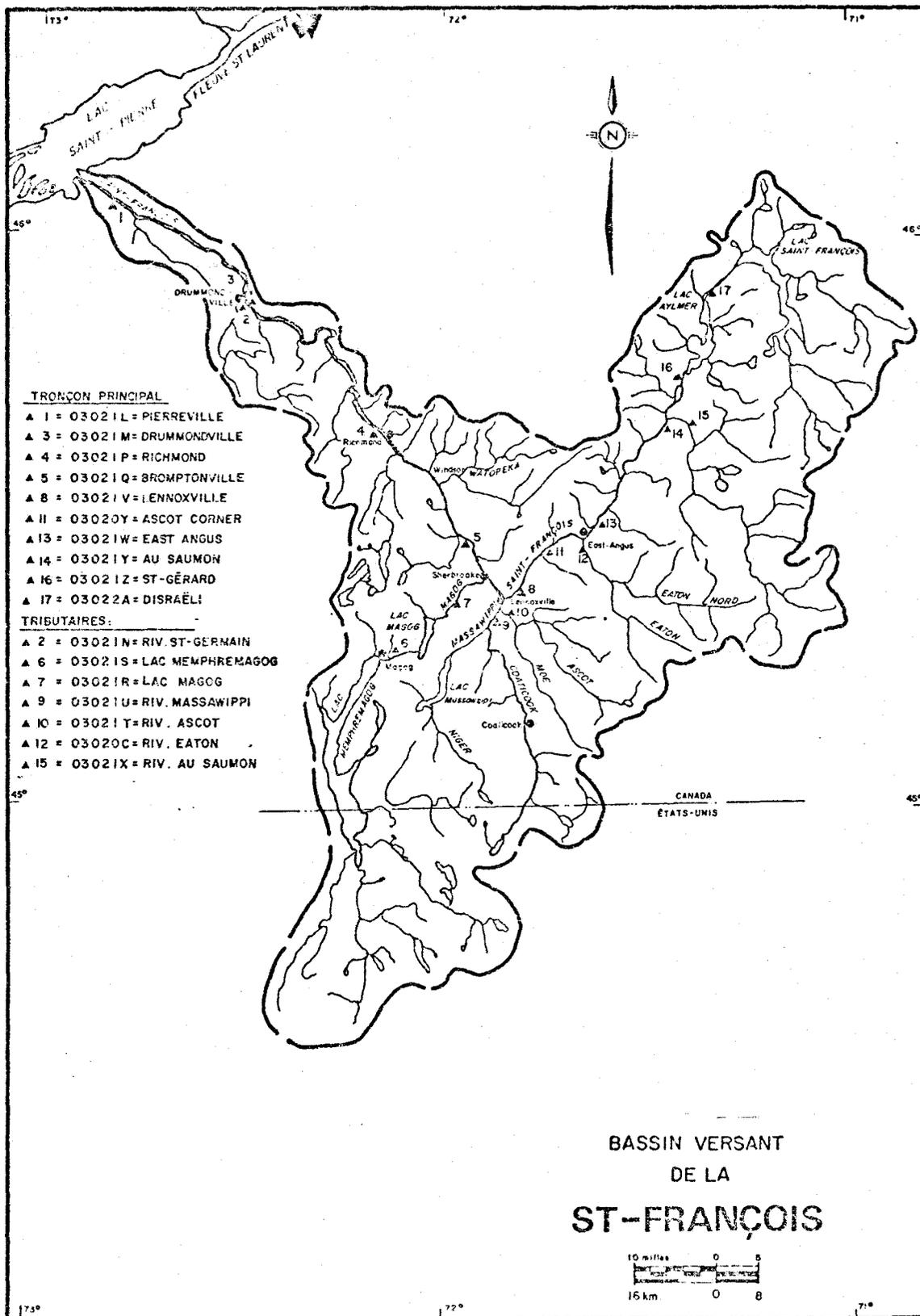


Fig. 2.2. Stations d'échantillonnage dans le bassin versant de la rivière Saint-François.

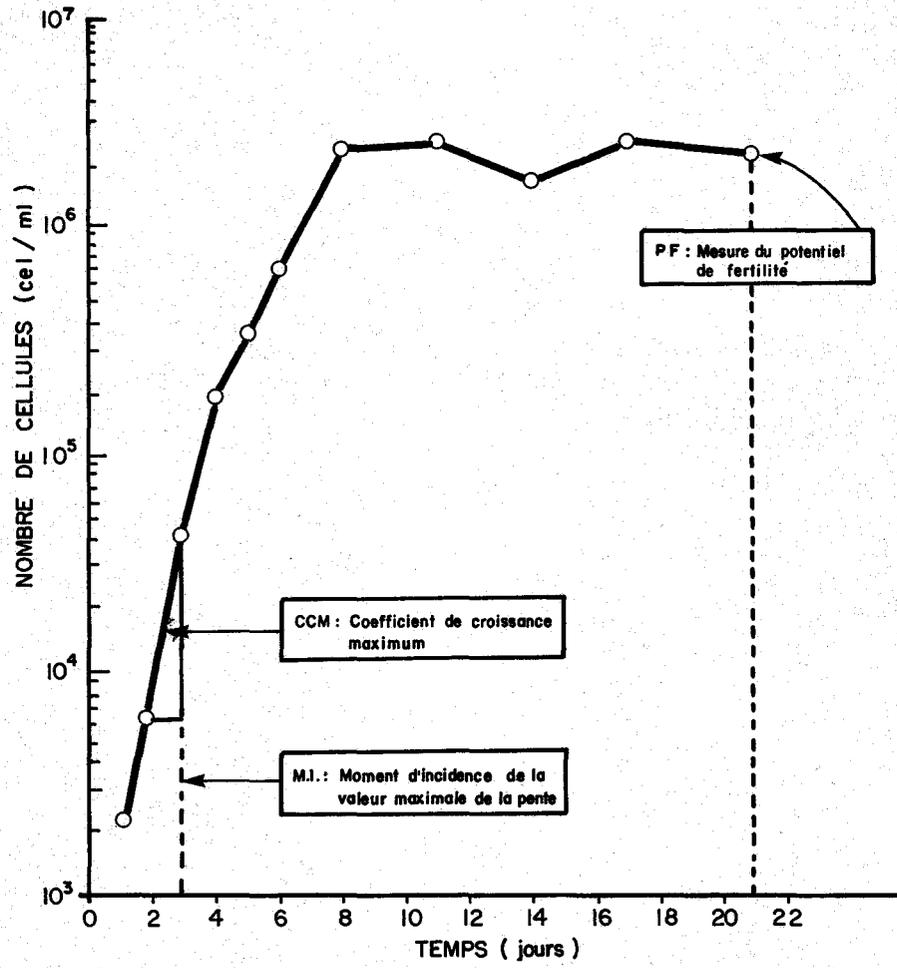


Fig.2.3 . Courbe de croissance de S.Capricornutum .

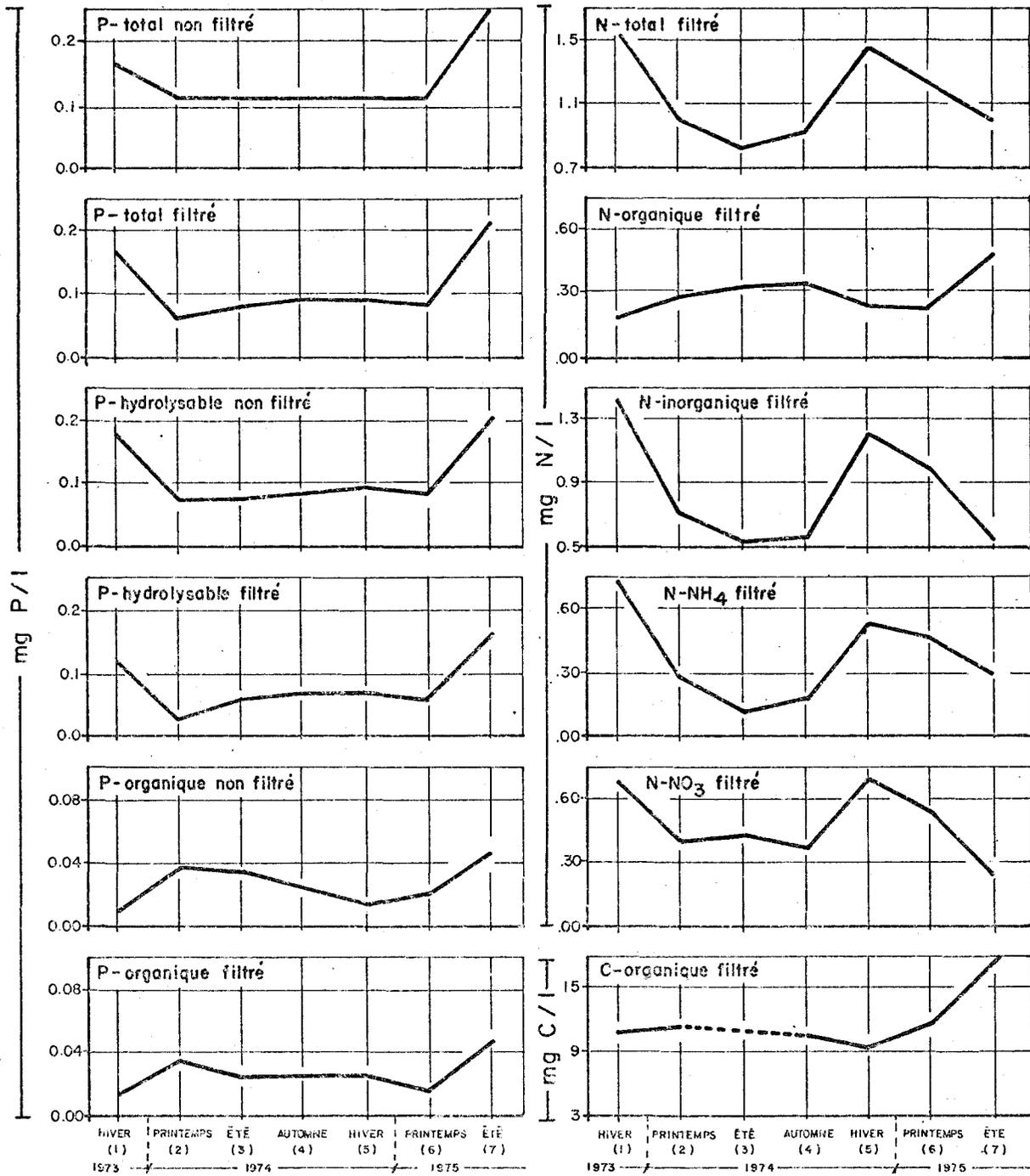


Fig. 3.1.1. Variation saisonnière des concentrations moyennes de substances nutritives dans les eaux du bassin de la rivière Yamaska (16 stations).

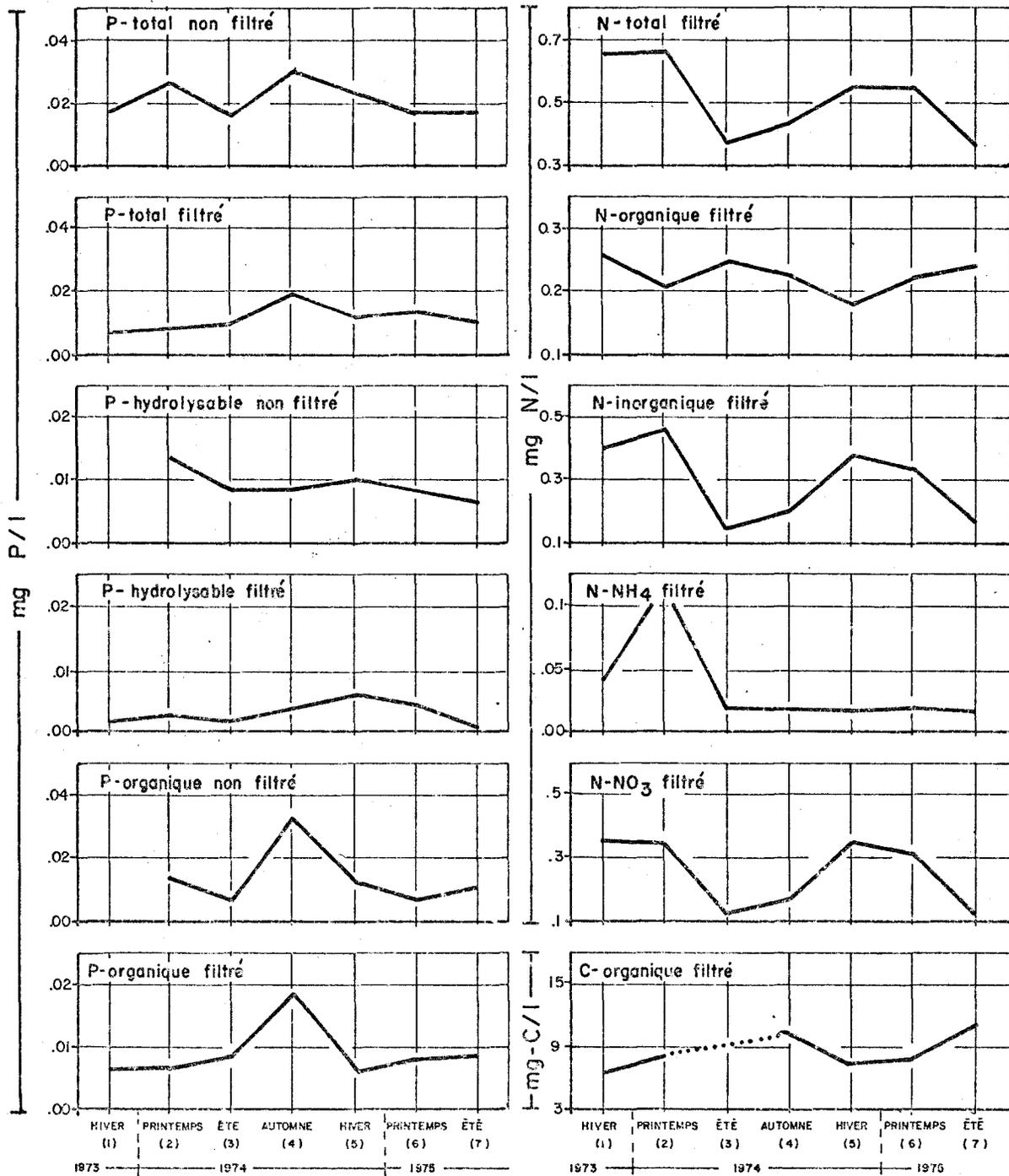


Fig. 3.1.2 Variation saisonnière des concentrations moyennes de substances nutritives dans les eaux du bassin de la rivière Saint-François ( 16 stations ).

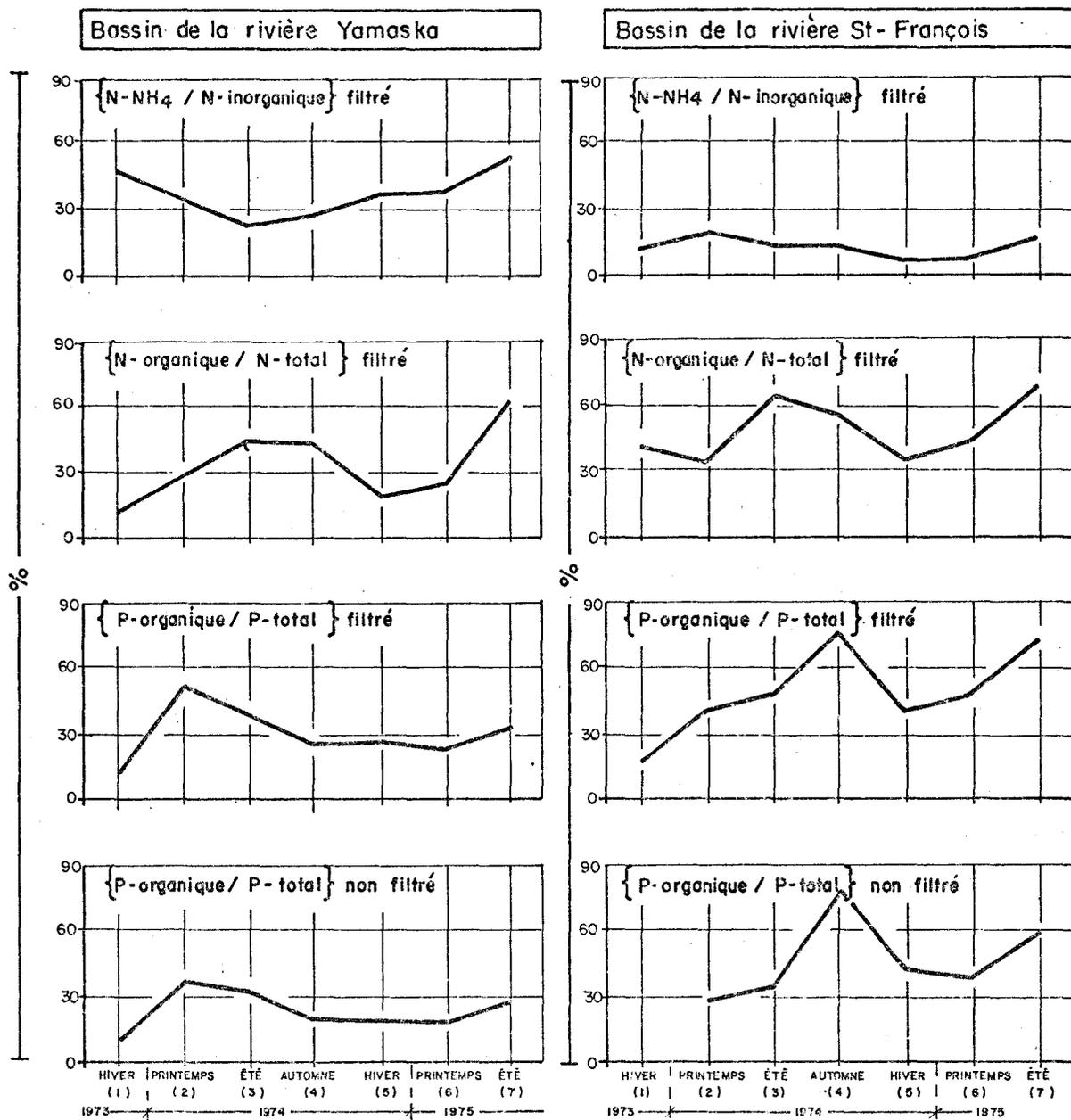


Fig. 3.1.3. Variation saisonnière des formes oxydées et organiques d'azote et des formes organiques de phosphore sur les bassins des rivières Yamaska et Saint-François.

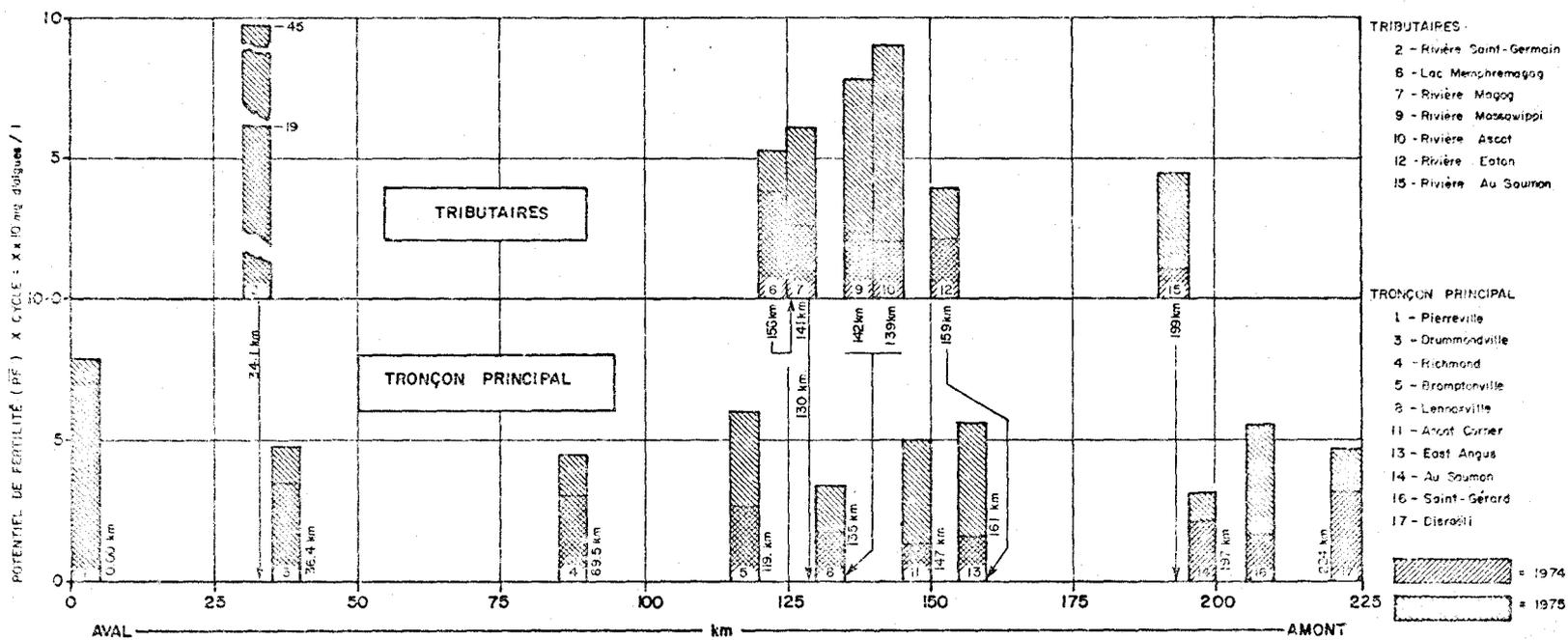


Fig.3.2.1. Évolution longitudinale du potentiel de fertilité : bassin de la rivière Saint-François, 1974-1975.

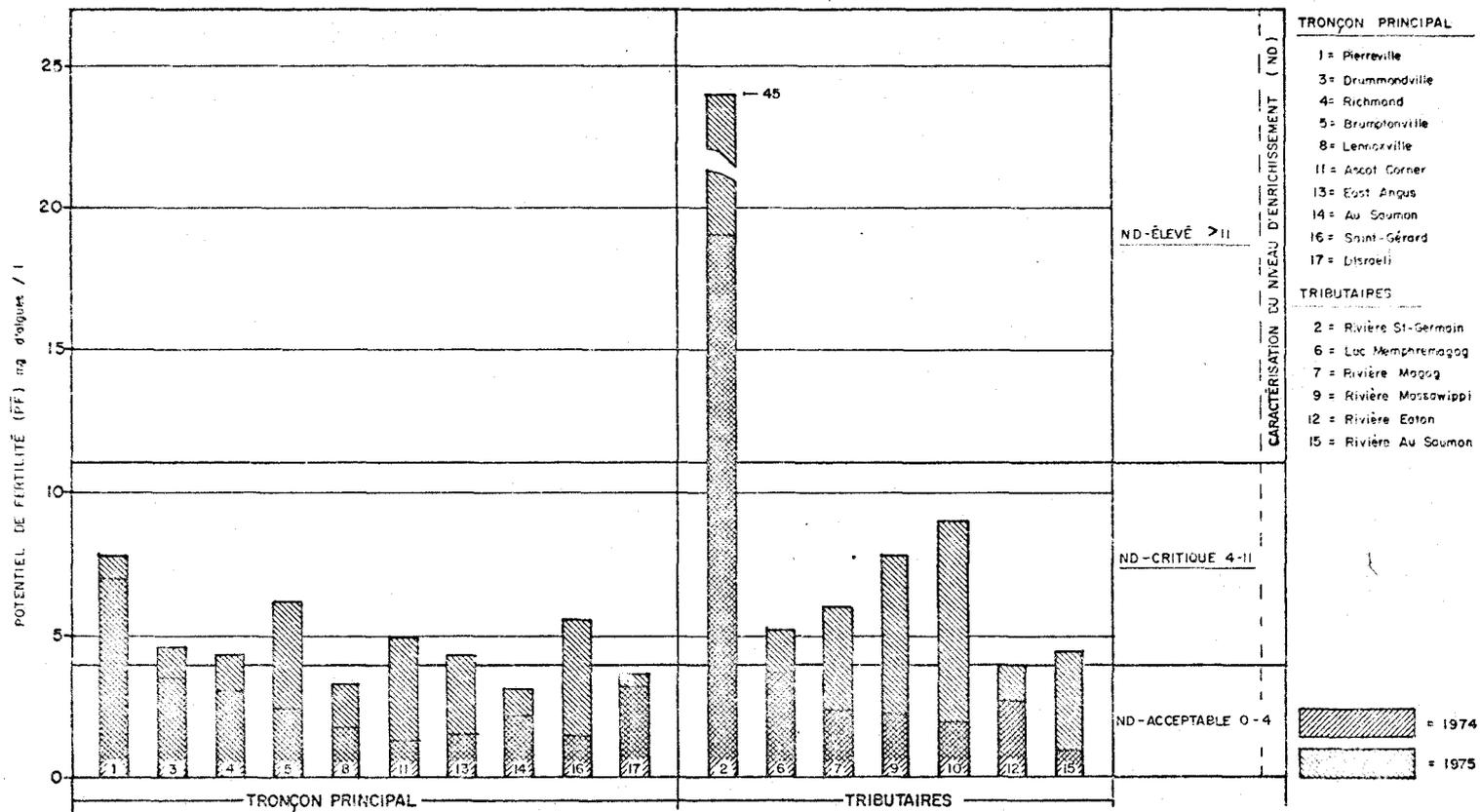


Fig. 3.2.2. Caractérisation du niveau d'enrichissement des eaux en substances nutritives : rivière St-François, 1974-1975.

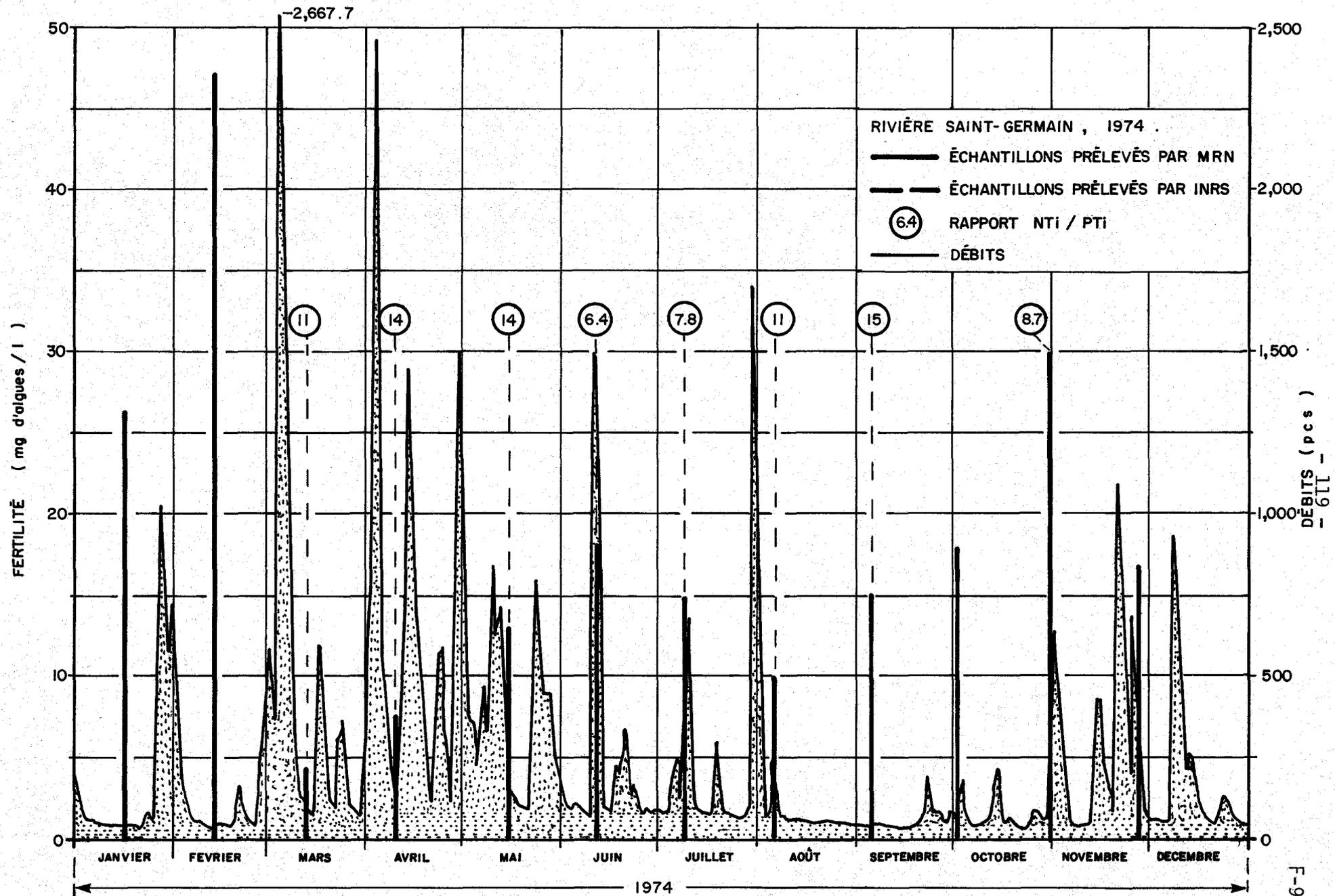


Fig. 3.2.3. Évolution des débits et des mesures du potentiel de fertilité : rivière Saint-Germain, 1974.

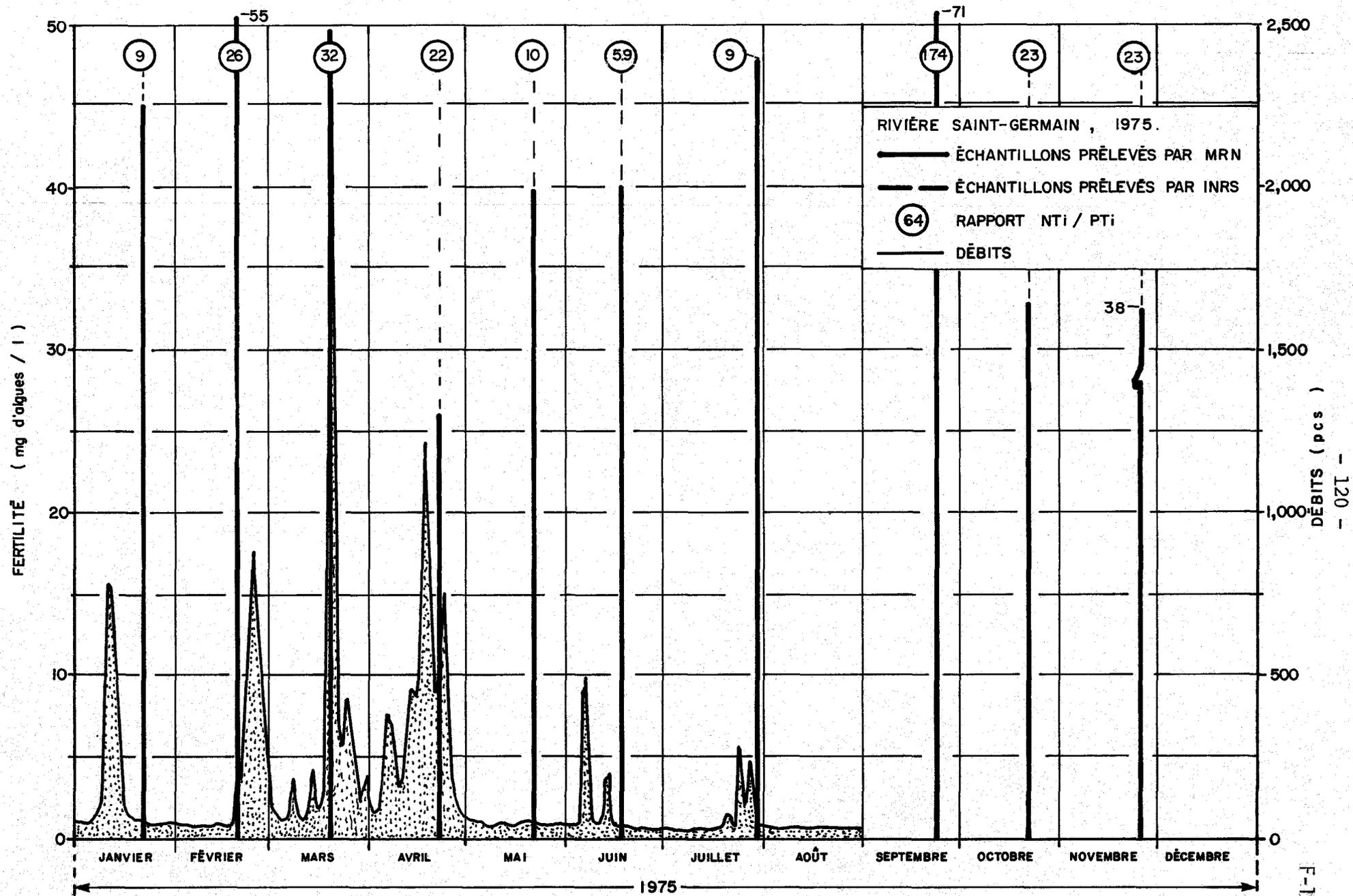


Fig. 3.2.4. Évolution des débits et des mesures du potentiel de fertilité : rivière Saint-Germain, 1975 .

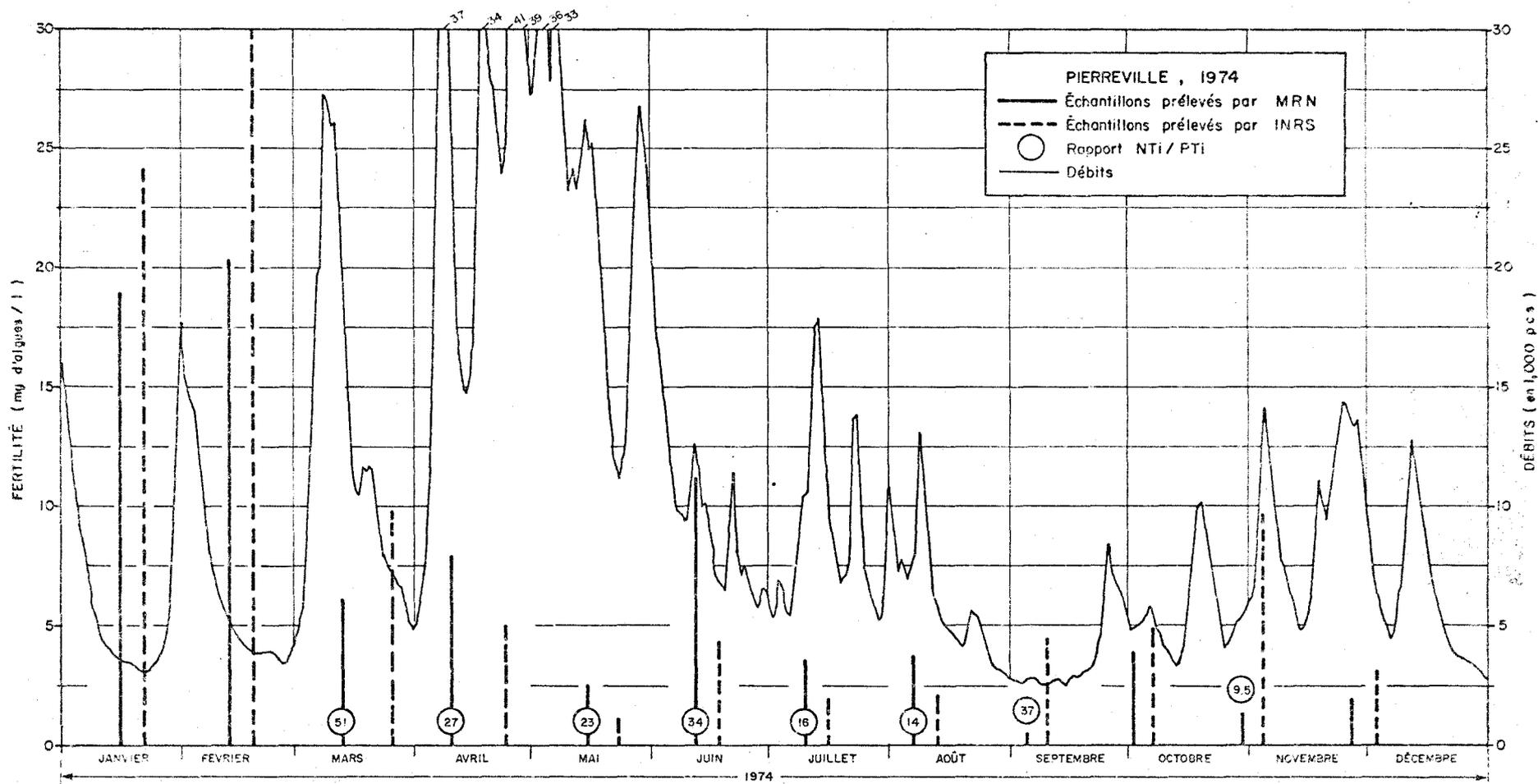


Fig. 3.2.5. Évolution des débits et des mesures du potentiel de fertilité : rivière Saint-François à Pierreville, 1974.

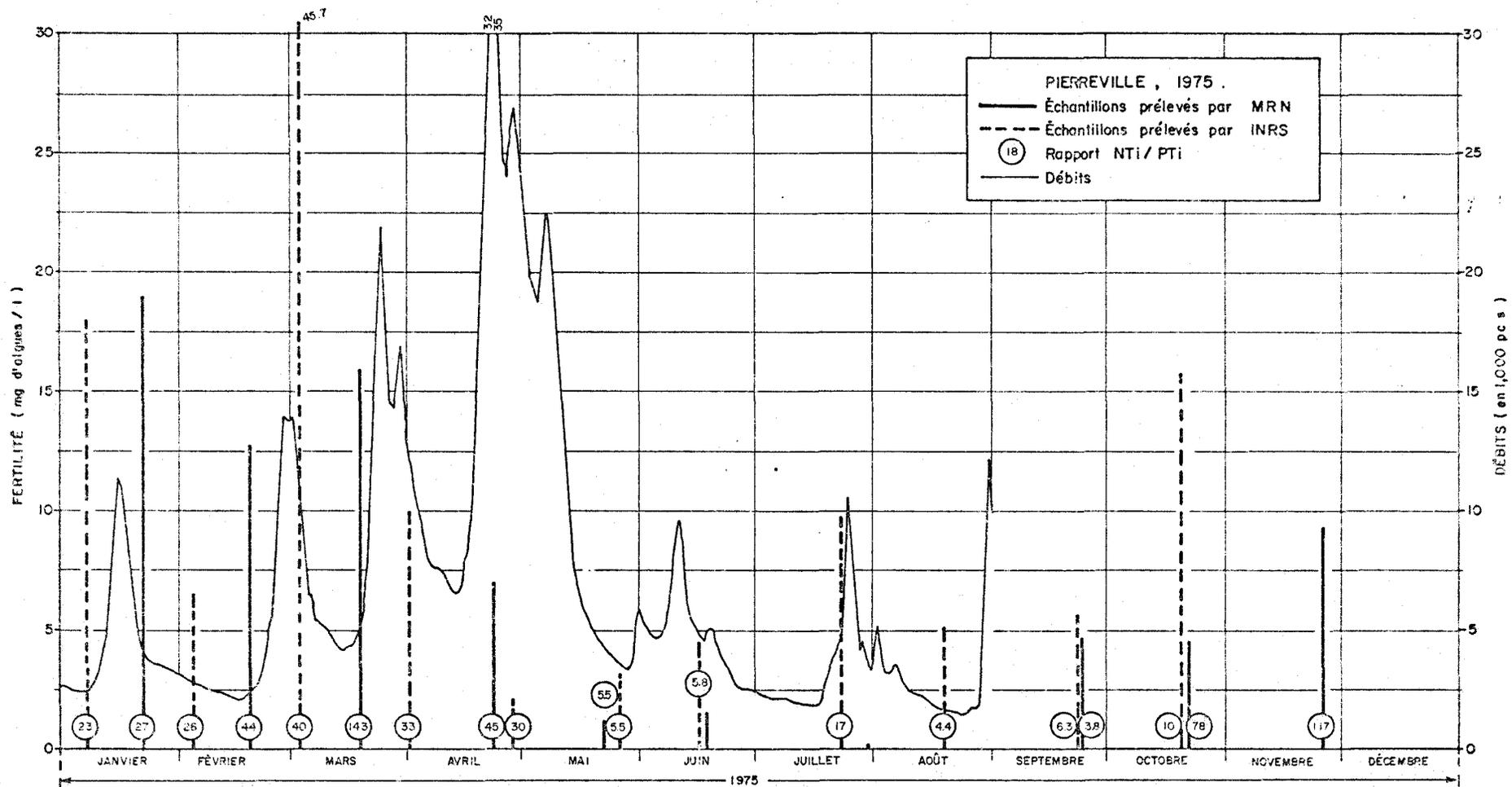


Fig. 3.2.6. Évolution des débits et des mesures du potentiel de fertilité: rivière Saint-François à Pierreville, 1975.

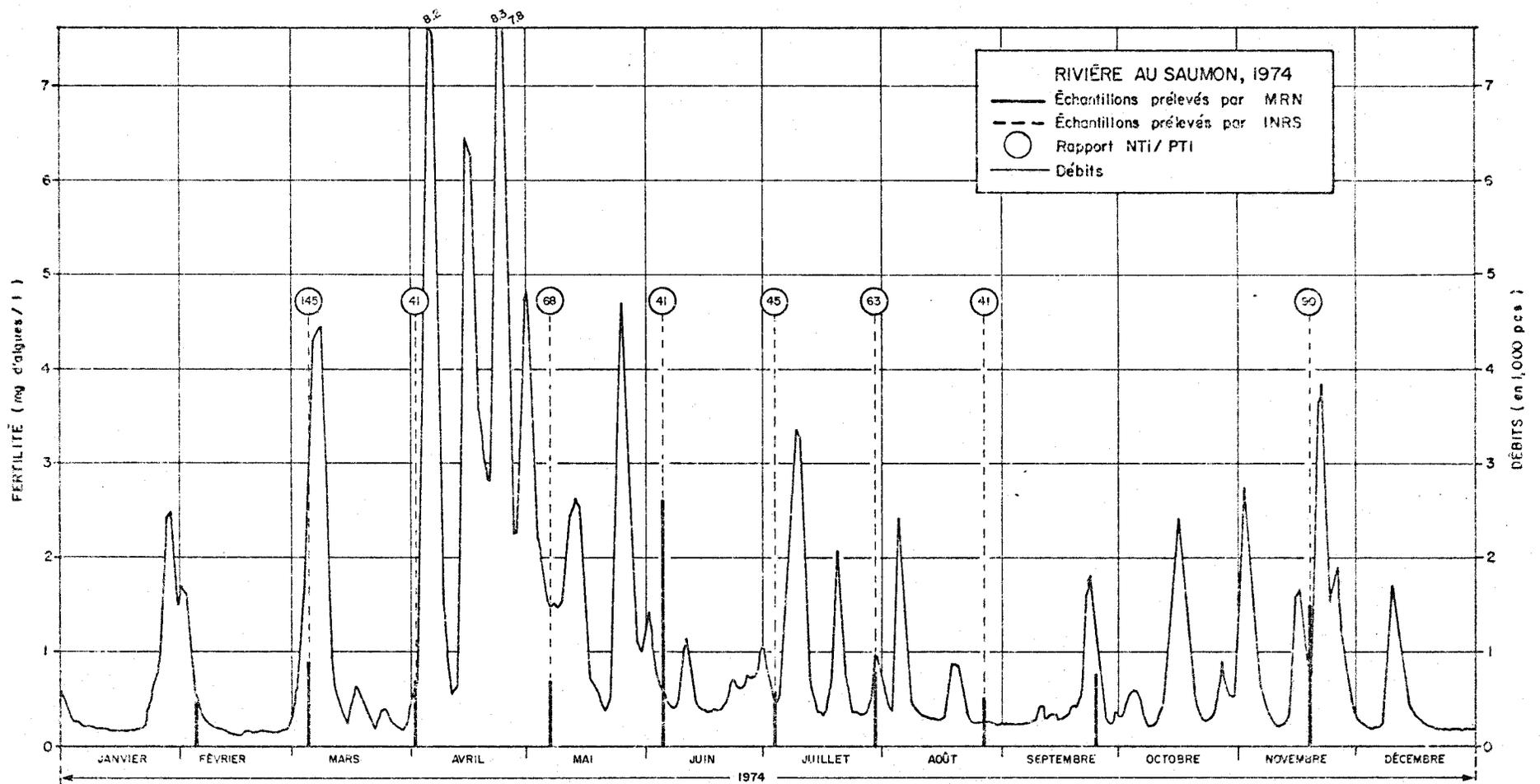


Fig. 3.2.7. Évolution des débits et des mesures du potentiel de fertilité : rivière au Saumon, 1974.

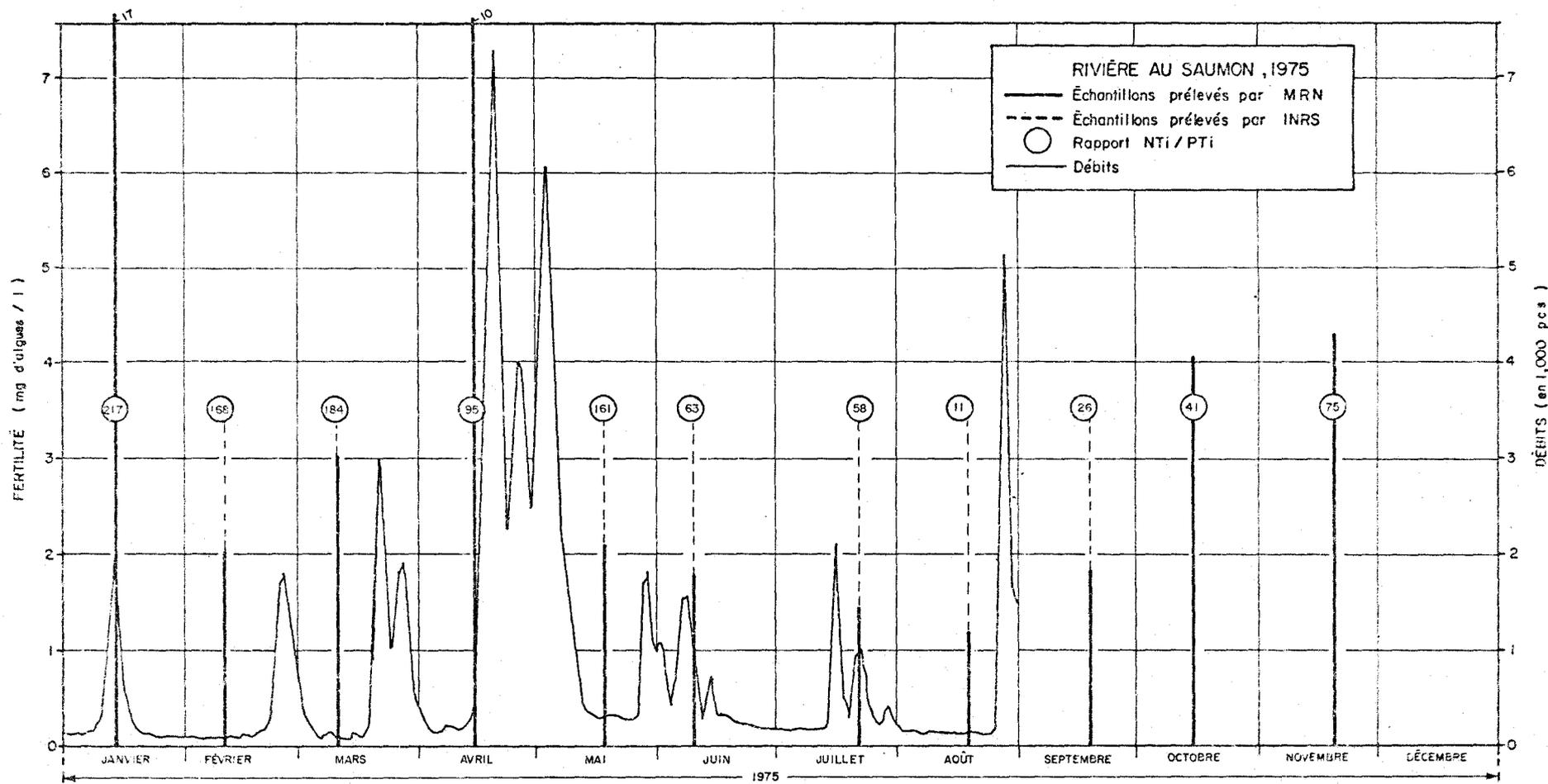


Fig. 3.2.8. Évolution des débits et des mesures du potentiel de fertilité : rivière au Saumon, 1975.

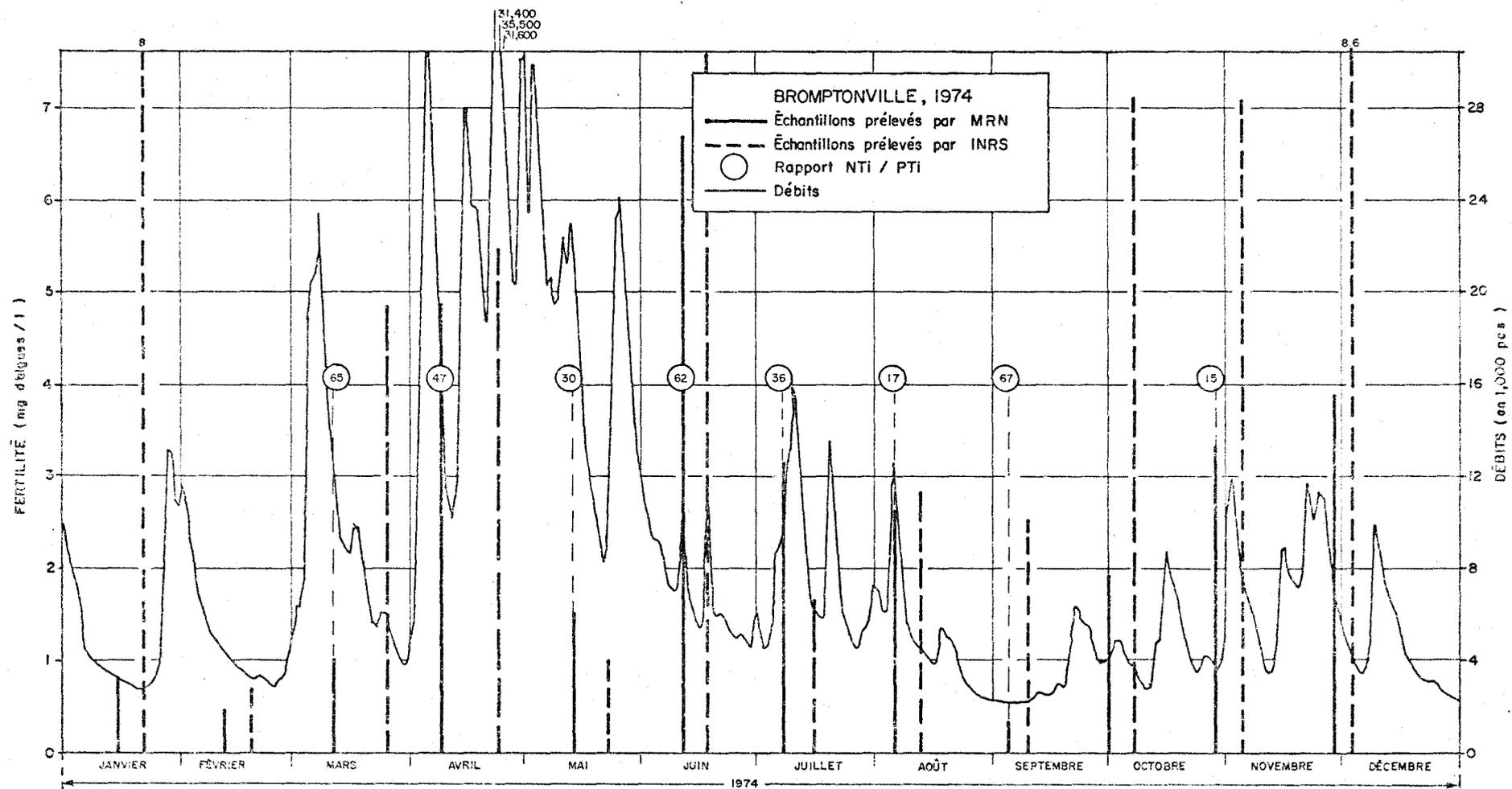


Fig. 3.2.9. Évolution des débits et des mesures du potentiel de fertilité, rivière Saint-François à Bromptonville, 1974.

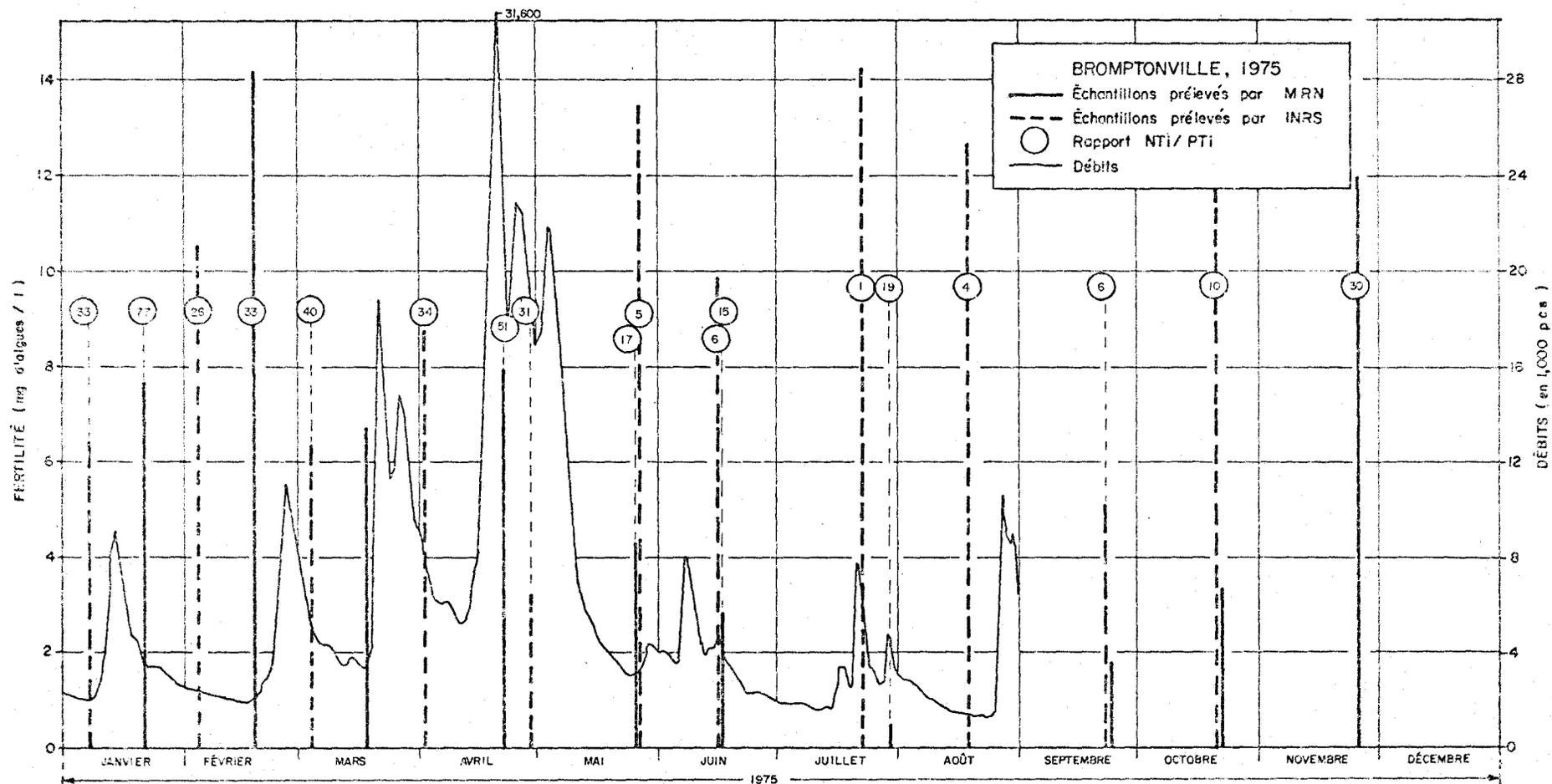


Fig. 3.2.10. Évolution des débits et des mesures du potentiel de fertilité : rivière Saint-François à Bromptonville, 1975.

# RIV. ST-FRANÇOIS

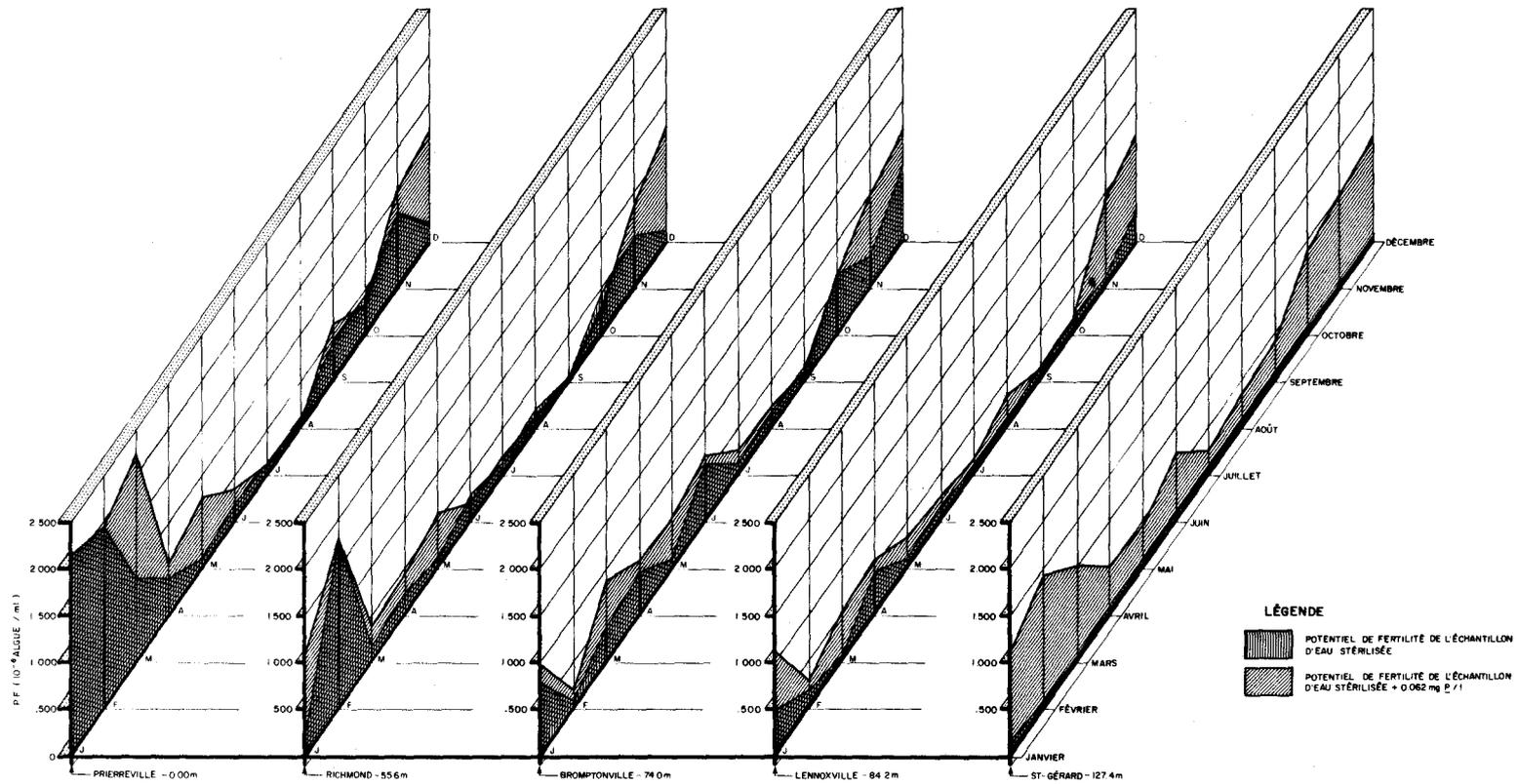


Fig 32.11.Évolution dans le temps et dans l'espace des mesures de simulation de croissance aux ajouts de phosphore : bassin de la rivière St-François, 1974 .

# RIV. ST-FRANÇOIS

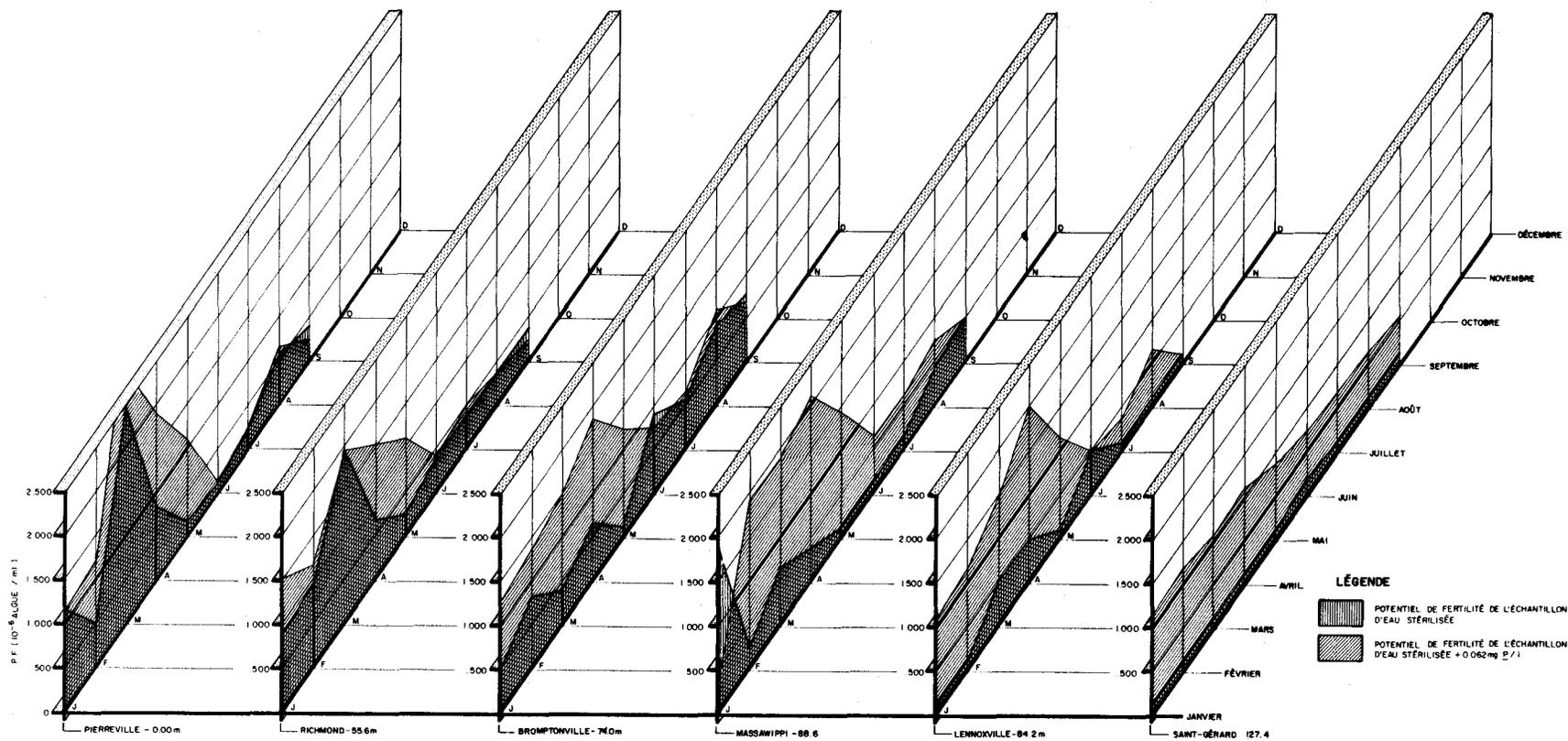


Fig.3.2.12. Évolution dans le temps et dans l'espace des mesures de simulation de croissance aux ajouts de phosphore : bassin de la rivière St-François, 1975.

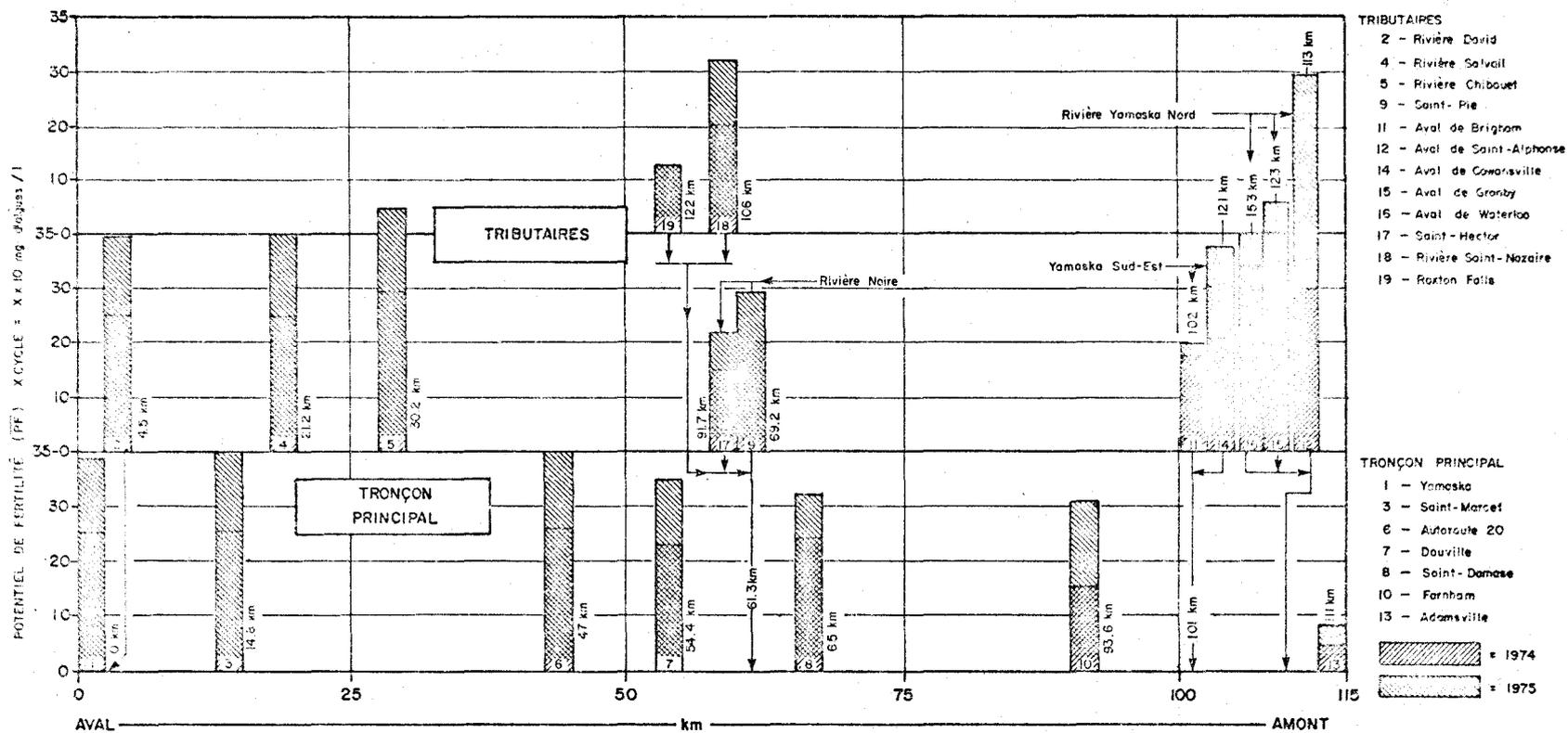


Fig. 3.2.13. Évolution longitudinale du potentiel de fertilité: bassin de la rivière Yamaska, 1974-1975.

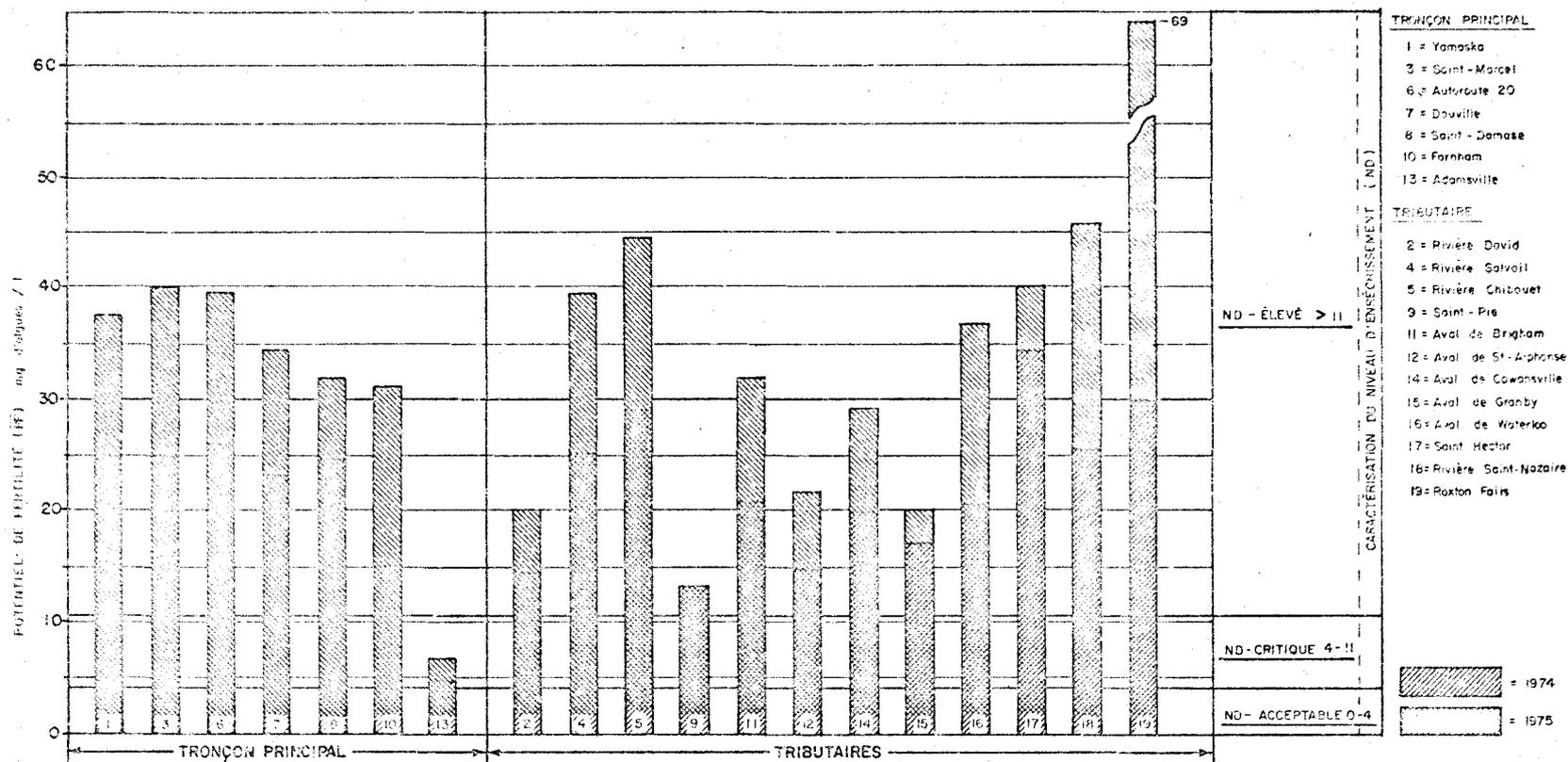


Fig. 3.2.14. Caractérisation du niveau d'enrichissement des eaux en substances nutritives : rivière Yamaska , 1974 - 1975 .

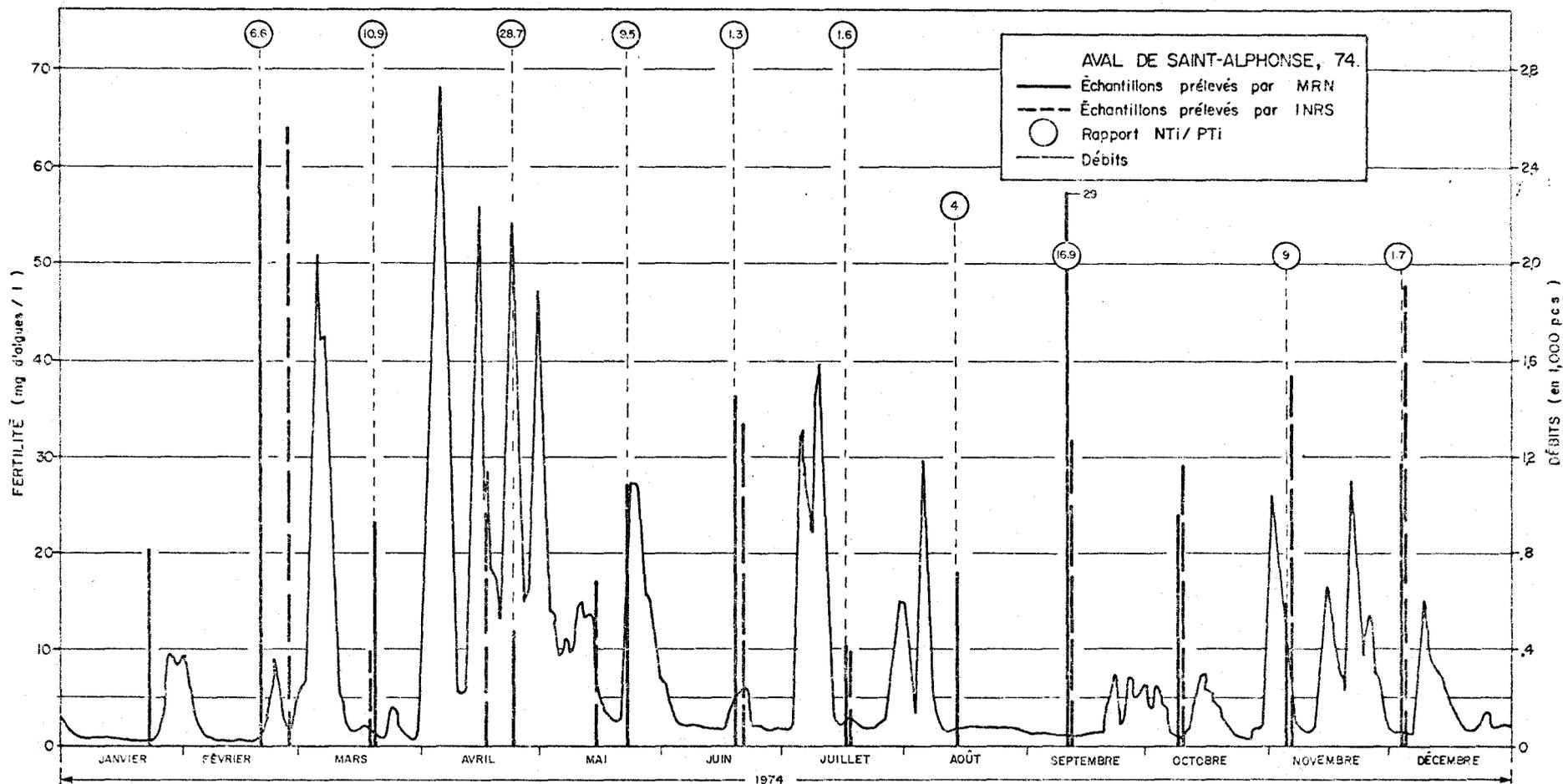


Fig. 3.2.15. Évolution des débits et des mesures du potentiel de fertilité: rivière Yamaska-Nord en aval de Saint-Alphonse, 1974.

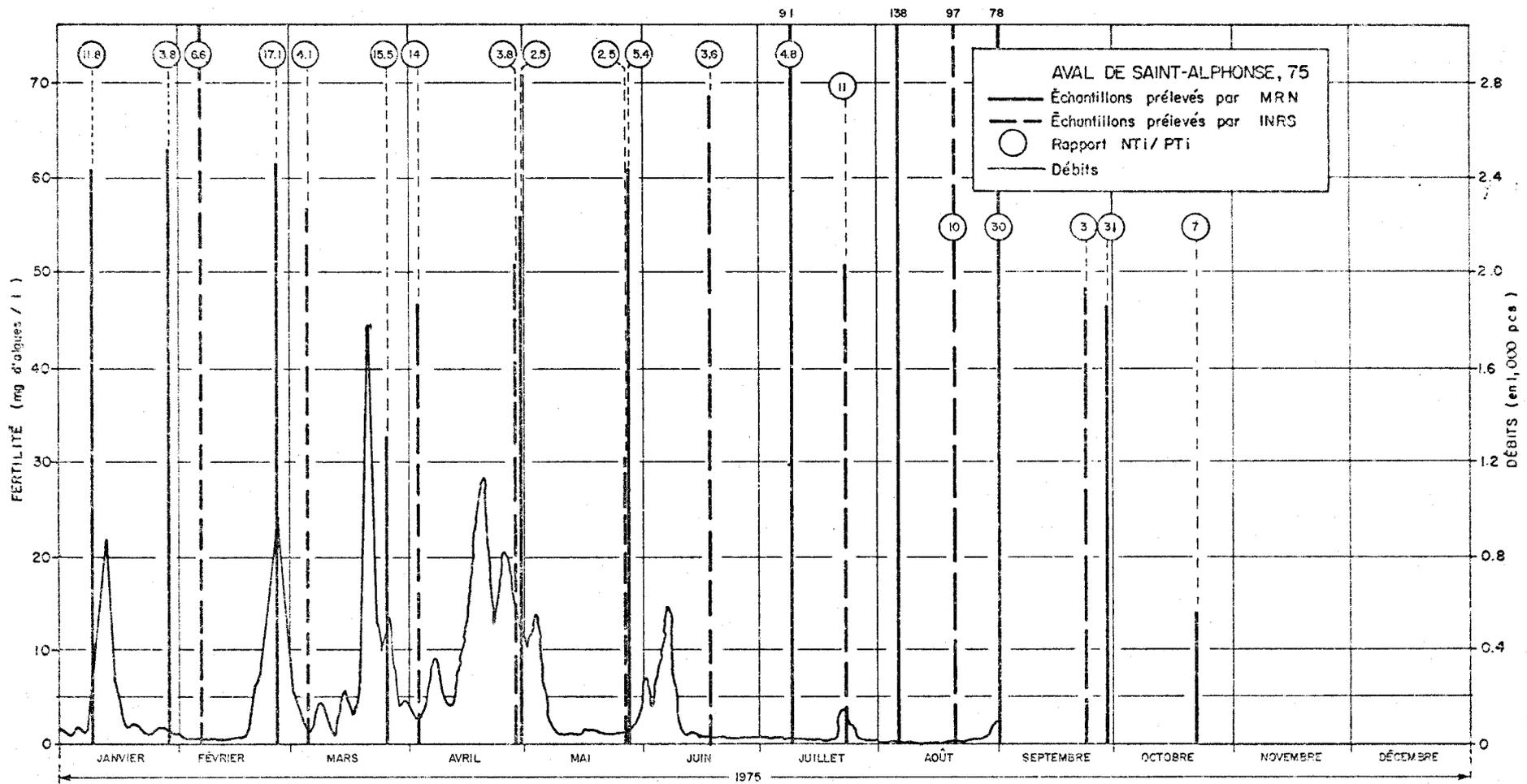


Fig. 3.2.16. Évolution des débits et des mesures du potentiel de fertilité : rivière Yamaska-Nord en aval de Saint-Alphonse, 1975.

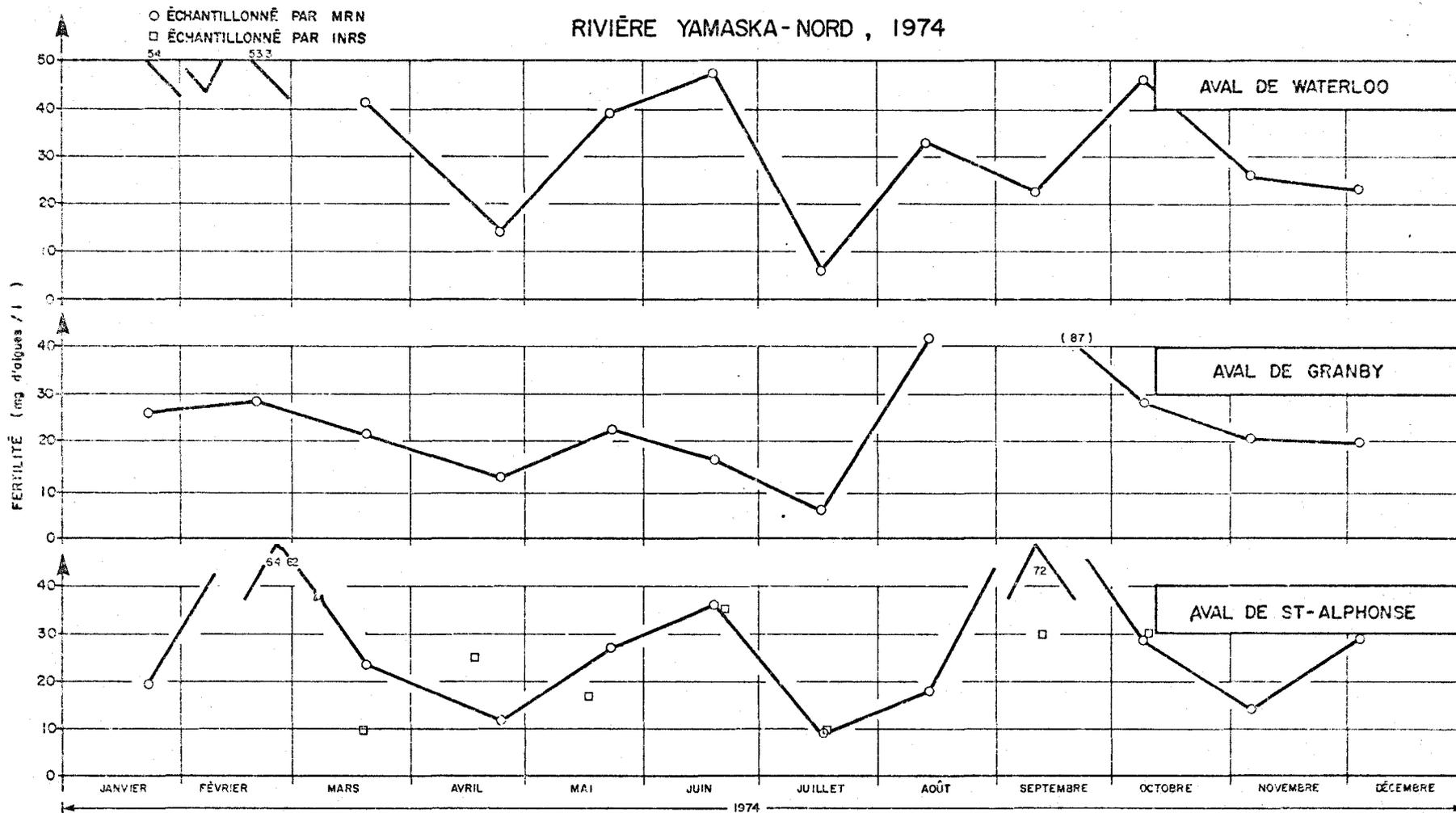


Fig. 3.2.17. Évolution dans le temps du potentiel de fertilité : rivière Yamaska-Nord, 1974

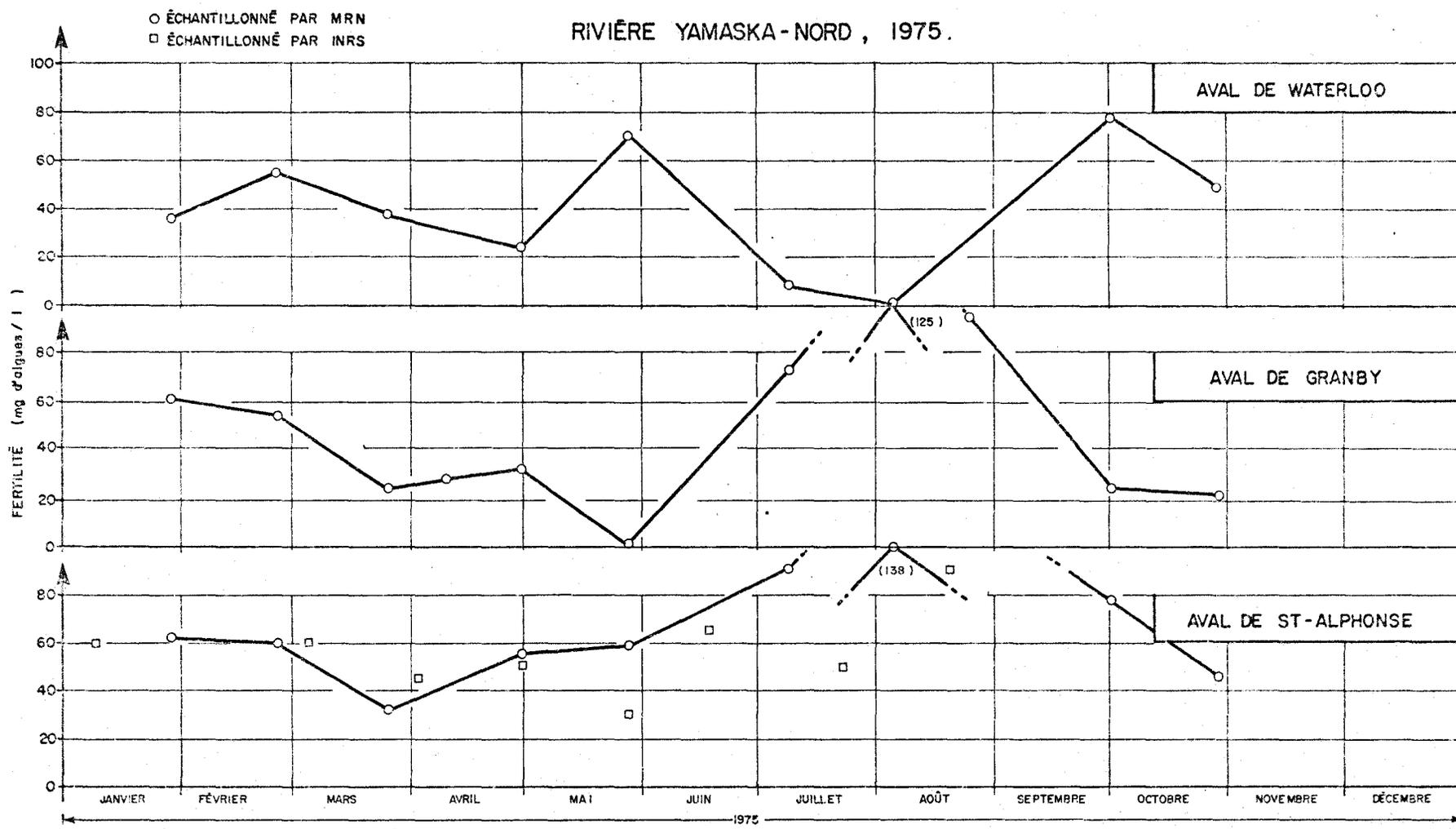


Fig. 3.2. 18. Évolution dans le temps du potentiel de fertilité : rivière Yamaska-Nord, 1975.

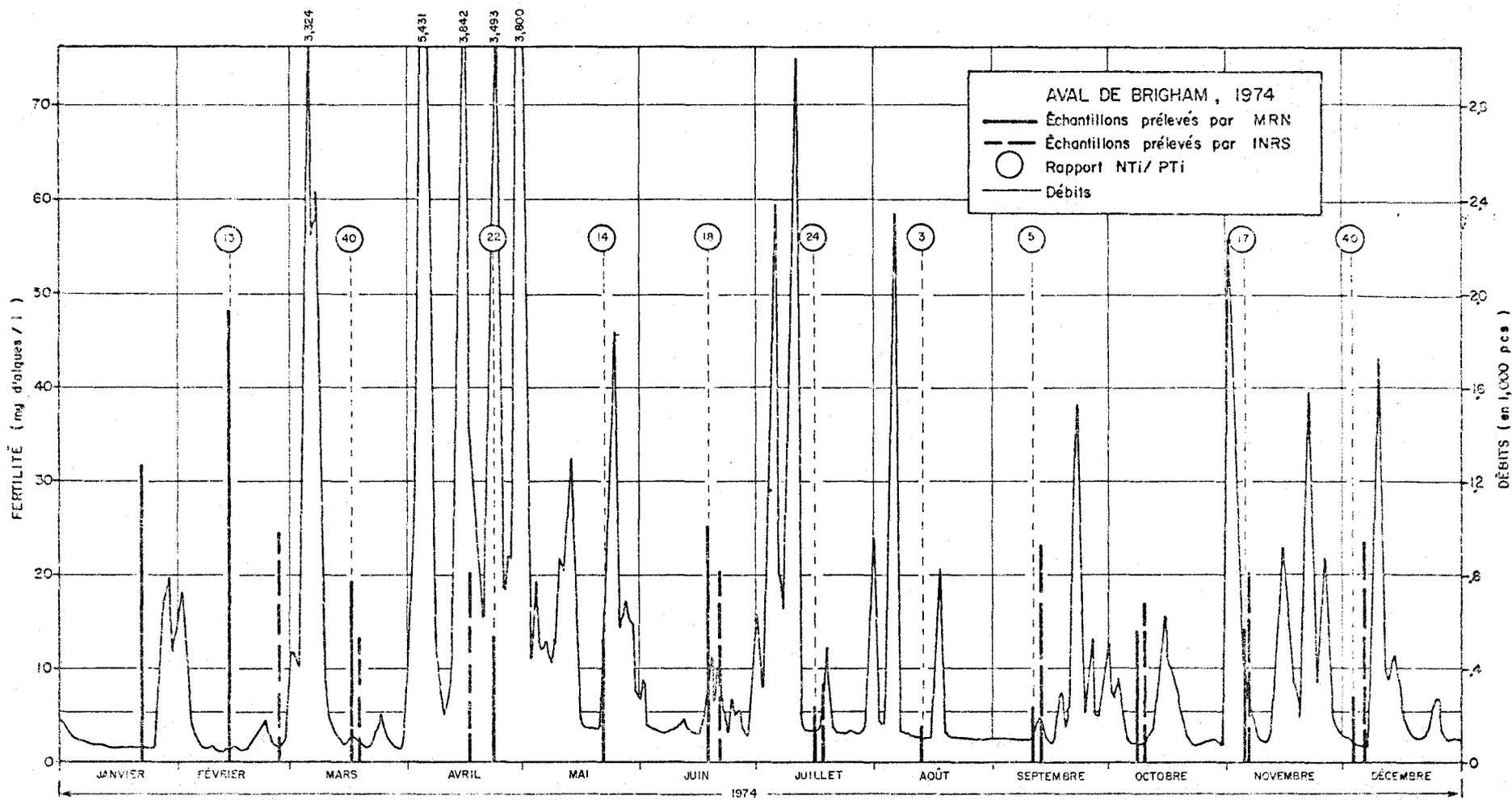


Fig. 3.2.19. Évolution des débits et des mesures du potentiel de fertilité : rivière Yamaska Sud-Est en aval de Brigham, 1974.

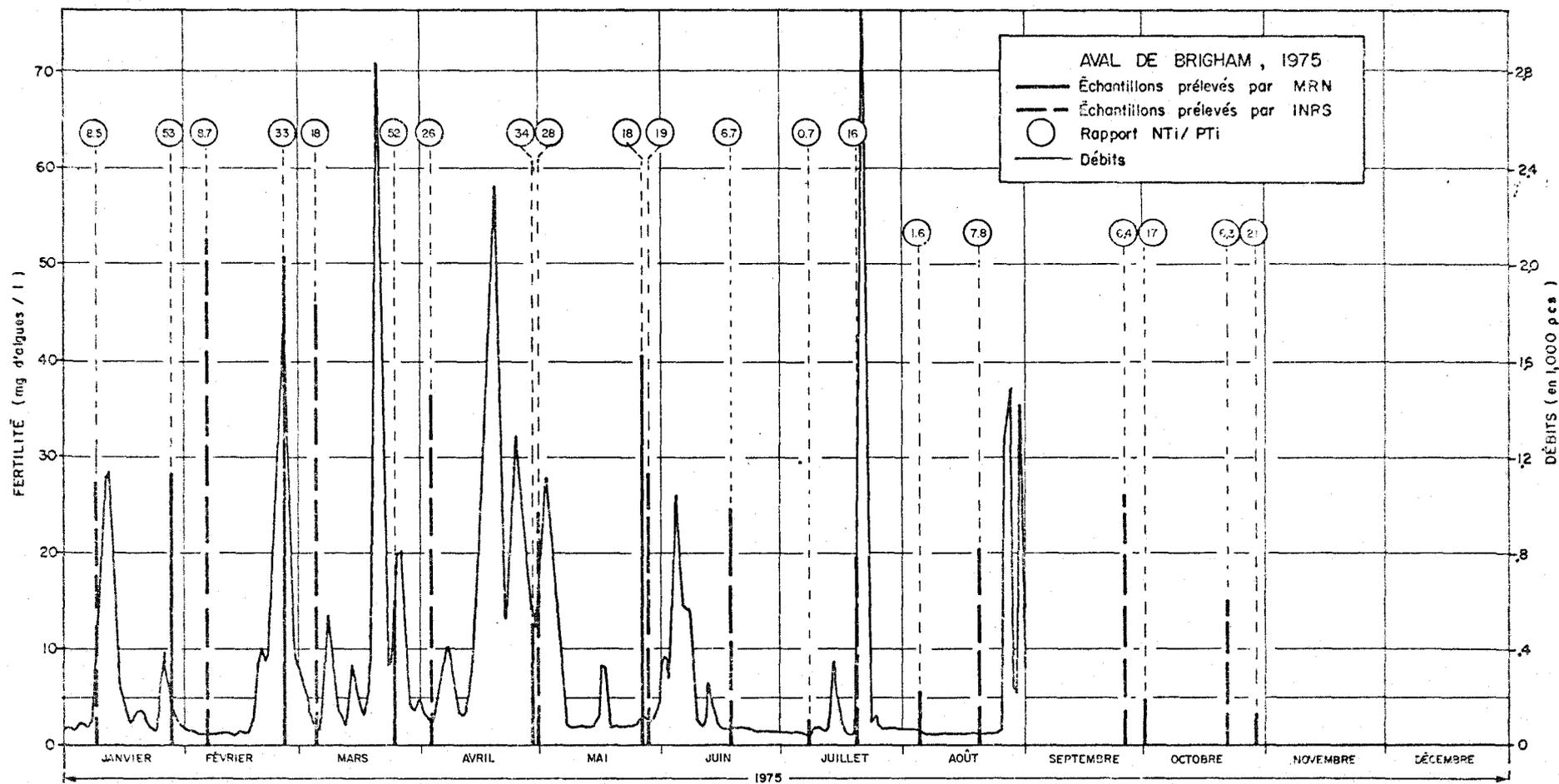


Fig. 3. 2.20. Évolution des débits et des mesures du potentiel de fertilité : rivière Yamaska en aval de Brigham, 1975.

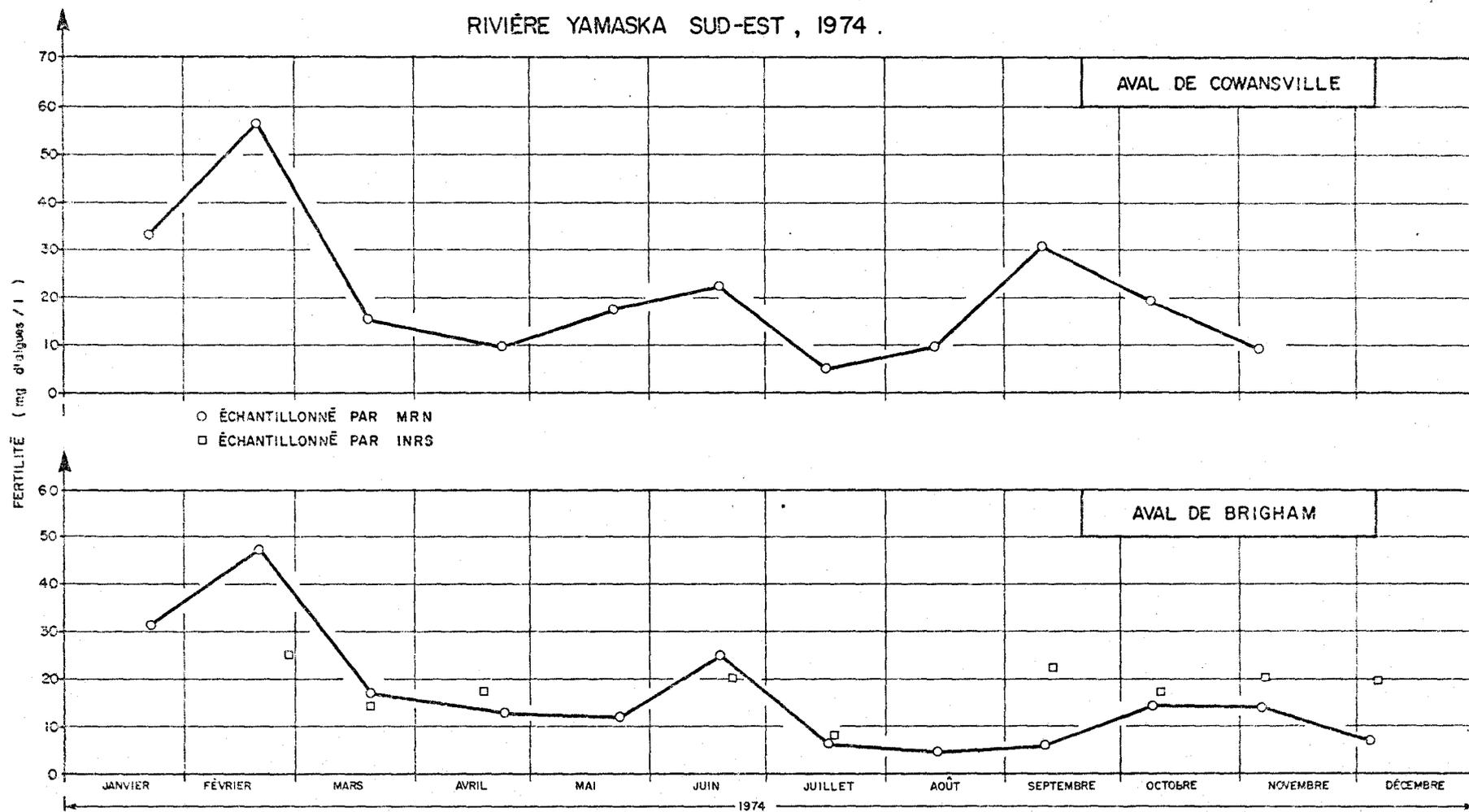


Fig. 3.2.21. Évolution dans le temps du potentiel de fertilité : rivière Yamaska Sud-Est, 1974.

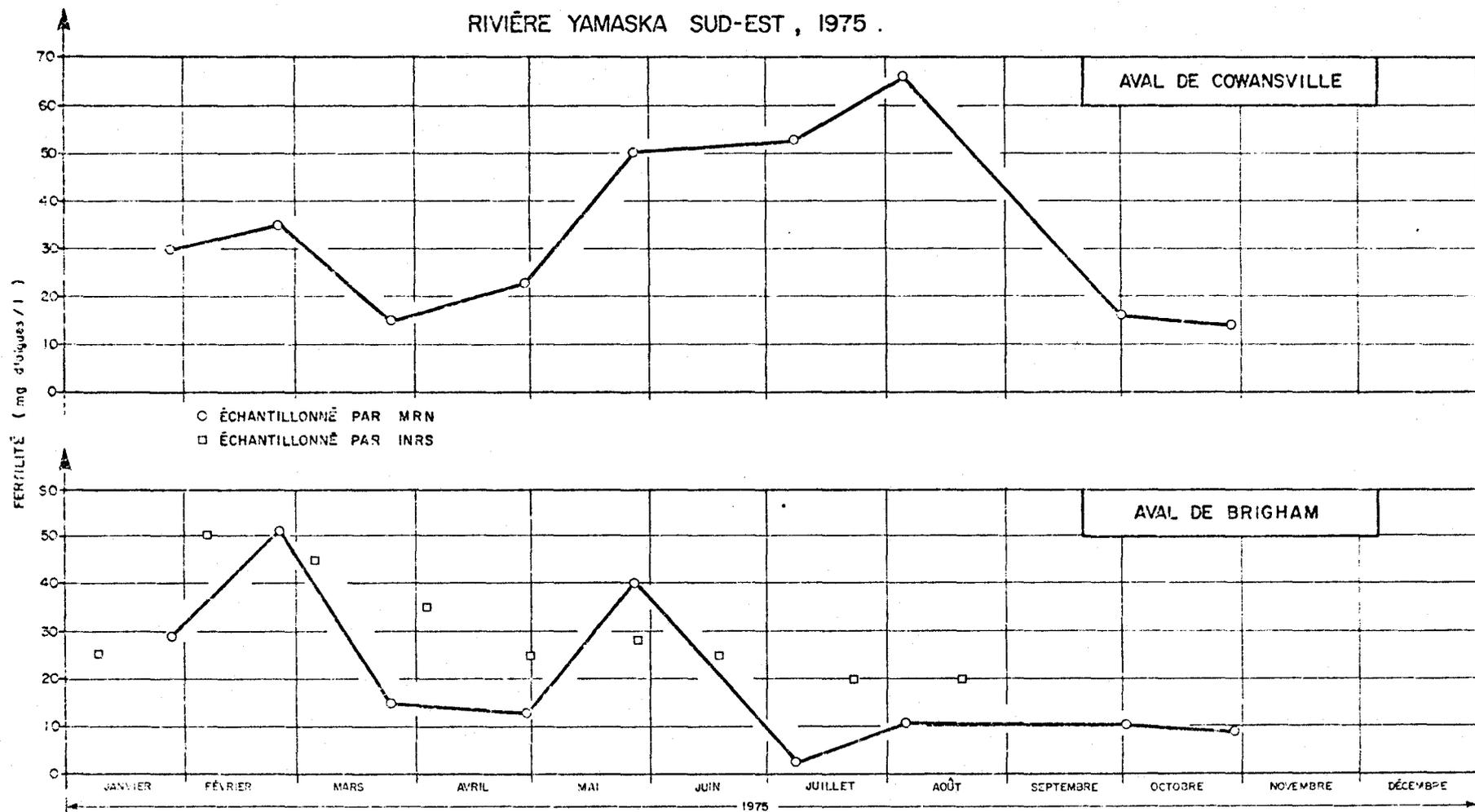


Fig. 3.2.22. Évolution dans le temps du potentiel de fertilité : rivière Yamaska Sud-Est, 1975

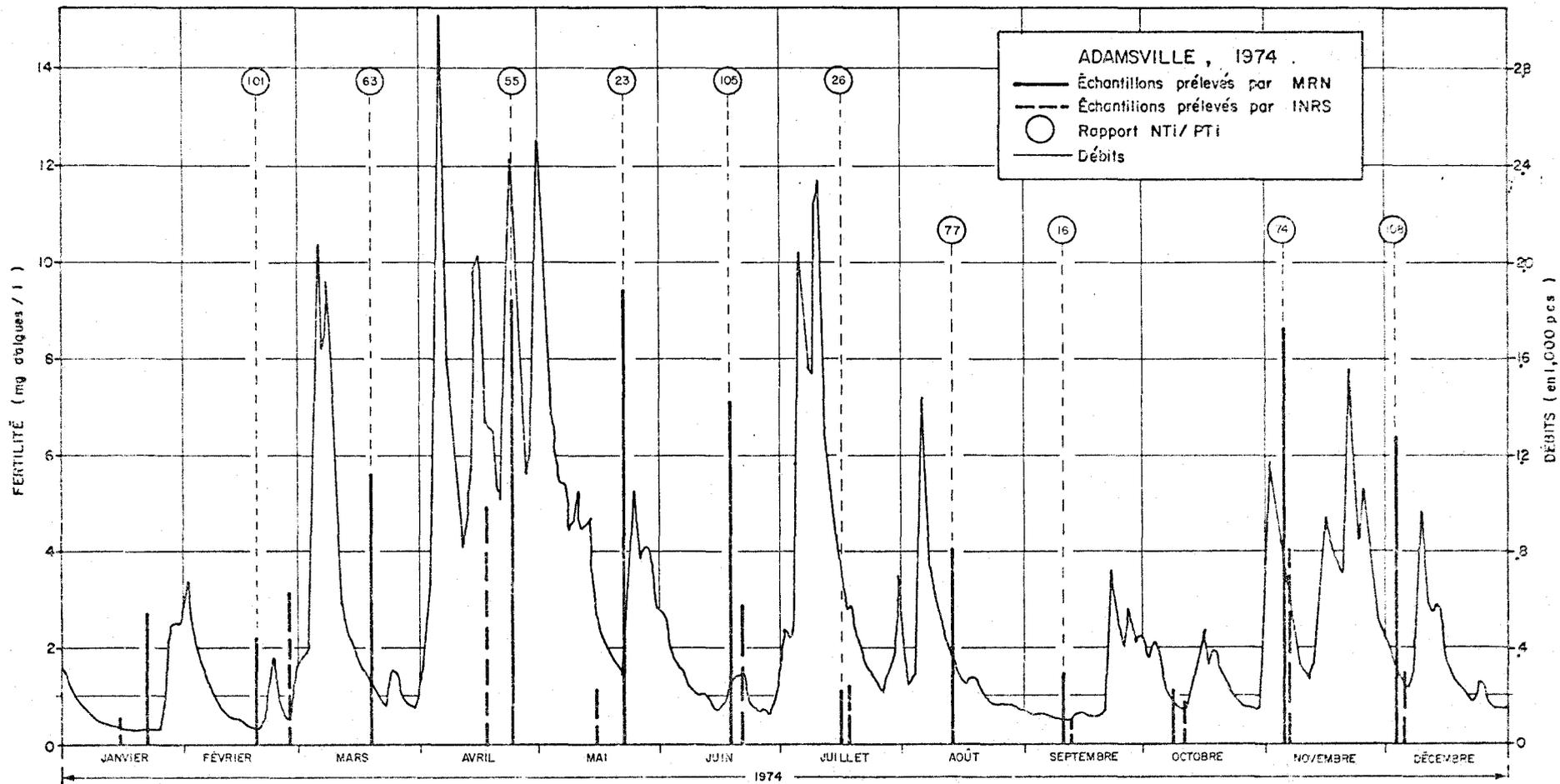


Fig. 3.2 23. Évolution des débits et des mesures du potentiel de fertilité : rivière Yamaska à Adamsville, 1974.

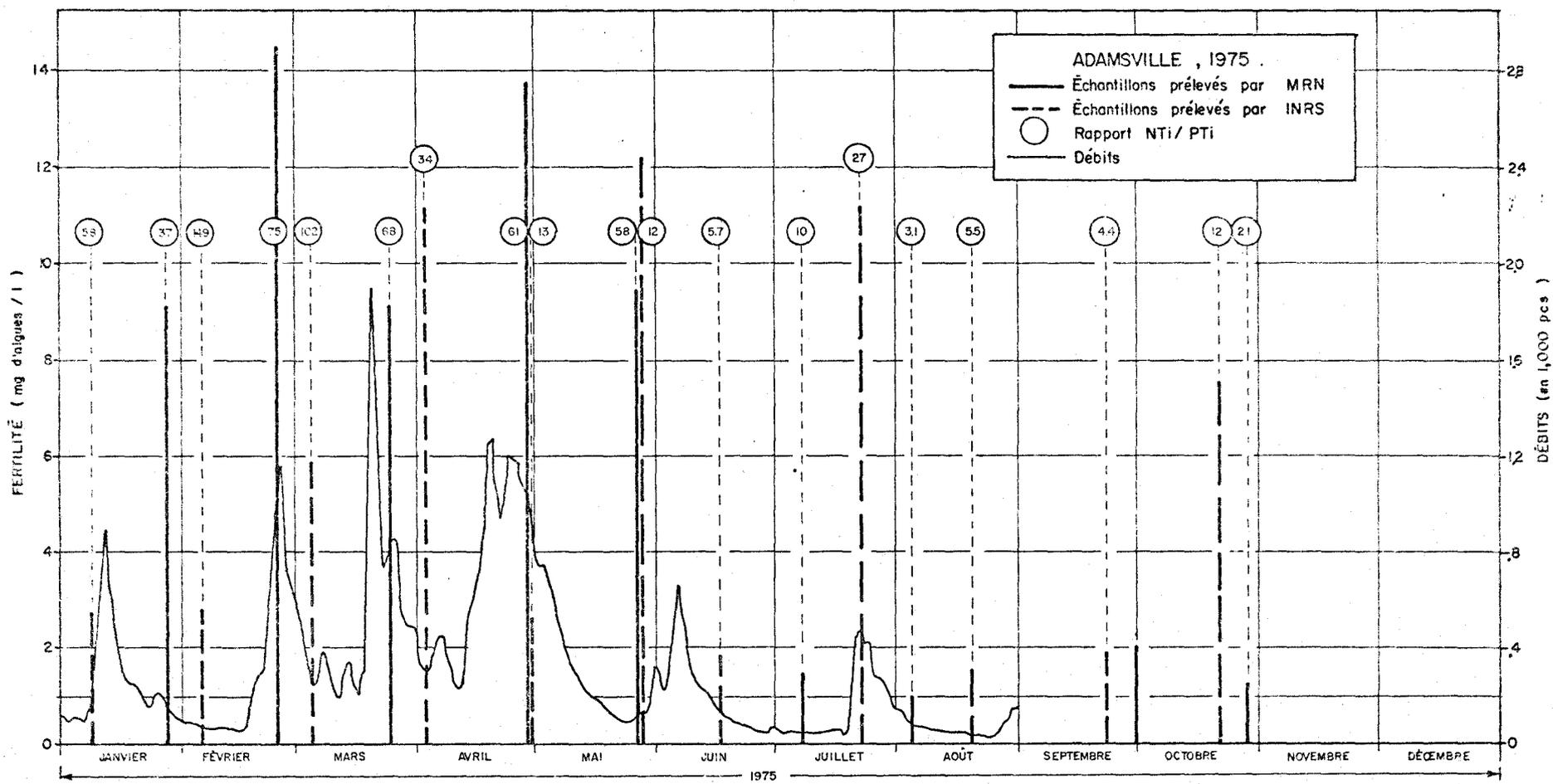


Fig. 3.2.24. Évolution des débits et des mesures du potentiel de fertilité: rivière Yamaska à Adamsville, 1975.

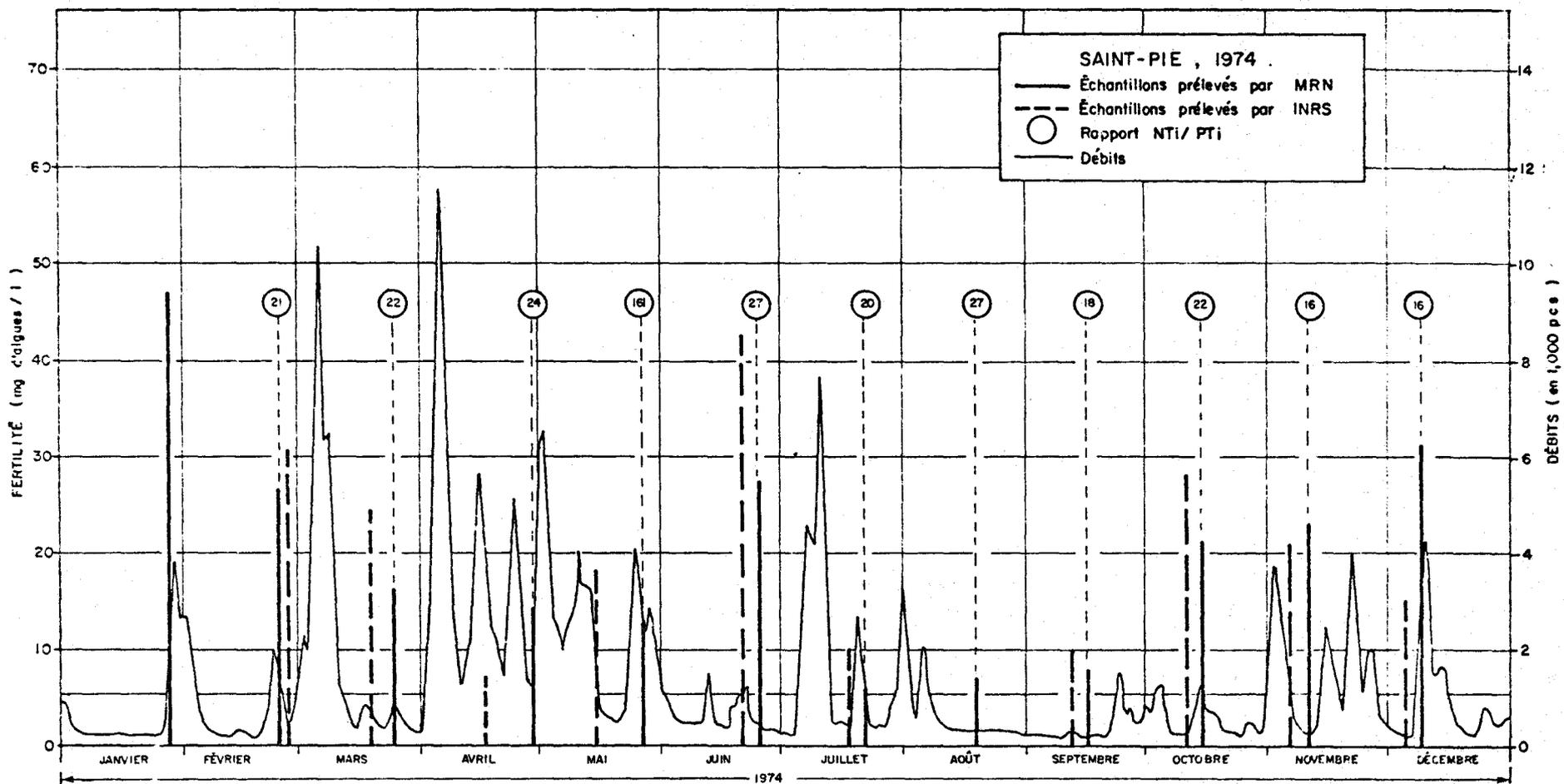


Fig. 3.2.25. Évolution des débits et des mesures du potentiel de fertilité : rivière Noire à Saint-Pie, 1974 .

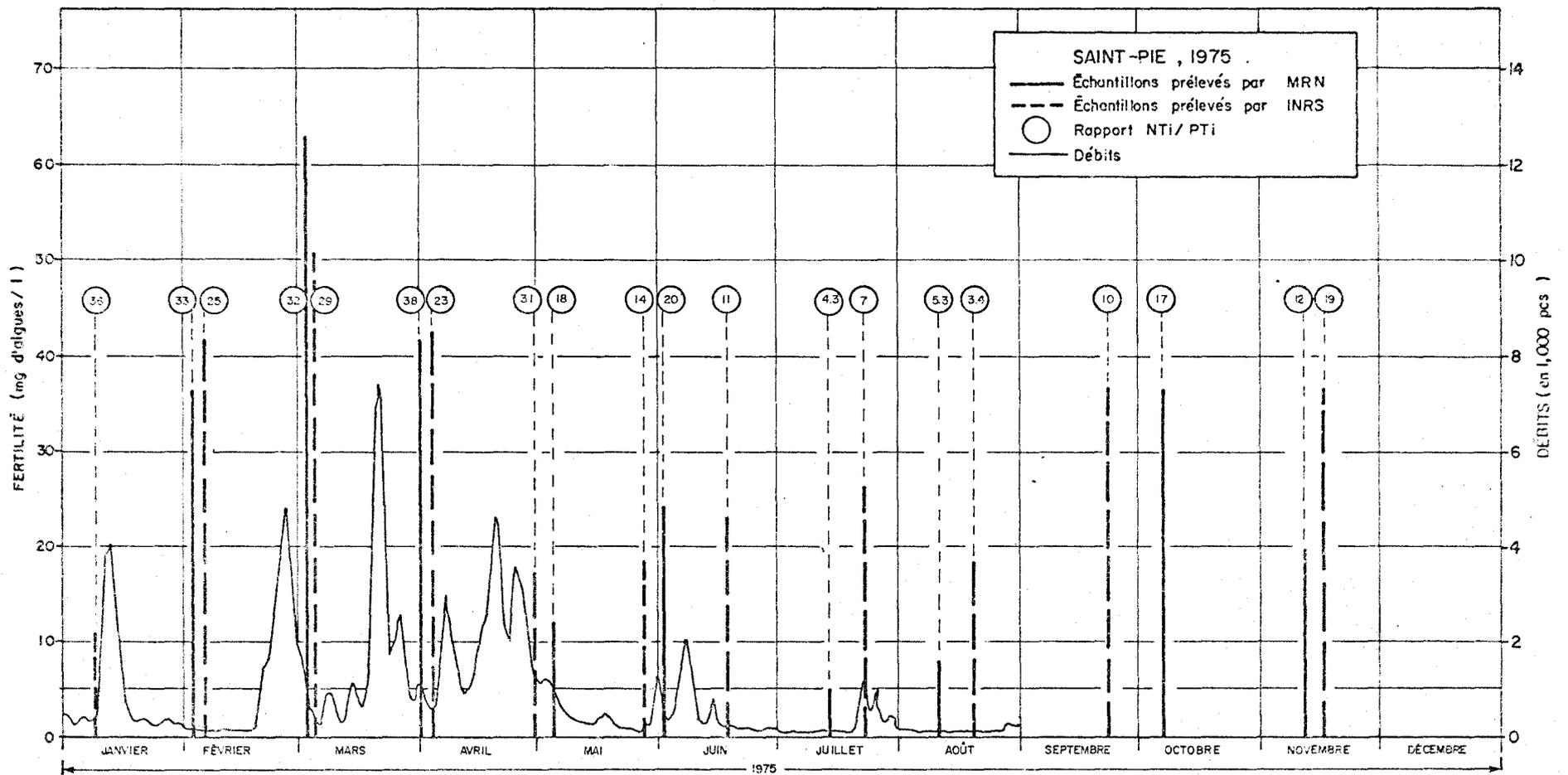


Fig. 3.2.26. Évolution des débits et des mesures du potentiel de fertilité: rivière Noire à Saint-Pie, 1975.

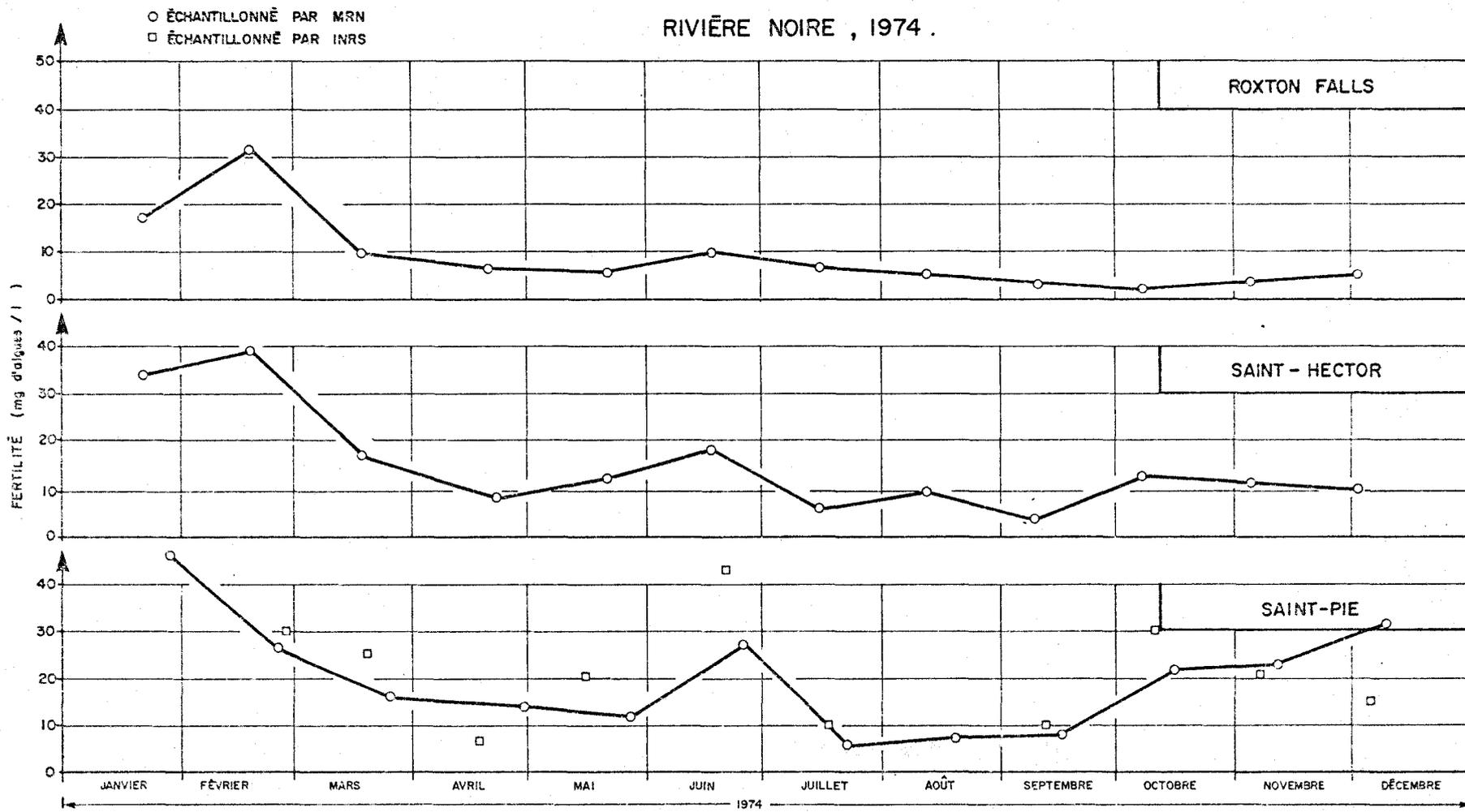


Fig. 3.2.27. Évolution dans le temps du potentiel de fertilité : rivière Noire , 1974 .

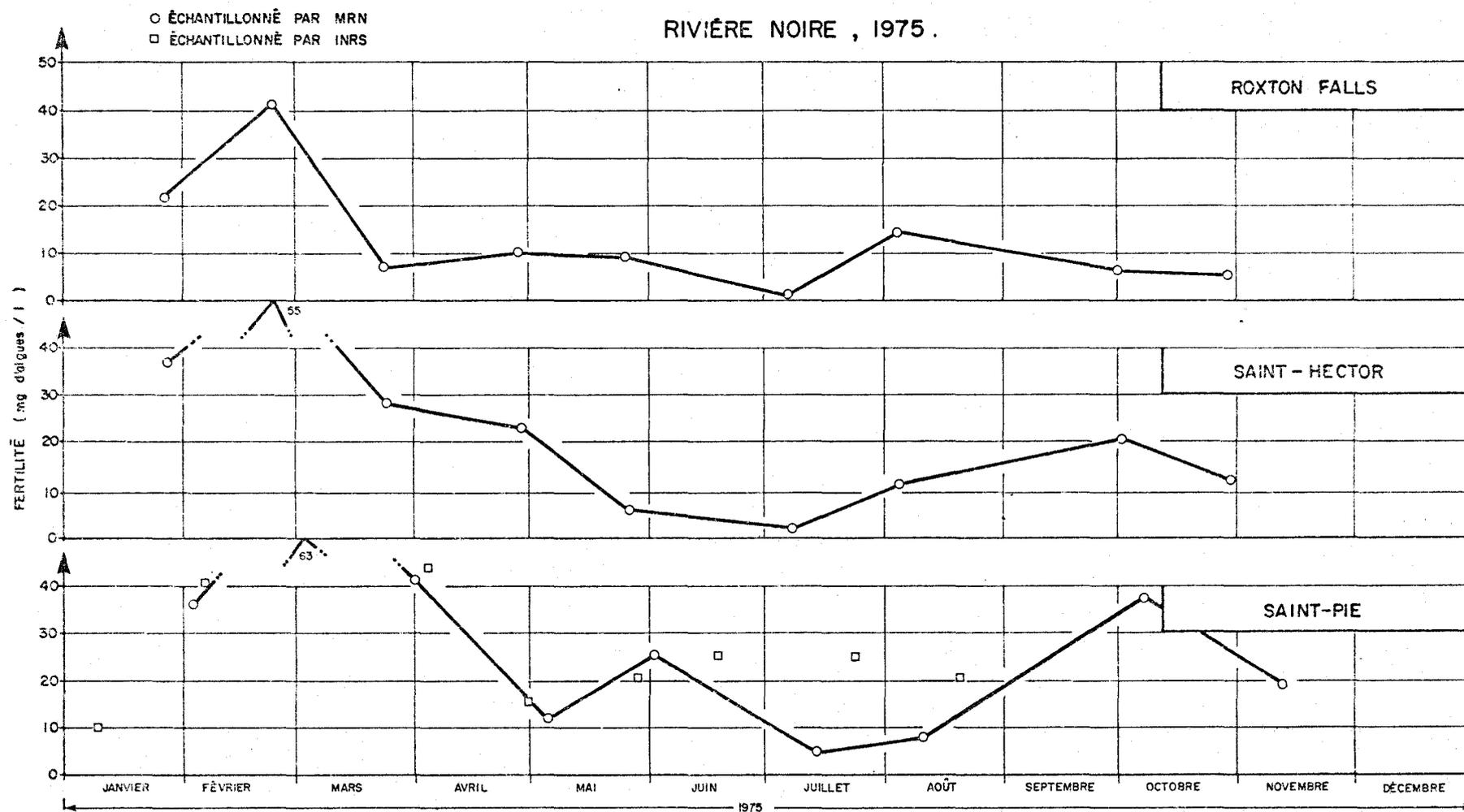


Fig. 3.2.28. Évolution dans le temps du potentiel de fertilité : rivière Noire , 1975 .

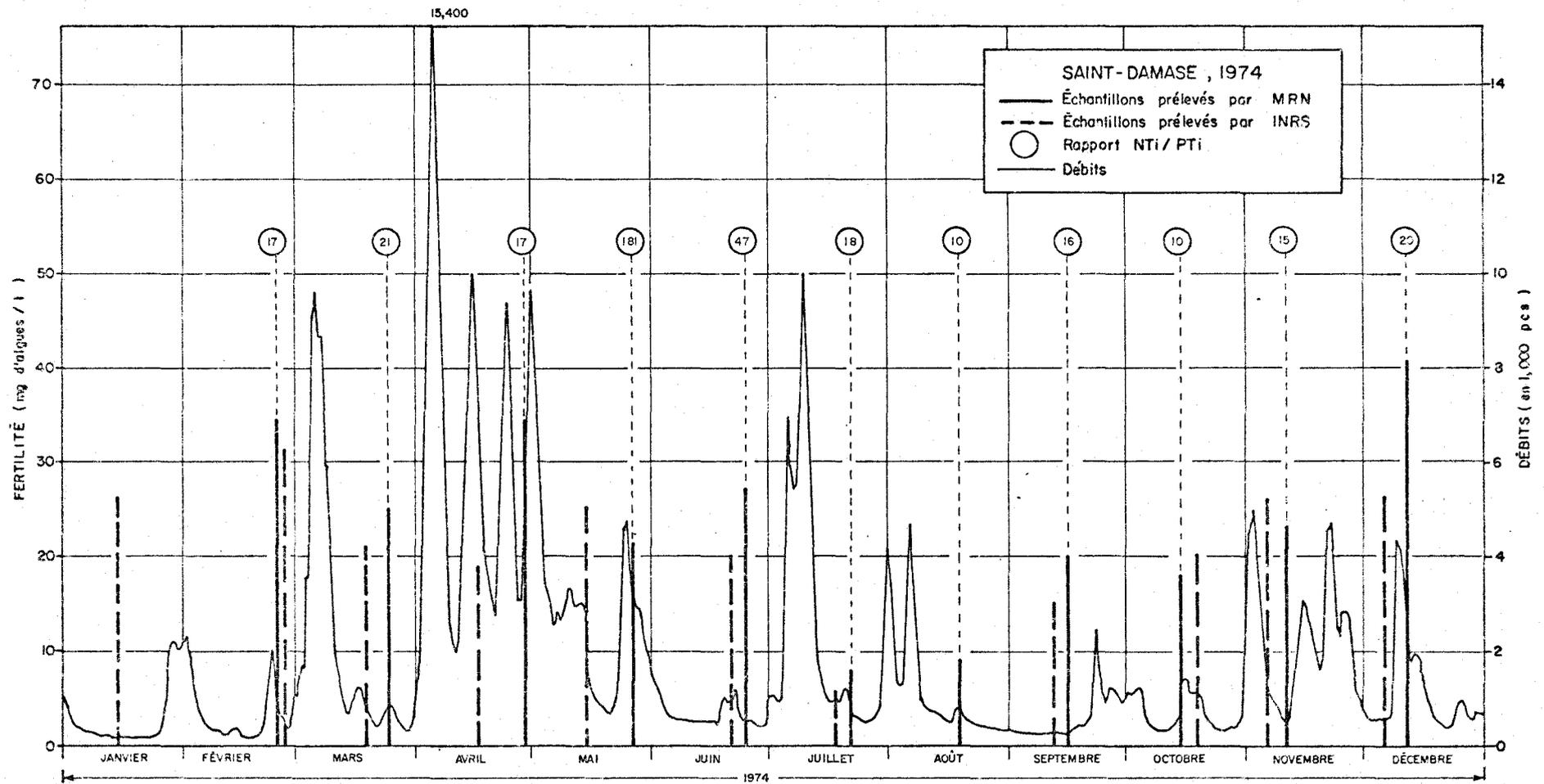


Fig. 3.2.29. Évolution des débits et des mesures du potentiel de fertilité : rivière Yamaska à Saint-Damase, 1974 .

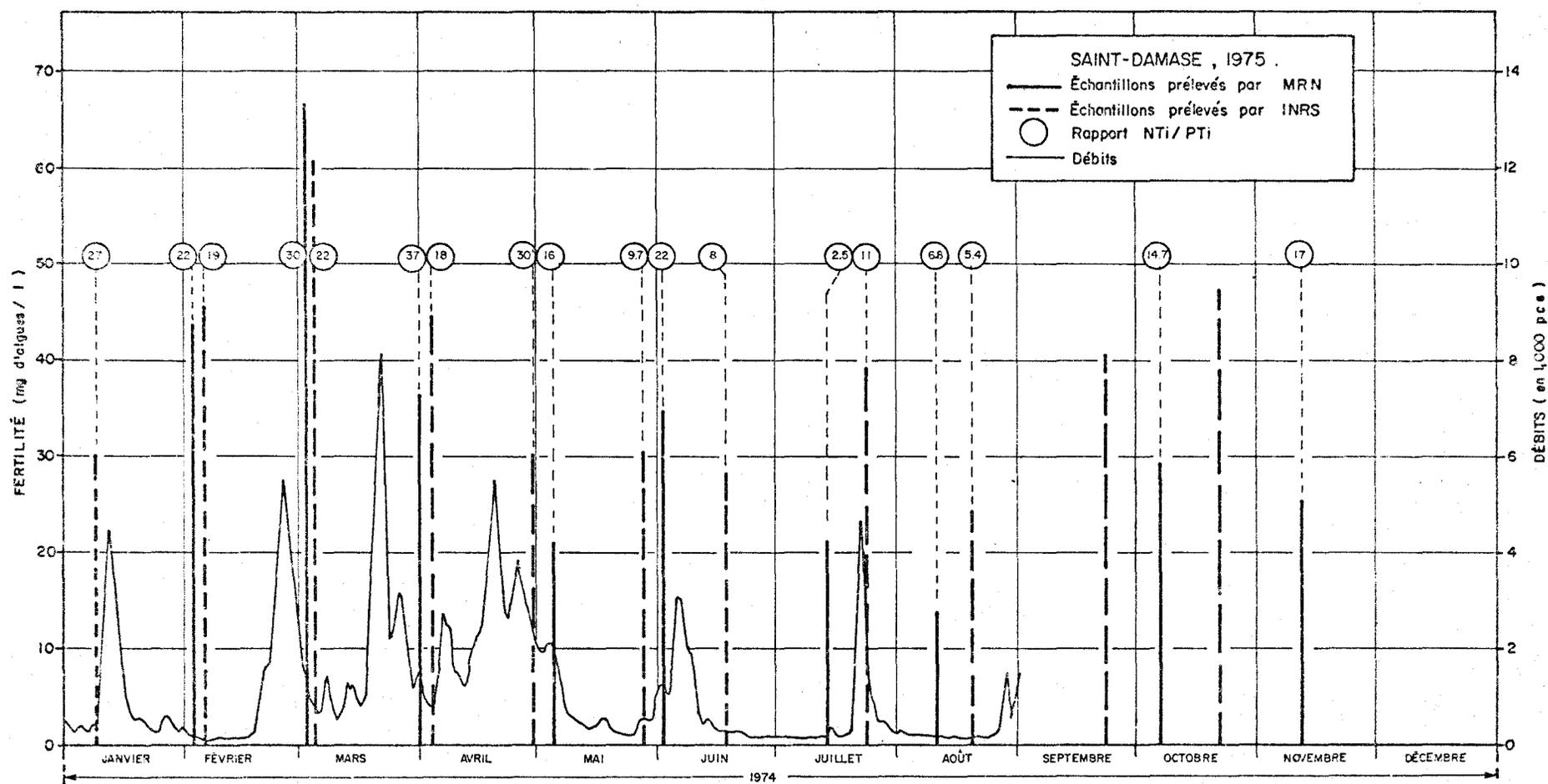


Fig. 3.2.30. Évolution des débits et des mesures du potentiel de fertilité : rivière Yamaska à Saint-Damase, 1975.

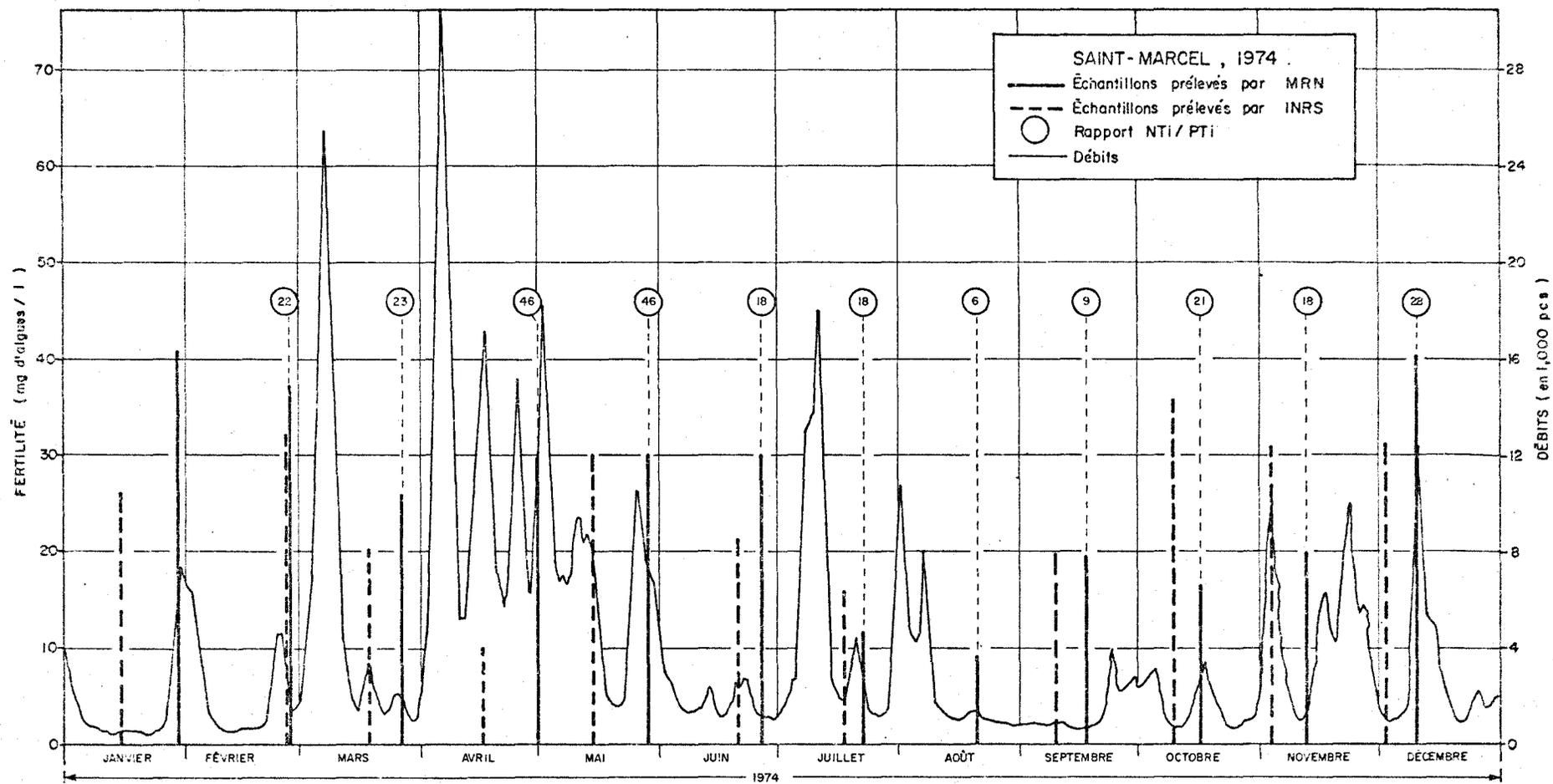


Fig. 3.2.31 . Évolution des débits et des mesures du potentiel de fertilité : rivière Yamaska à Saint-Marcel, 1974 .

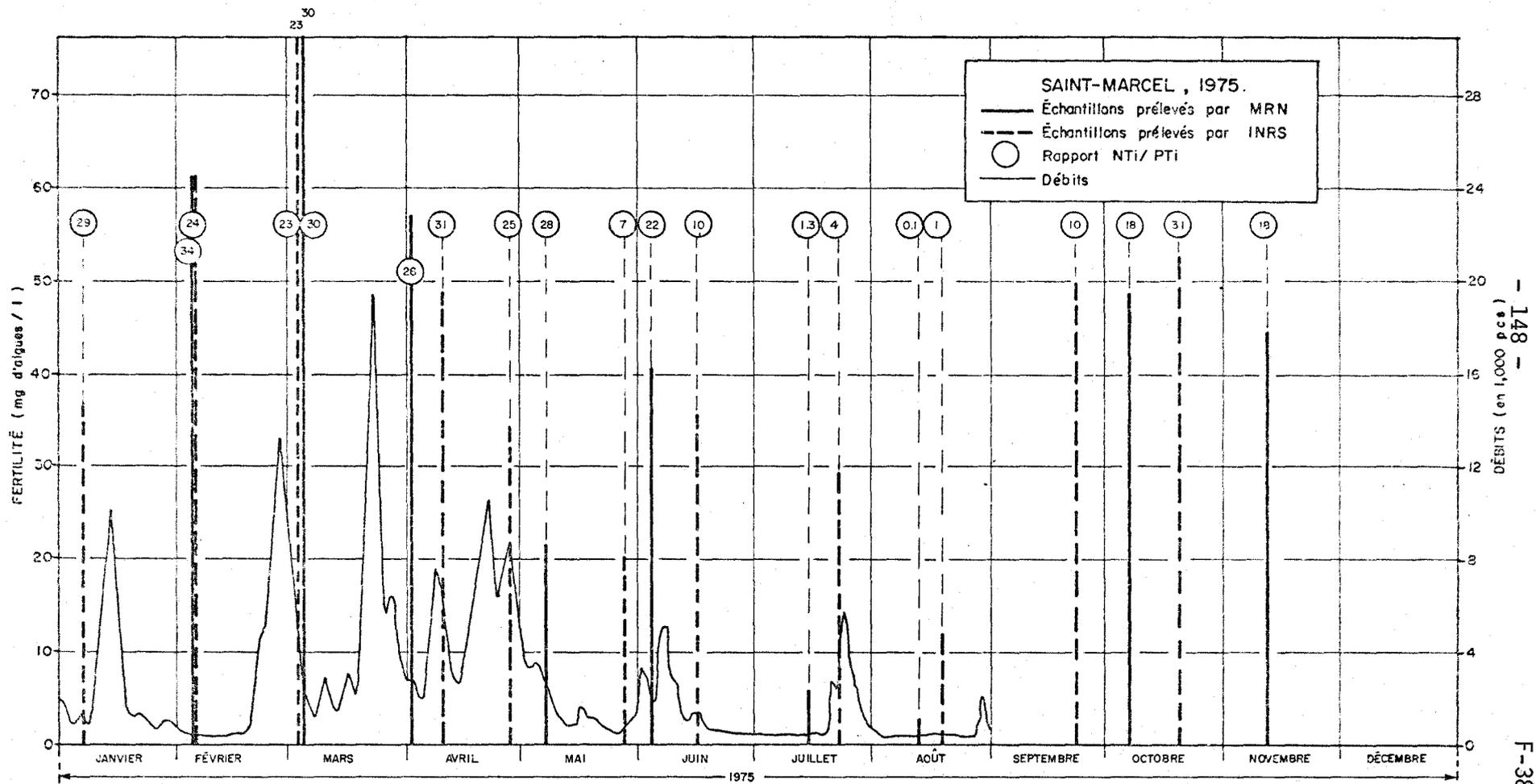


Fig. 3.2.32. Évolution des débits et des mesures du potentiel de fertilité: rivière Yamaska à Saint-Marcel, 1975.

# RIV. YAMASKA

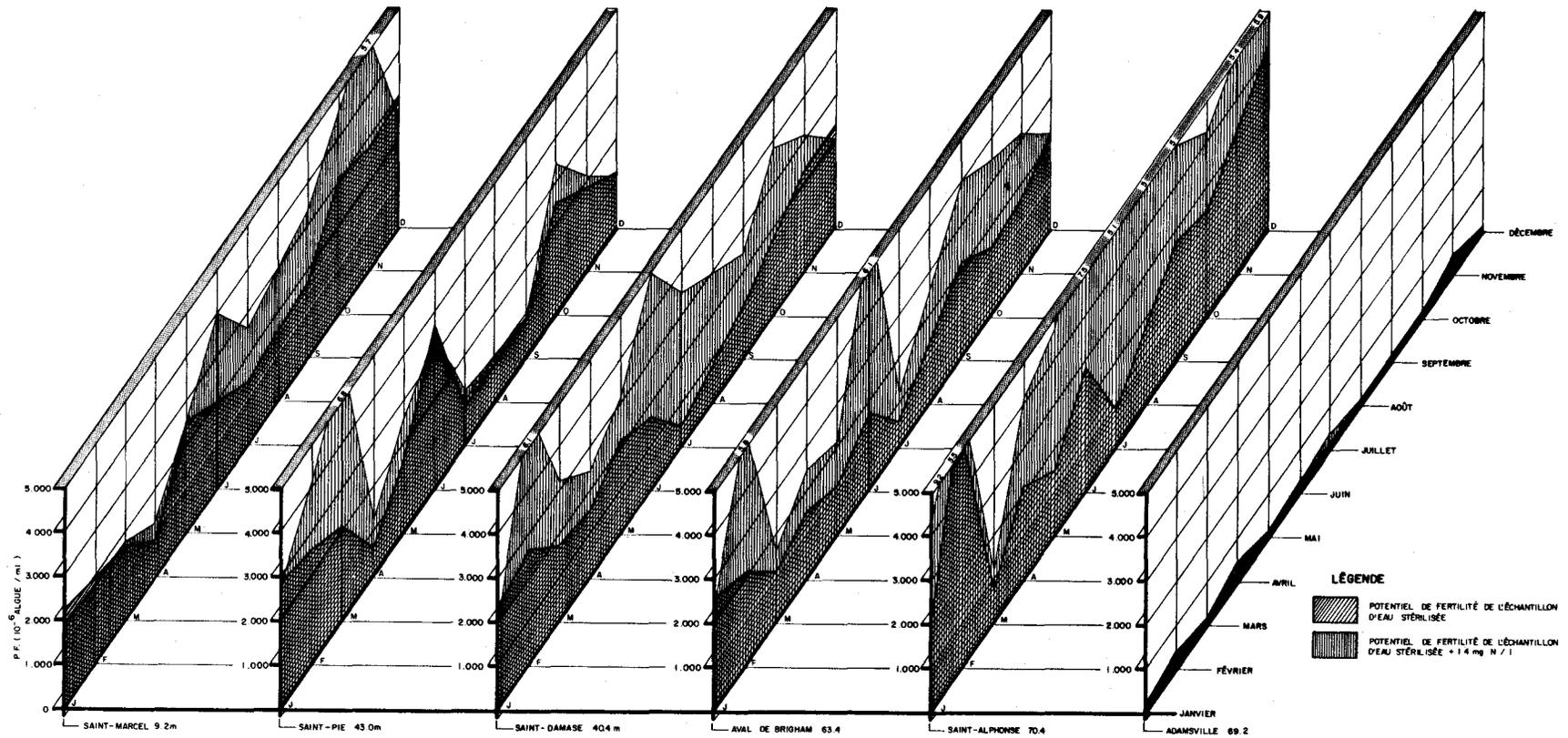


Fig. 32.33. Évolution dans le temps et dans l'espace des mesures de simulation de croissance aux ajouts d'azote : bassin de la rivière Yamaska, 1974.

# RIV. YAMASKA

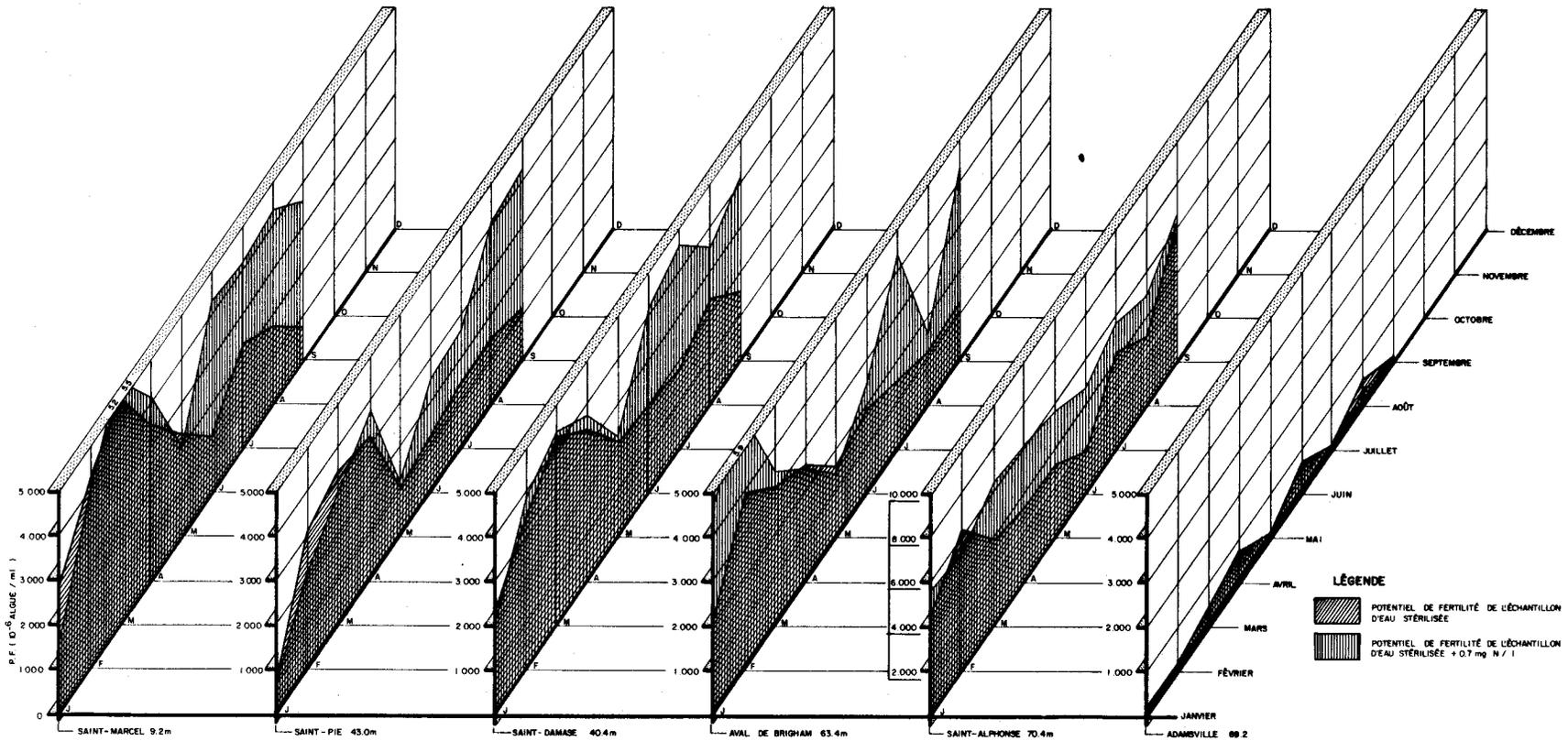


Fig. 3.2.34. Évolution dans le temps et dans l'espace des mesures de simulation de croissance aux ajouts d'azote : bassin de la rivière Yamaska, 1975.

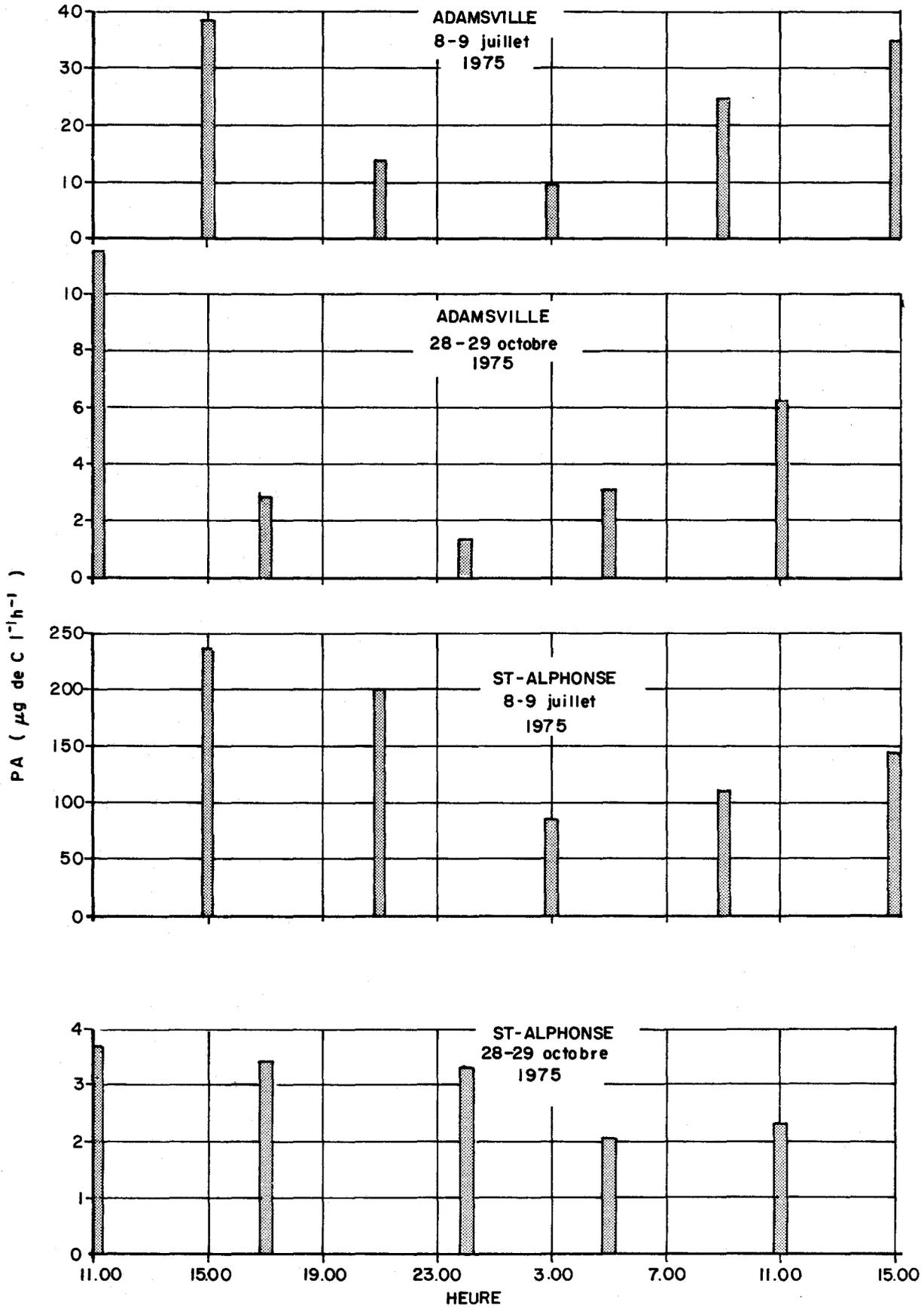


Fig. 3.3.1. Évolution diurne du potentiel autotrophe aux stations d'Adamsville et de St- Alphonse.

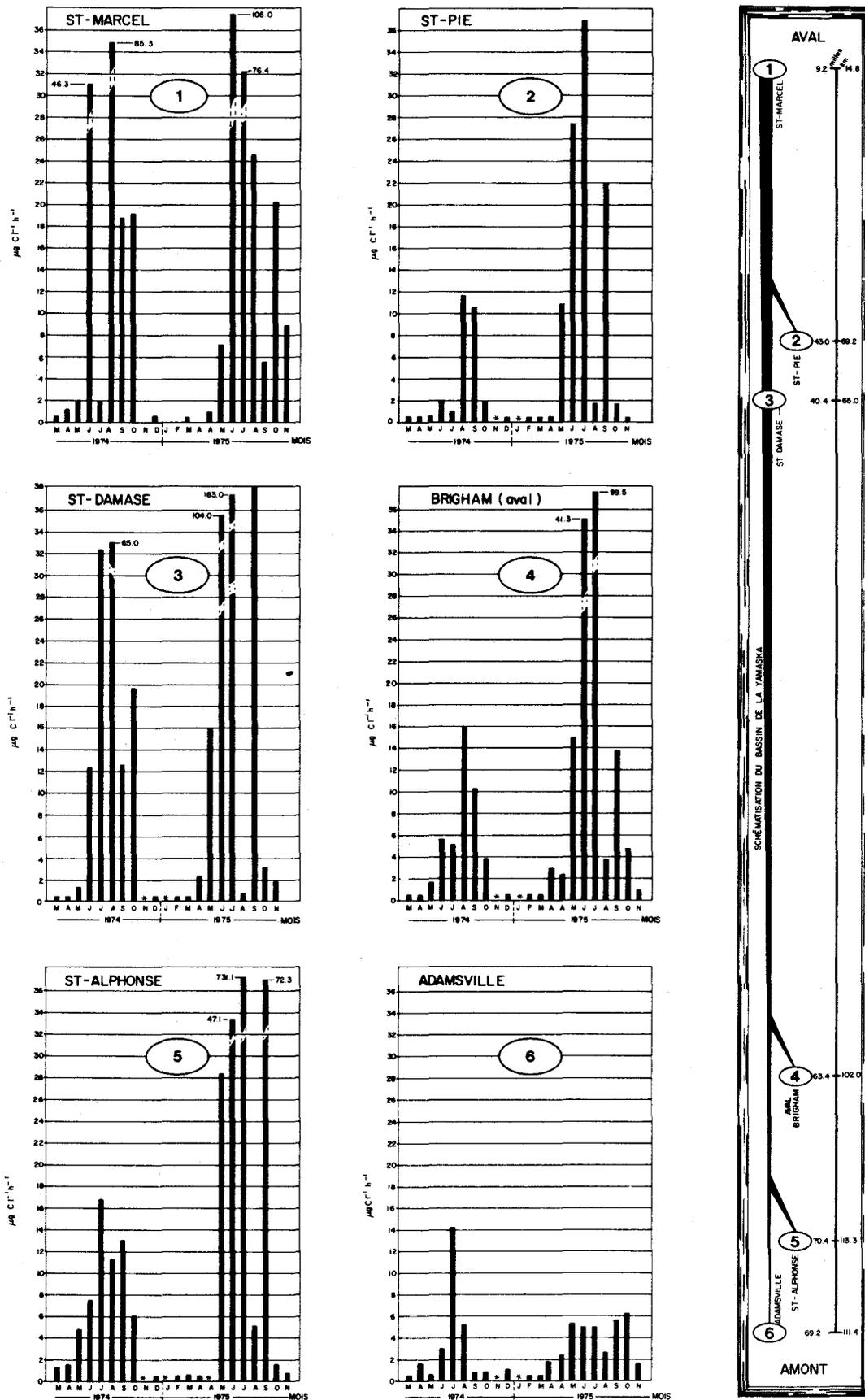


Fig. 3.3.2. Evolution saisonnière du potentiel autotrophe aux stations spéciales du bassin versant de la rivière Yamaska.

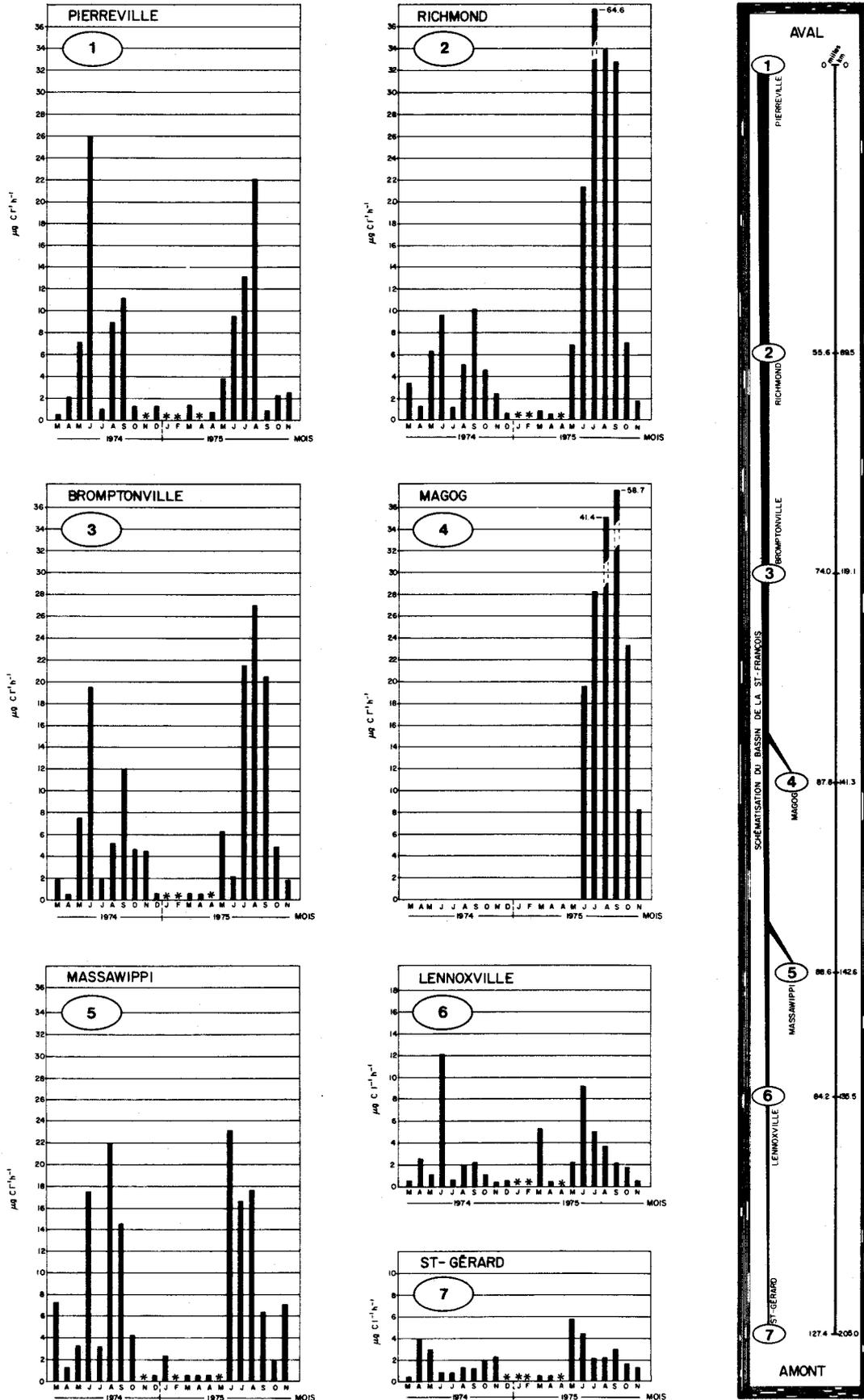
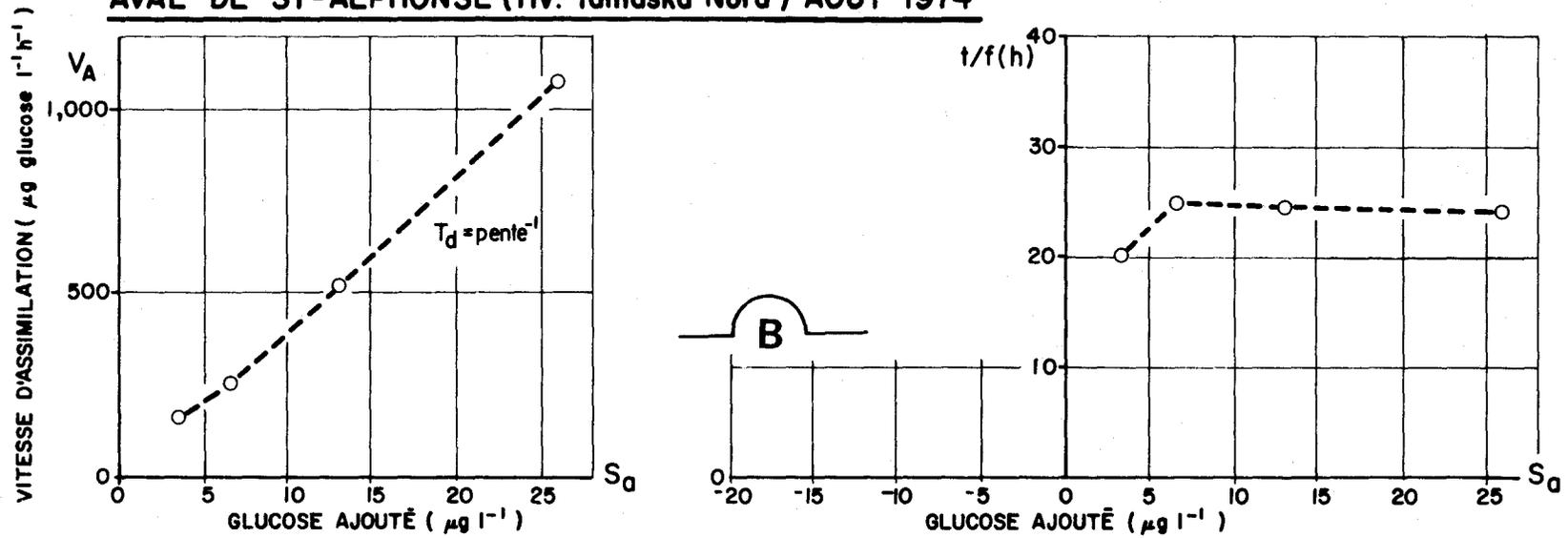


Fig. 3.3.3. Evolution saisonnière du potentiel autotrophe aux stations spéciales du bassin versant de la rivière Saint-François.

**AVAL DE ST-ALPHONSE (riv. Yamaska Nord) AOÛT 1974**



**AVAL DE BRIGHAM (riv. Yamaska Sud-Est) AOÛT 1974**

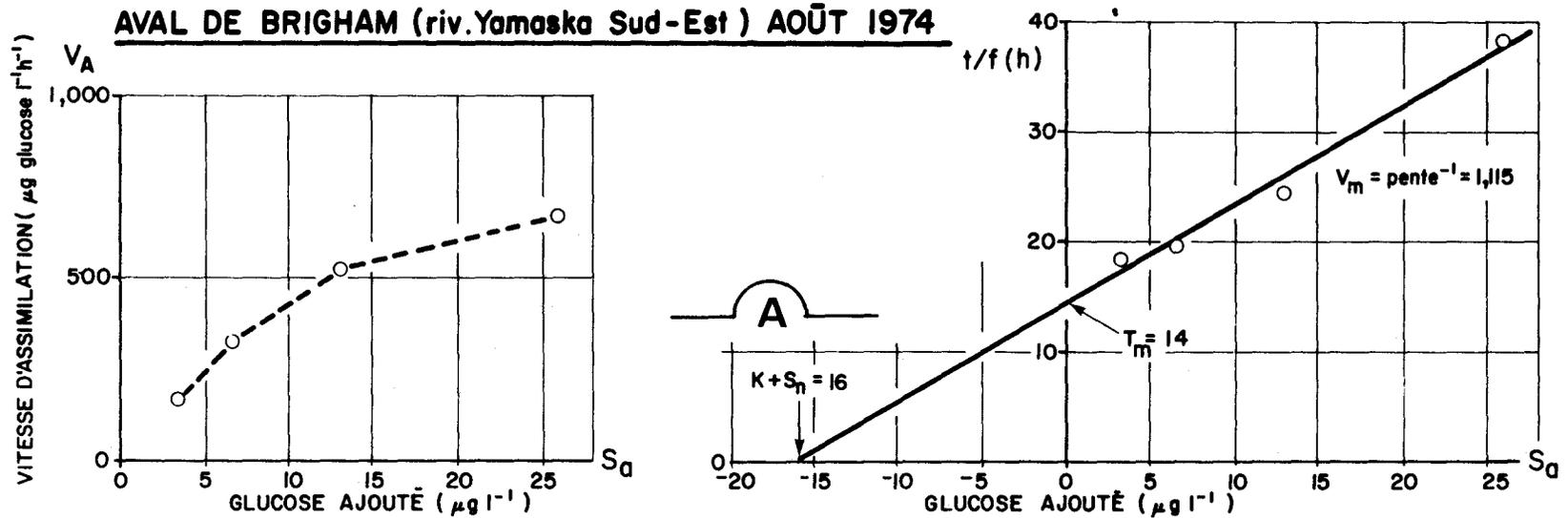


FIGURE 3.4.1: Assimilation du glucose- $\text{U-}^{14}\text{C}$ : A- assimilation conforme au modèle cinétique de transport actif; B- assimilation conforme au modèle cinétique de transport par diffusion.

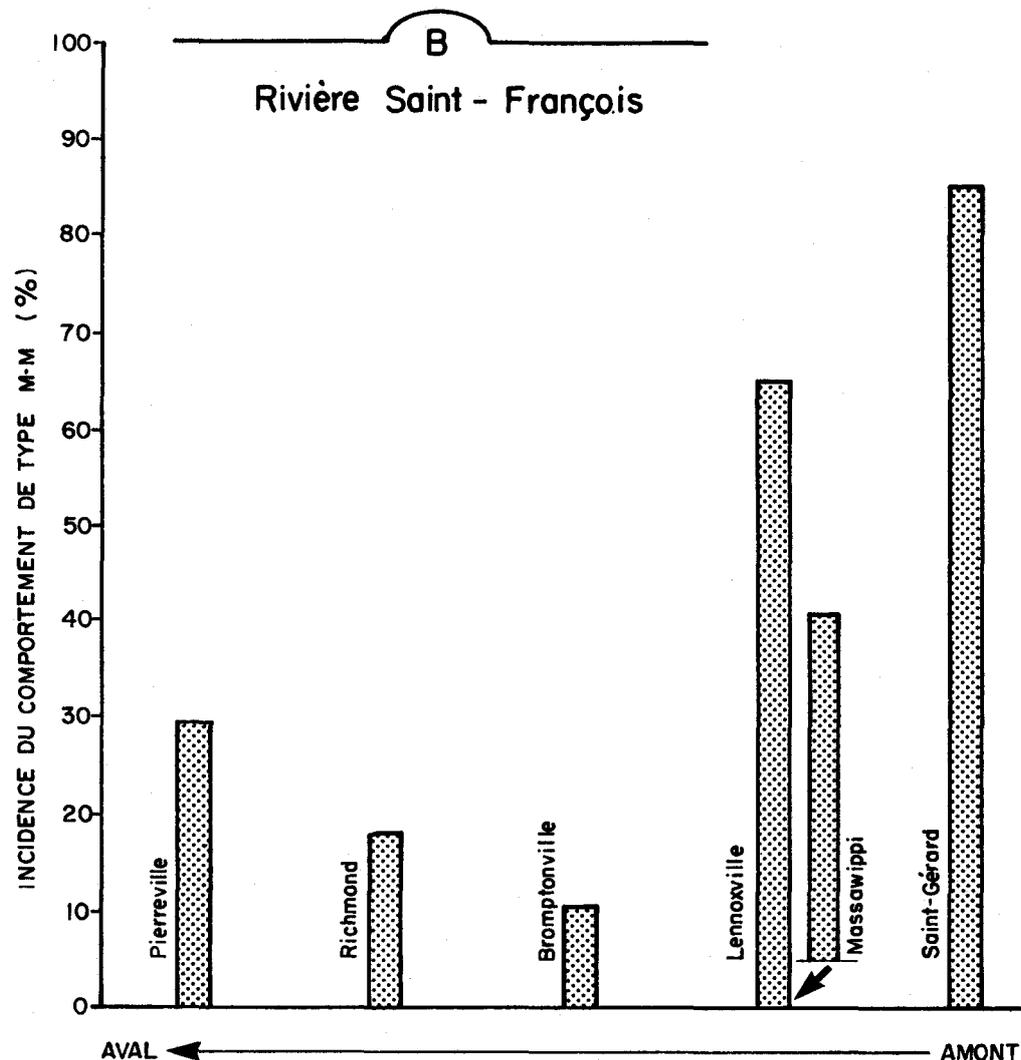
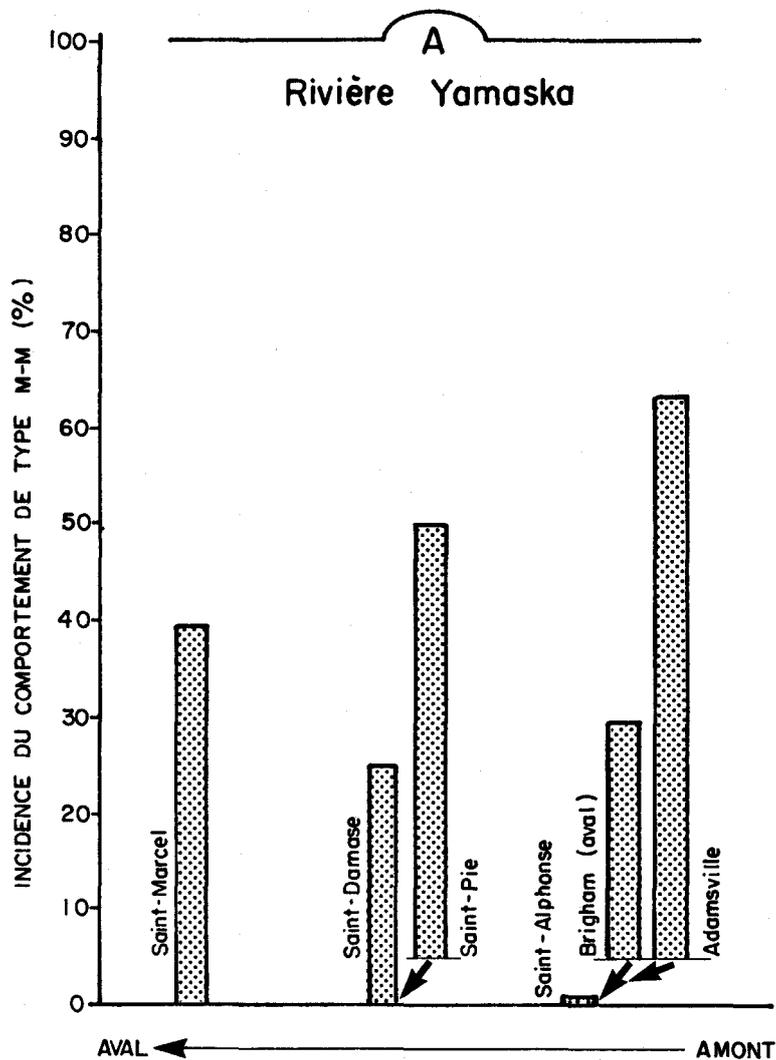


Fig.3.4.2 . Incidence du comportement hétérotrope de type Michaelis-Menten ( M-M ) aux stations spéciales dans les bassins des rivières Yamaska (A) et Saint-François (B) durant les années 1974-75.

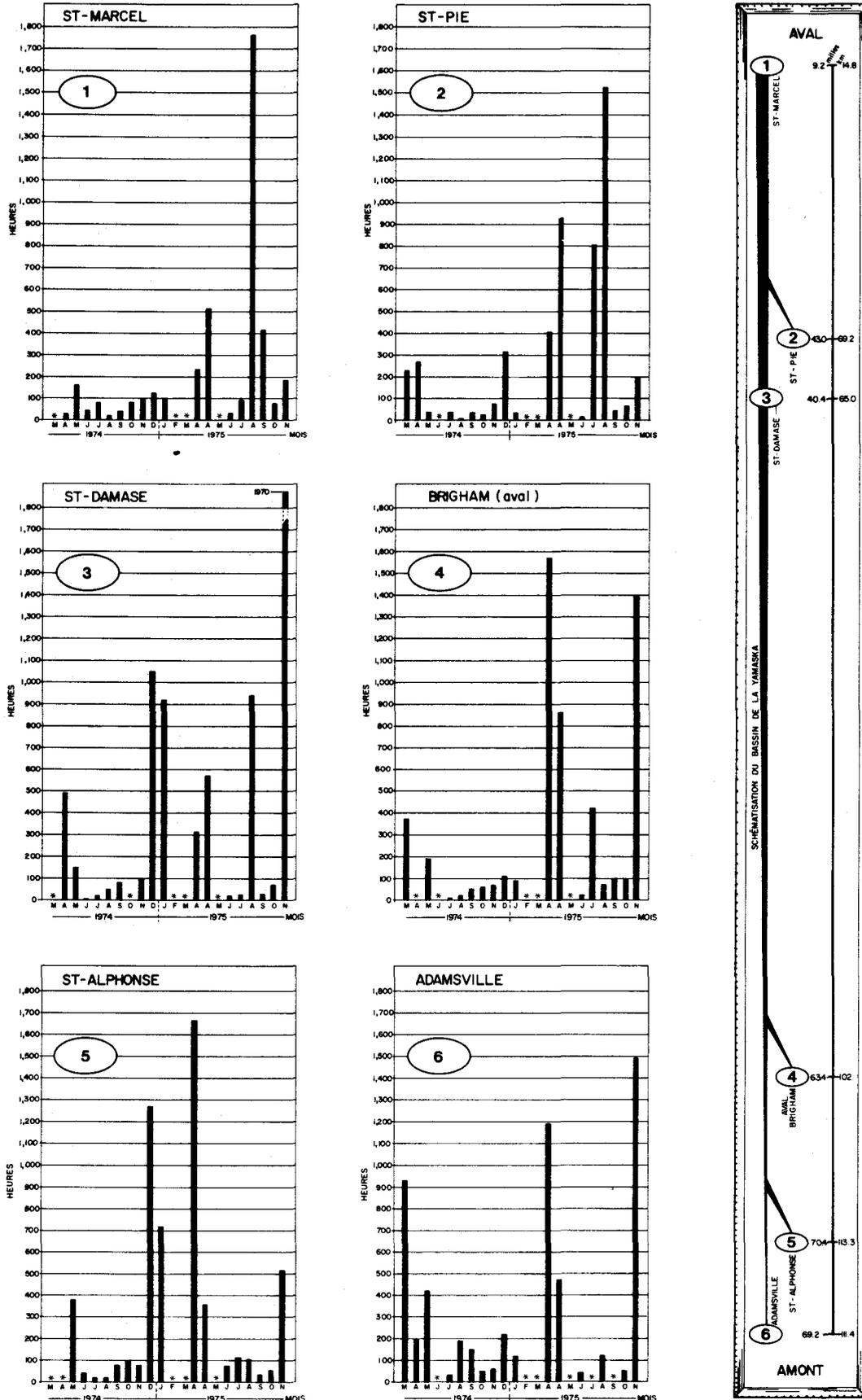


Fig. 3.4.3. Temps de renouvellement du glucose aux stations spéciales dans le bassin versant de la rivière Yamaska.

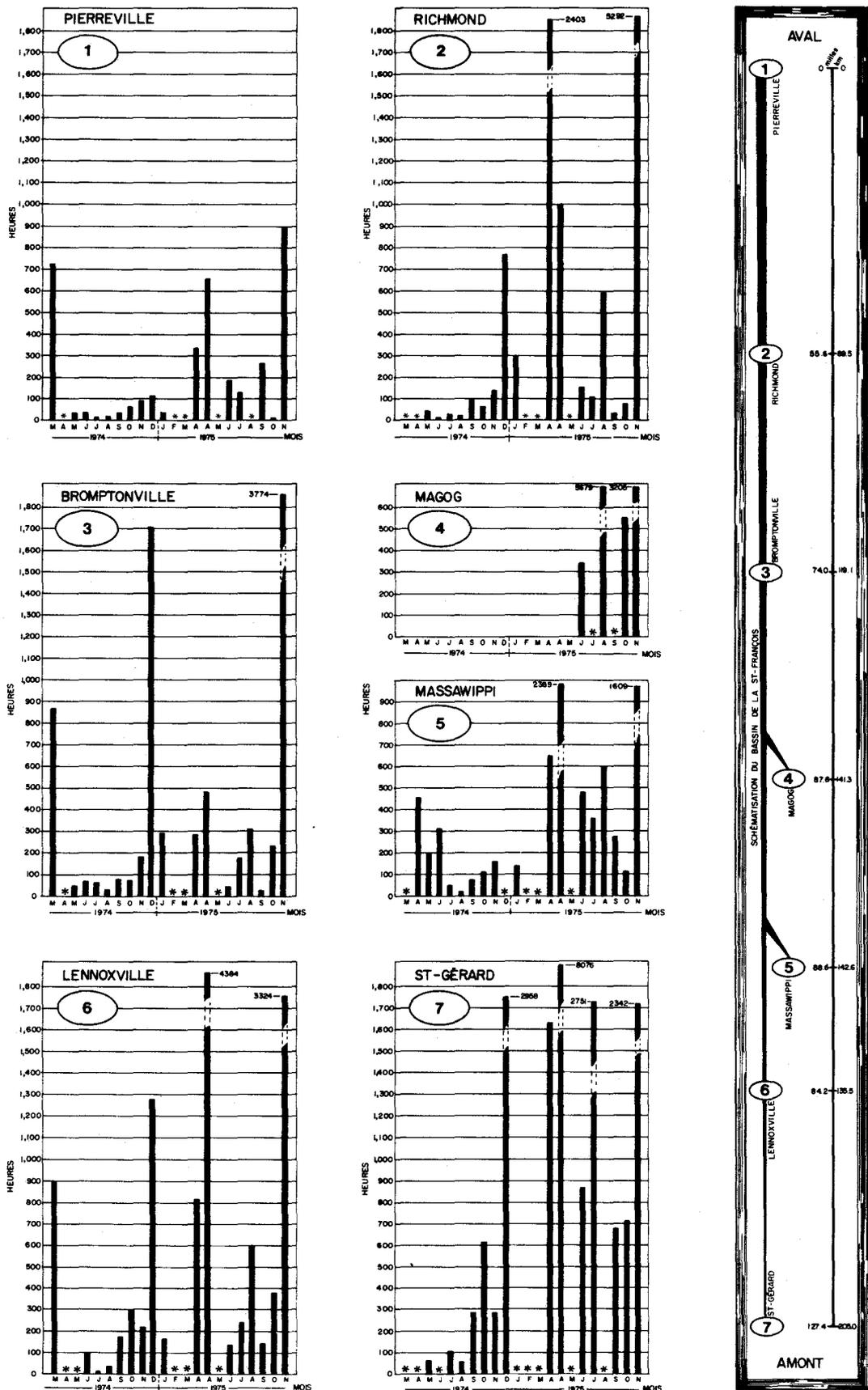
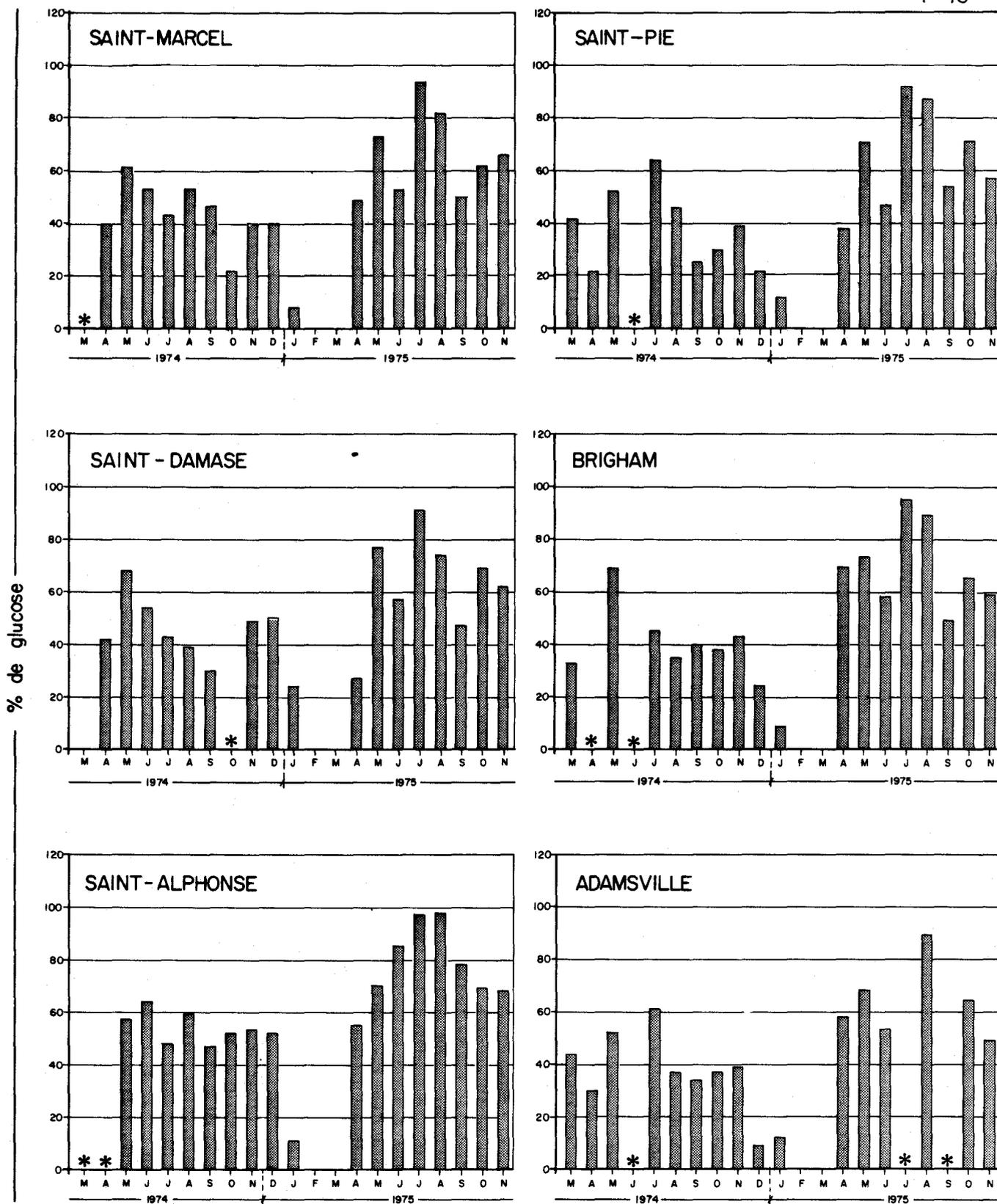
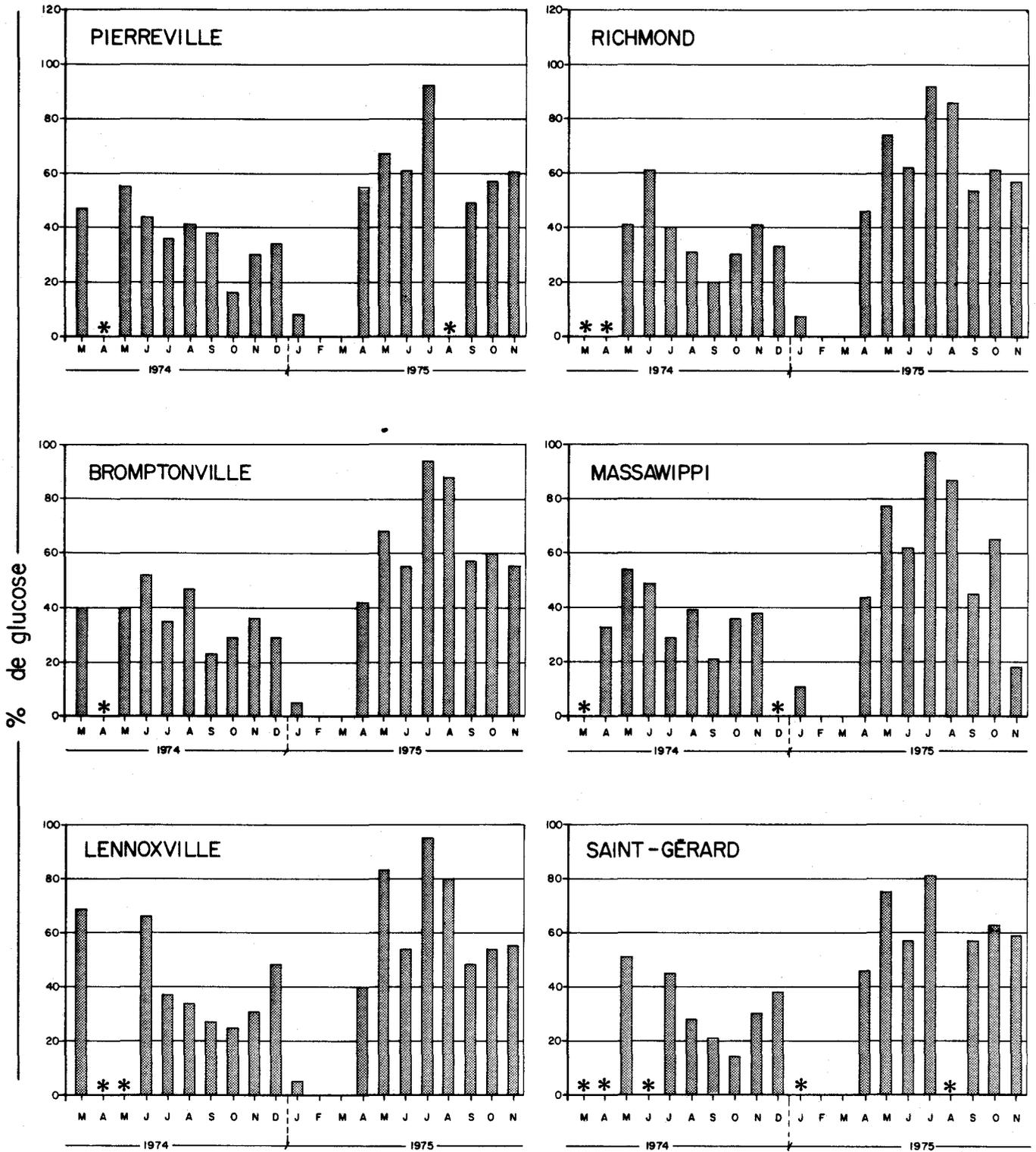


Fig. 3.4.4. Temps de renouvellement du glucose aux stations spéciales dans le bassin versant de la rivière Saint-François.



\* = Valeur rejetée

Fig. 3.4.5. Pourcentage de glucose respiré aux stations spéciales dans le bassin versant de la rivière Yamaska.



\* - VALEUR REJETÉE

Fig. 3.4.6. Pourcentage de glucose respiré aux stations spéciales dans le bassin versant de la rivière Saint-François.

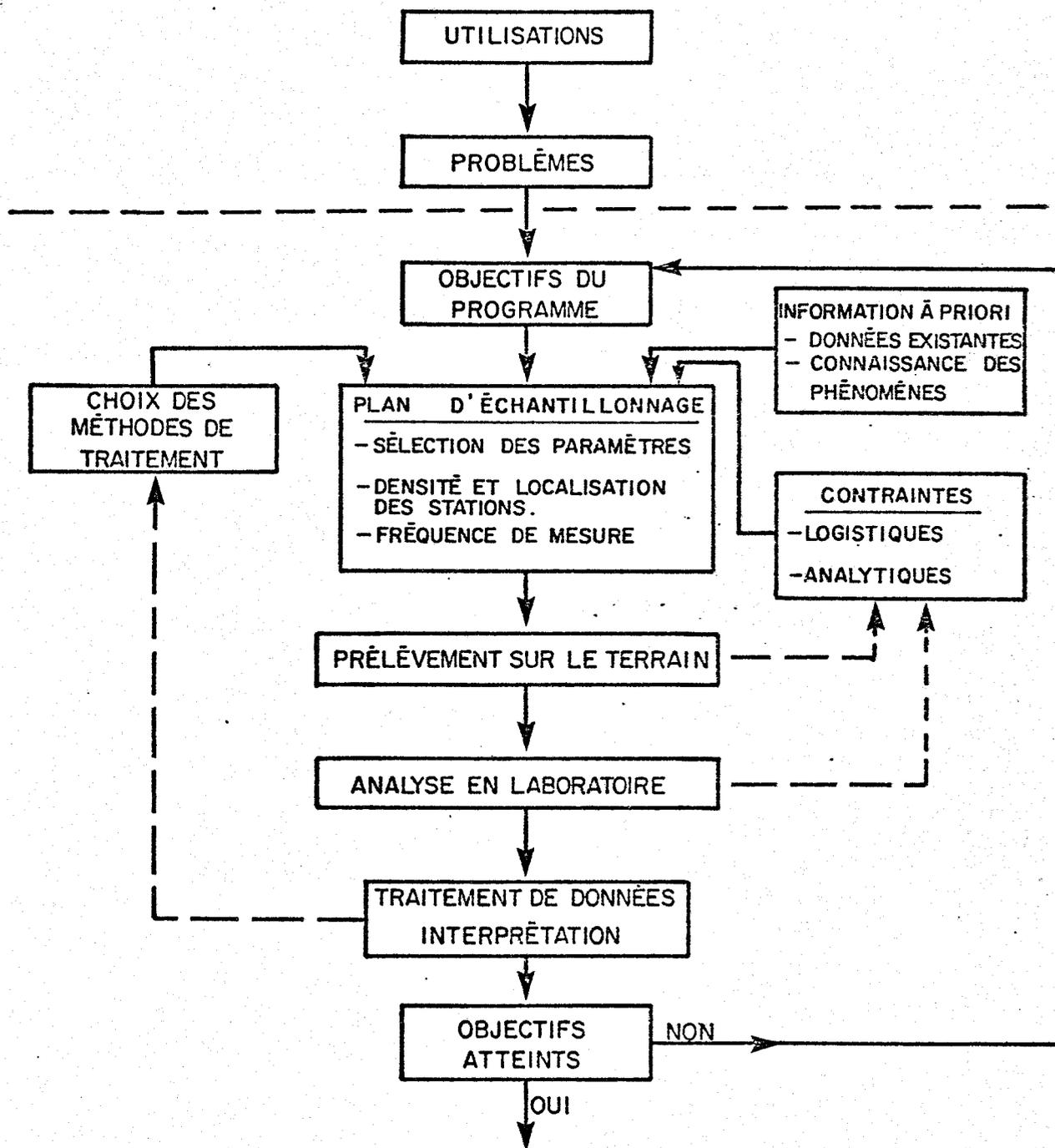


Fig. 4.1: Résumé des étapes à réaliser lors de l'élaboration d'un programme d'acquisition de données de qualité de l'eau (Bobée *et al.*, 1976).

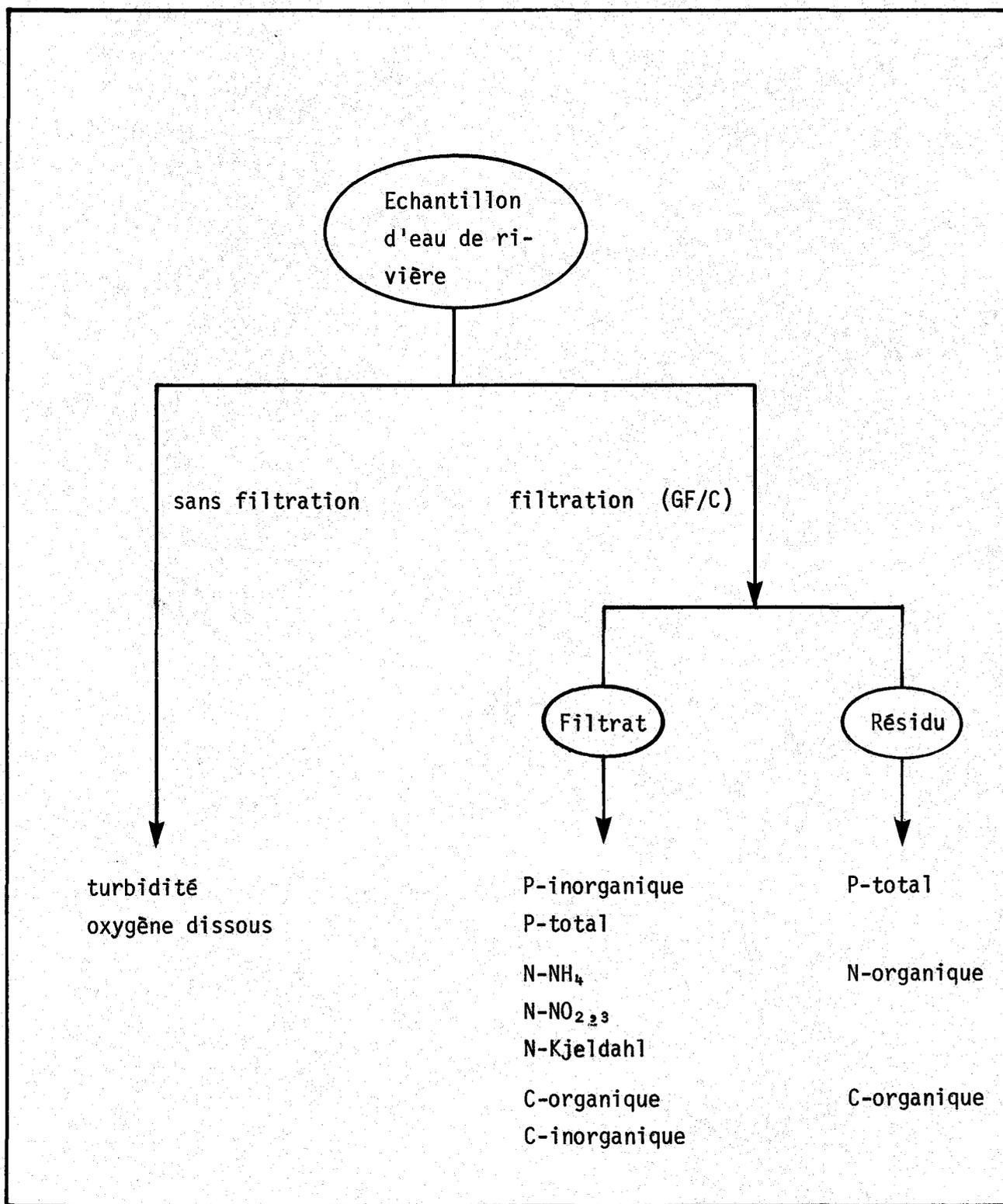


Fig. 4.2. Méthode d'étude des substances nutritives - schéma analytique proposé (paramètres physico-chimiques).

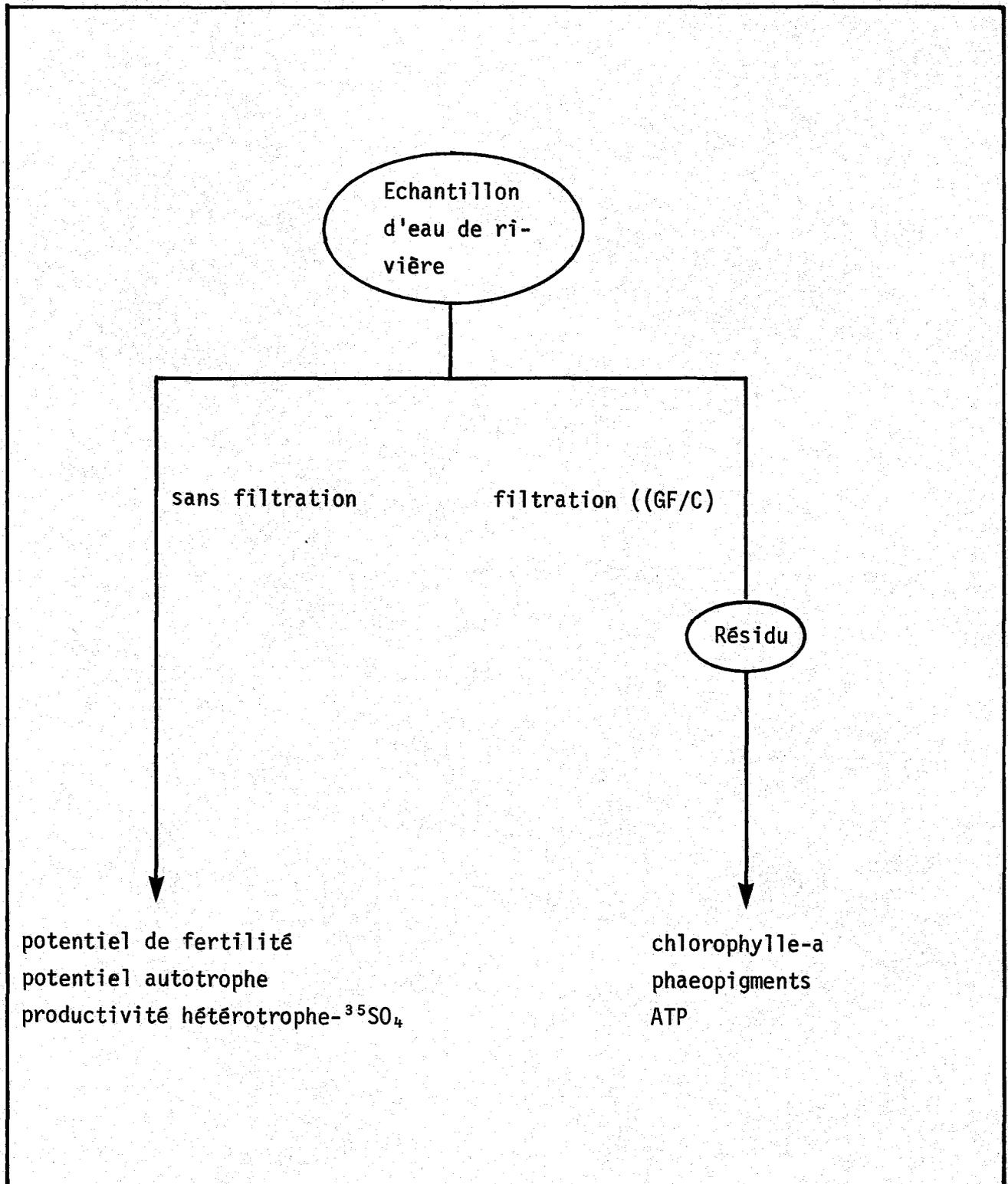


Fig. 4.3. Méthode d'étude des substances nutritives - schéma analytique proposé (paramètres biologiques).

ANNEXE 1

Détermination du potentiel de fertilité: traitement des données brutes

## 1. MESURE DU POTENTIEL DE FERTILITE: TRANSFORMATION DU NOMBRE DE CELLULES EN BIOMASSE.

Comme nous l'avons mentionné précédemment (section 2.3: Protocole expérimental), la mesure du potentiel de fertilité est faite à l'aide d'un compteur de particules (Coulter Counter Model ZB): la valeur ainsi obtenue s'exprime en quantité de particules par millilitre. Cette valeur (nombre de cellules/ml) doit être transformée en biomasse (mg d'algues/litre) à l'aide d'une constante établie à chaque campagne de mesures. Cette constante est calculée à partir d'une suite d'opération qui consiste:

- a) à déterminer le nombre de cellules produites ( $X$ ) à l'intérieur d'un milieu de culture témoin (PAAP 30%);
- b) à trouver la correspondance en biomasse pour ce nombre de cellules selon la relation établie par Greene *et al.* (1974):

$$0.43 \times 186 = 80 \text{ mg/L}$$

où:  $0.43 =$  quantité d'algues produites pour chaque  $\mu\text{g}$  de  $\underline{P}$ ;

$186 =$  concentration en  $\underline{P}$  ( $\mu\text{g/l}$ ) dans le milieu de culture;

- c) à établir la constance:

$$k = \frac{80}{X}$$

## 2. COEFFICIENT DE CROISSANCE MAXIMUM

Le coefficient de croissance maximum représente la valeur maximale du taux de croissance observée de la population d'algues à un certain moment de la période d'incubation (Figure A.1.1). Ce coefficient ( $\mu$ ) est déterminé par la relation suivante:

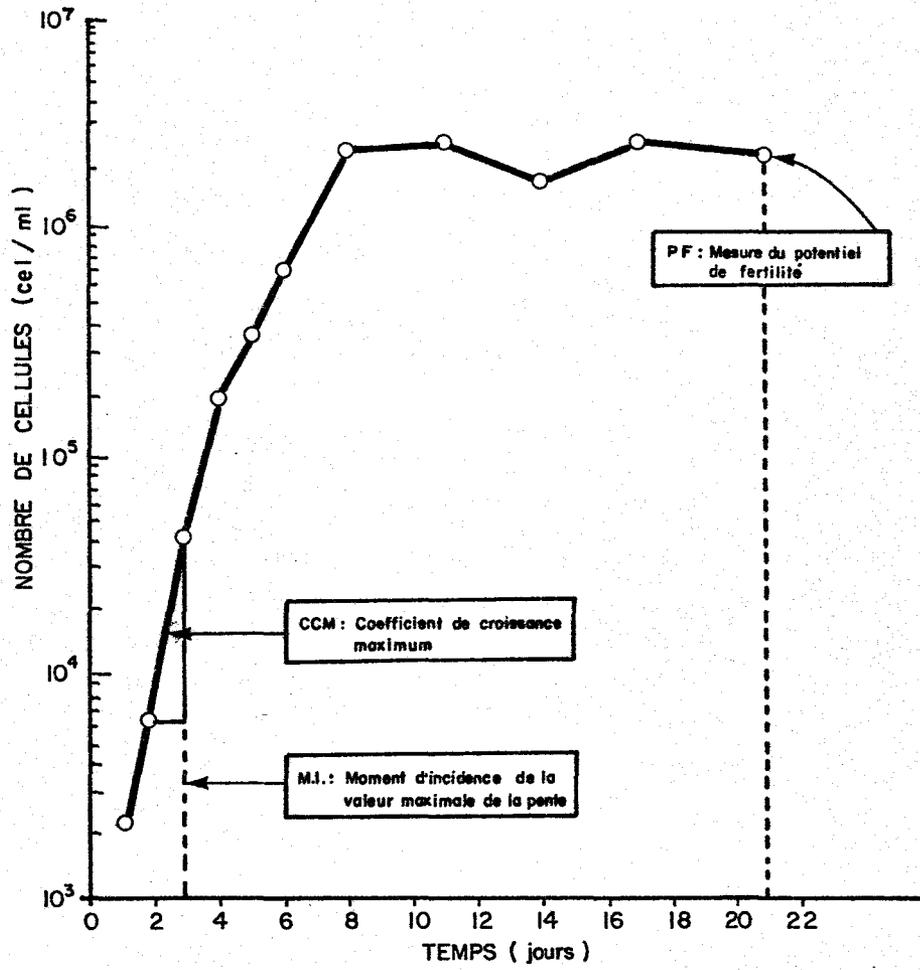


Fig. A.1.1. Courbe de croissance de S. Capricornutum.

$$\mu = \frac{\ln (X_2 / X_1)}{t_2 - t_1}$$

où:  $X_2$  = biomasse obtenue au temps  $t_2$ ;

$X_1$  = biomasse obtenue au temps  $t_1$ ;

$t_2 - t_1$  = intervalle de temps.

### 3. COEFFICIENT DE VARIATION

Les différentes opérations nécessaires au calcul des valeurs du potentiel de fertilité et du coefficient de variation sont réalisées par ordinateur. M. Gilles Pelletier, de l'INRS, a conçu à cet effet un programme informatique capable de sélectionner et de traiter les différentes valeurs reçues.

#### Sélection des valeurs

Comme nous l'avons déjà mentionné, la mesure du potentiel de fertilité est établie à partir d'un test fait en triple. Une première opération consiste à établir le coefficient de variation des trois mesures selon l'équation suivante:

$$CV = \frac{s_x}{\bar{X}}$$

où: CV = coefficient de variation (%);

$s_x$  = écart type;

$\bar{X}$  = moyenne arithmétique.

Pour un CV < 20% la valeur du potentiel de fertilité est établi d'après la moyenne arithmétique des trois mesures. Pour un CV > 20% la valeur du potentiel

de fertilité est alors *corrigée* en n'utilisant que deux des trois valeurs obtenues. Cette opération est effectuée en ayant pour pré-requis que le CV des deux valeurs retenues doit être inférieur à 20%. La même série d'opérations est requise pour le calcul du coefficient de croissance maximum.

### Traitement des valeurs

Le programme d'informatique permet de traiter les données acquises en trois étapes, tel qu'illustré ci-dessous:

<u>ETAPE DU TRAITEMENT</u>	<u>RENSEIGNEMENT OBTENU</u>
Primaire	Potentiel de fertilité Coefficient de croissance maximum Coefficient de variation
Secondaire	Concentration de N et P Potentiel de fertilité anticipé Indice d'enrichissement
Tertiaire	Coefficient de stimulation

Les résultats obtenus sont par la suite présentés à l'utilisateur soit dans un tableau (ex.: potentiel de fertilité anticipé VS potentiel de fertilité mesuré), soit sur une figure (ex.: évolution des concentrations de N au cours d'une année).

### REFERENCE:

GREENE, J.C., MILLER, W.E. et SHEROYAMA, T. (1974).

The Pacific Northwest Basin algal assay survey. I- The Snake River drainage system. Publication interne, communication personnelle.

ANNEXE 2

Emploi du test de fertilité pour mettre en évidence la présence de substances toxiques: description des expériences préliminaires

L'identification de la présence de substances toxiques dans des échantillons d'eau a été faite à partir de l'étude des paramètres de croissance des cultures d'algues utilisées. Des études préliminaires, décrites ci-dessous, nous ont confirmé l'efficacité de l'utilisation de ces paramètres (PF, CCM, MI). Signalons que les résultats présentés dans les tableaux groupés dans cet annexe sont la résultante d'un tri effectué parmi les valeurs obtenues lors de ces expériences préliminaires.

## 1. PROTOCOLE EXPERIMENTAL

### 1.1 Effets du cuivre et du mercure sur la croissance d'une culture d'algues (S. capricornutum) en milieu synthétique

Différentes concentrations du Cu ( $\text{CuSO}_4$ ) et de mercure ( $\text{HgCl}_2$ ) furent ajoutées au milieu de culture PAAP-30% (Toerien *et al.*, 1971). Le potentiel de fertilité fut mesuré (PF), le coefficient de croissance maximum calculé (CCM) et le moment d'incidence (MI) de ce coefficient identifié (Tableau A.2.1).

### 1.2 Effets du cuivre sur la croissance d'une culture d'algues (S. capricornutum) en milieu naturel

Différentes concentrations de cuivre ( $\text{CuSO}_4$ ) furent ajoutées à des échantillons d'eau prélevés à Adamsville. L'impact du cuivre sur la croissance de S. capricornutum est présenté sur la Figure A.2.1. La mesure du potentiel de fertilité (PF) et la valeur du coefficient de croissance maximum (CCM) furent déterminées (Tableau A.2.2).

## 2. DISCUSSION DES RESULTATS

Différents auteurs ont déjà déterminé les concentrations léthales en éléments toxiques pour des populations d'algues. Stumm et Bilinski (1972) rapportent que parmi les cations  $\text{Ag}^+$ ,  $\text{Be}^{++}$ ,  $\text{Cu}^{++}$ ,  $\text{Hg}^{++}$ ,  $\text{Sn}^{++}$ ,  $\text{Co}^{++}$ ,  $\text{Ni}^{++}$  et  $\text{Pb}^{++}$ , certains sont léthaux à des concentrations de  $10^{-7}$  M en interférant sur les fonctions métaboliques des algues. Bartlett et Rabe (1974) ont établi les concentrations "algicides" du cuivre (0.30 mg/l), du zinc (0.70 mg/l) et du cadmium (0.65 mg/l) pour l'espèce S. capricornutum dans un milieu de culture standard (PAAP-100%).

**TABEAU A.2.1: EFFETS DE DIFFERENTES CONCENTRATIONS DE CUIVRE ET DE MERCURE SUR LA CROISSANCE DE SELENASTRUM CAPRICORNUTUM EN MILIEU SYNTHETIQUE<sup>1</sup>.**

Concentration de métal ajouté (mg/l)	PF <sup>2</sup>	CV <sup>3</sup> (%)	CCM <sup>4</sup>	CV <sup>3</sup> (%)	MI <sup>5</sup>
<b>Cuivre</b>					
[1]	88	5	1,6	5	3
[4]	90	2	1,5	2	3
[16]	89	3	1,6	3	3
[64]	89	4	1,3	4	5
[80]	87	3	1,3	7	3
[95]	91	4	1,7	9	7
[110]	89	2	1,3	25	7
[200]	0	-	-	-	-
[300]	0	-	-	-	-
<b>Mercure</b>					
[1]	92	1	1,6	2	3
[4]	87	5	1,4	7	3
[16]	93	4	1,5	2	5
[64]	89	5	1,9	3	5
<b>Témoin</b>					
[0]	86	4	1,5	4	2

<sup>1</sup> Milieu PAAP standard, dilué à 30% (EPA, 1971).

<sup>2</sup> PF : potentiel de fertilité mesuré (mg d'algues/l).

<sup>3</sup> CV : coefficient de variation:  $\frac{\text{écart type} \times 100}{\text{moyenne}}$

<sup>4</sup> Coefficient de croissance maximum:  $\frac{\ln X_2 - \ln X_1}{t_2 - t_1}$

X<sub>1</sub> = concentration de cellules au temps t<sub>1</sub>.

X<sub>2</sub> = concentration de cellules au temps t<sub>2</sub>.

<sup>5</sup> MI : moment d'incidence du coefficient de croissance maximum (jour).

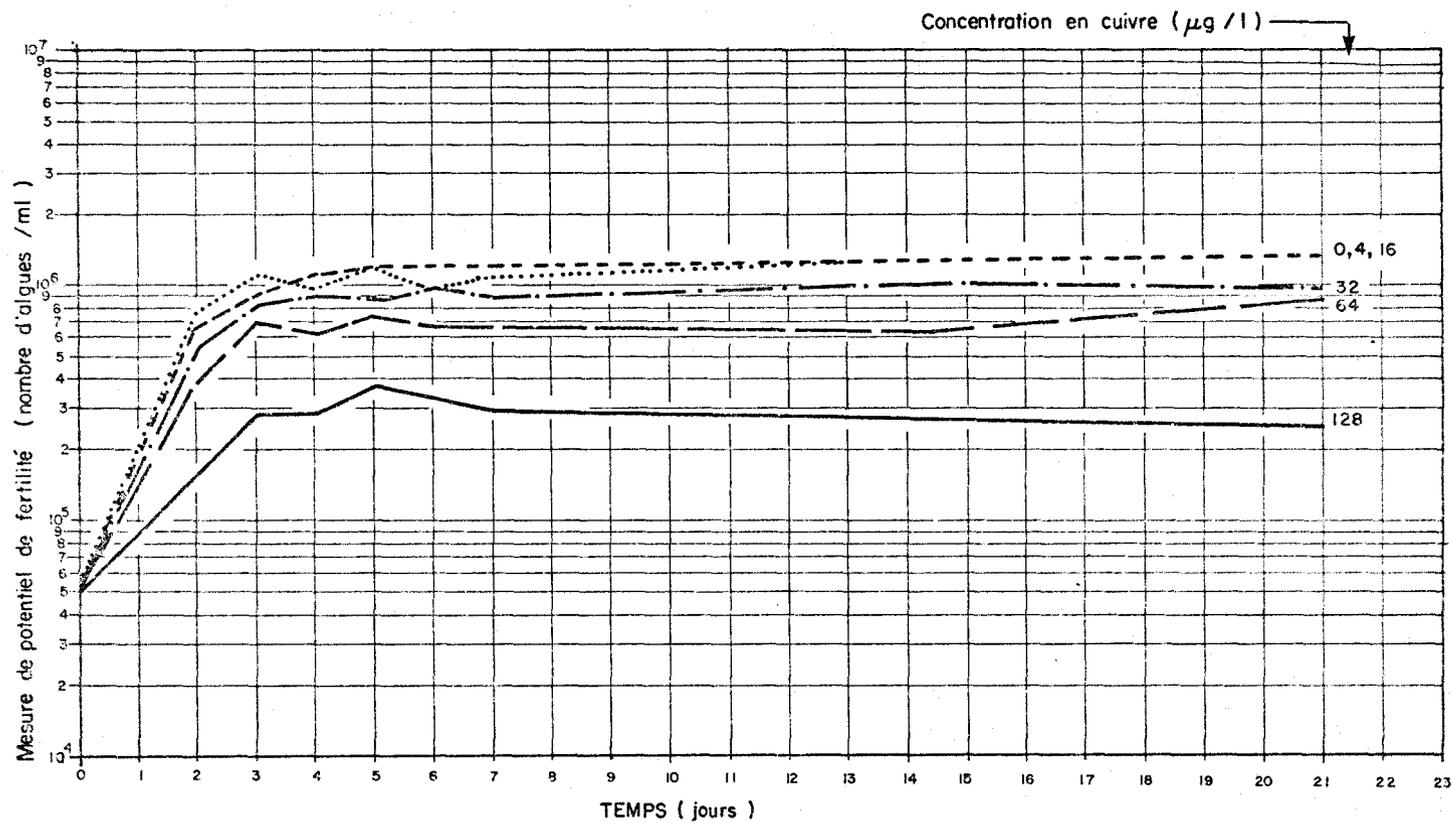


Fig. A.2.1. Impact du cuivre sur la croissance d'une culture d'algues (*S. Capricornutum*) en milieu naturel.

TABLEAU A.2.2: EFFETS DE DIFFERENTES CONCENTRATIONS DE CUIVRE SUR LA CROISSANCE DE SELENASTRUM CAPRICORNUTUM EN MILIEU NATUREL<sup>1</sup>.

Concentration de en cuivre ajouté (µg/l)	PF <sup>2</sup>	CV <sup>3</sup> (%)	CCM <sup>4</sup>	CV <sup>3</sup> (%)
[128]	0.33	8	0.6	7
[64]	1.12	15	1.0	6
[32]	1.23	1	1.2	5
[16]	1.82	2	1.3	2
[4]	1.75	7	1.3	3
Témoin [0]	1.70	10	1.3	7

<sup>1</sup> Echantillon d'eau prélevé à la station d'Adamsville (Rivière Yamaska), le 10 novembre 1975.

<sup>2</sup> PF : potentiel de fertilité mesuré (mg d'algues/l).

<sup>3</sup> CV : coefficient de variation:  $\frac{\text{écart type} \times 100}{\text{moyenne}}$

<sup>4</sup> CCM : coefficient de croissance maximum:  $\frac{\ln X_2 - \ln X_1}{t_2 - t_1}$

$X_2$  = concentration de cellules au temps  $t_2$ .

$X_1$  = concentration de cellules au temps  $t_1$ .

*En milieu synthétique* (milieu de culture PAAP-30%), il s'est avéré difficile de caractériser les effets de concentrations subléthales de cuivre à partir des mesures de biomasse (PF); seules les concentrations léthales avaient un effet sur la biomasse de la culture après 21 jours (Tableau A.2.1). De plus, aucune variation de la valeur du coefficient de croissance maximum n'apparaît comme étant indicative de la présence de substances toxiques. Bartlett et Rabe (1974) ont d'ailleurs observé que les concentrations subléthales de cuivre avaient peu d'effet sur le taux de croissance de S. capricornutum. *Toutefois, l'augmentation des concentrations de cuivre a pour effet d'augmenter la période d'acclimatation (et donc MI) de la population d'algues.*

Le Tableau A.2.1 montre aussi les effets de concentrations subléthales de mercure sur la même espèce d'algues. Encore ici, aucune différence marquée n'apparaît au niveau des mesures du PF et du CCM. Toutefois le MI varie en fonction des concentrations de mercure utilisées. Ben-Bassat *et al.* (1972) ont déjà observé le même phénomène avec l'espèce Chlamydomonas reinhardi.

*En milieu naturel*, soit les expériences réalisées sur des échantillons d'eau prélevés à Adamsville, l'effet du cuivre en concentration subléthale sur la croissance de S. capricornutum est fonction de la concentration du cuivre ajoutée (Figure A.2.1). Le Tableau A.2.2 présente les valeurs de biomasse obtenues. Jensen *et al.* (1974) ont déjà démontré des effets semblables obtenus, tant au niveau des taux de croissance qu'au niveau de la biomasse totale, sur des populations d'algues en milieu naturel soumises à différentes concentrations de zinc. Goldman (1972) a aussi observé différents taux d'incorporation de  $\text{HC}^{14}\text{O}_3^-$  en fonction des concentrations de cuivre ajoutées à un échantillon d'eau de Clear Lake.

Bref, alors qu'en milieu synthétique (PAAP-30%) il était impossible de caractériser la présence de substances toxiques en concentrations subléthales à l'aide de la mesure de PF, il s'avère qu'en milieu naturel une telle approche est efficace. Ce phénomène serait associé à la différence de composition en éléments chimiques des deux milieux; en effet, les différences au niveau des substances complexantes présentes dans ces deux milieux pourraient favoriser l'action de faibles concentrations en substances toxiques sur le métabolisme des algues dans l'échantillon tiré du milieu naturel.

REFERENCES:

BARTLETT, L. et RABE, F.W. (1974).

Effects of copper, zinc and cadmium on Selenastrum capricornutum. Water Res., 8: 179-185.

BEN-BASSAT, D. et al. (1972).

Growth of Chlamydomonas reinhardi in a medium mercury. Nature, 240 (5375): 43-44.

GOLDMAN, C.R. (1972).

The role of minor nutrients in limiting the productivity of aquatic ecosystems. Nutrients and Eutrop. Special Symp., 1: 21-38.

JENSEN, A. et al. (1974).

Heavy metal tolerance of marine phytoplankton. Part 1: The tolerance of 3 algal species to zinc in coastal sea water. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 15 (2): 147-157.

STUMM, W. et BILINSKI, H. (1972).

Trace metals in natural waters: difficulties of interpretation arising from our ignorance on their speciation. Advances in Water Pollution Research, 39-52.

TOEREIN, D.F. et al. (1971).

Provisional algal assay procedures. Final report. Sanitary Engineering Research Laboratory, University of California, Berkeley, SERL Report No 71-6, 211 p.

ANNEXE 3

Détermination du potentiel autotrophe, du potentiel hétérotrophe-glucose et du potentiel hétérotrophe-sulfate: protocoles expérimentaux détaillés

## 1. PREPARATION DES SOLUTIONS DE COMPOSES MARQUES

Après l'obtention d'une licence relative à l'utilisation de radio-isotopes à la commission de contrôle de l'Energie Atomique du Canada (C.P. 1046, Ottawa, Ont), les radio-isotopes sont commandés selon les spécifications suivantes chez différents fournisseurs:

composé marqué	désignation de l'isotope	activité spécifique	fournisseur suggéré
Bicarbonate de sodium	Carbone-14	60 m Ci/mmole	Amersham/Searle Corp. 400 Iroquois Shore Road, Oakville, Ontario.
D-Glucose, uniformément marqué	Carbone-14	250 m Ci/mmole	New England Nuclear 2453, 46e Avenue, Lachine, Québec.
Sulfate de sodium	Soufre-35	1000 m Ci/mmole	New England Nuclear 2453, 46e Avenue, Lachine, Québec.

Après leur réception, les composés marqués sont dilués avec de l'eau déminéralisée jusqu'à une concentration de 100  $\mu$  Ci/cc pour le bicarbonate et pour le sulfate de sodium, et jusqu'à une concentration de 325  $\mu$ g de glucose/litre pour le glucose. Ces solutions sont alors distribuées dans des ampoules en verre de 5 ou de 10 ml, lesquelles sont ensuite scellées, autoclavées (120°C pendant 15 min) et entreposées sous clef dans un endroit frais et à la noirceur jusqu'à leur utilisation.

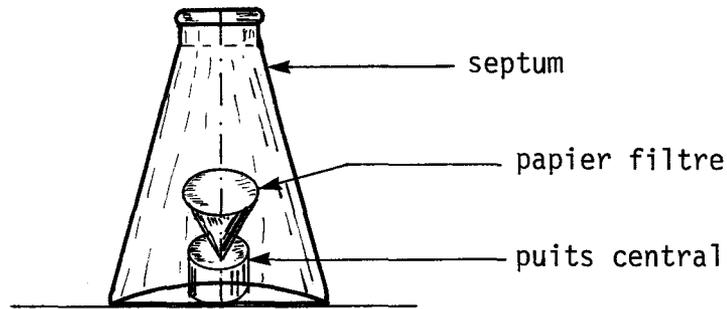
2. PROTOCOLE EXPERIMENTAL POUR EFFECTUER DES MESURES D'ASSIMILATION DE GLUCOSE UNIFORMEMENT MARQUE AU  $^{14}\text{C}$ 

N.B.: L'expérience doit débiter moins de 2 heures après l'échantillonnage

Mesures et témoins:

- 1- Ajuster la température de l'incubateur à celle de l'eau lors de l'échantillonnage.

- 2- Prendre 15 fioles coniques de 25 ml avec puits central.



- 3- Ayant placé un papier filtre (Whatman D, 1 1/4" x 1 1/8", plié en accordéon) dans chaque puits central, ajouter 10 ml de l'échantillon d'eau à analyser dans chaque fiole.
- 4- A l'aide de micropipettes, ajouter à chaque fiole 50, 100, 200 ou 400 µl de la solution de glucose marqué, comme indiqué ci-dessous

no de fiole	1 2 3	4 5 6	7 8 9	10 11 12	13 14 15
volume ajouté (µl)	50	100	200	400	200
[glucose-U- <sup>14</sup> C] (µg/l)	3.25	6.5	13	26	13

- 5- Fermer chaque fiole hermétiquement avec un septum en caoutchouc.
- 6- Acidifier le contenu des fioles 13, 14, 15 (témoins) en ajoutant de l'acide chlorhydrique (HCl 8N, 100 µl). Noter l'heure d'acidification, qui représente le début de l'incubation.
- 7- Incuber toutes les fioles à l'obscurité sur un agitateur mécanique placé dans l'incubateur. La durée d'incubation est fonction de la température d'incubation:

T (°C)	5	10	15	20	25
Durée d'incubation (h)	6	5	4	3	2

- 8- A la fin de l'incubation, acidifier le contenu des fioles 1 à 12 en ajoutant de l'acide chlorhydrique (HCl 8N, 100 µl). Noter l'heure d'acidification, qui représente la fin de l'incubation.

- 9- A l'aide d'une micro-seringue, ajouter à chaque fiole du phénéthylamine (200  $\mu$ l), en prenant soin de l'introduire sur le papier filtre dans le puits central. Cette addition doit se faire à travers le septum sans ouvrir les fioles.
- 10- Faire agiter les fioles dans l'incubateur durant au moins 2 heures pour laisser échapper le CO<sub>2</sub> des échantillons et le capter par le phénéthylamine.
- 11- Ouvrir les fioles, récupérer les filtres Whatman, et les mettre chacun dans une fiole à scintillation contenant 15 ml de liquide scintillant (Aquasol).
- 12- Filtrer le contenu de chaque fiole sur membrane (Millipore HA, 0.45  $\mu$ m, 25 mm diamètre) en utilisant une faible dépression (P > 360 mm Hg).
- 13- Rincer chaque fiole avec 2x5 ml d'eau de rivière préalablement filtrée, et utiliser l'eau de rinçage pour laver les membranes filtrantes.
- 14- Mettre chaque membrane filtrante dans une fiole à scintillation contenant 15 ml de liquide scintillant (Omnifluor).

#### Préparation des standards

- Pour la fraction de glucose respirée, le standard se prépare comme suit (en double) dans une fiole à scintillation:
  - . 15 ml de liquide scintillant (Aquasol);
  - . 1 filtre Whatman;
  - . 200  $\mu$ l phénéthylamine;
  - . 50  $\mu$ l de la solution de glucose marqué au carbone-14, laquelle est préalablement diluée par un facteur de 100.

- Pour la fraction de glucose incorporée, le standard se prépare comme suit (en double) dans une fiole à scintillation:
  - . 15 ml de liquide scintillant (Omnifluor);
  - . 50 µl de la solution de glucose marqué au carbone-14, laquelle est préalablement diluée par un facteur de 100;
  - . 1 membrane filtrante Millipore, laquelle est préparée en filtrant 10 ml d'eau de rivière (acidifiée avec 100 µl d'acide chlorhydrique 8 N), et 2x5 ml d'eau de rivière filtrée.
  
- Tous les comptages se font par scintillation liquide, le temps de comptage étant de 10 minutes.

Analyses complémentaires

- Doser le carbone organique.
3. PROTOCOLE EXPERIMENTAL POUR EFFECTUER DES MESURES D'INCORPORATION DE SULFATE MARQUE AU SOUFRE-35.

N.B.: L'expérience doit débiter moins de 2 heures après l'échantillonnage.

Mesures et témoins:

- Ajuster la température de l'incubateur à celle de l'eau lors de l'échantillonnage.
  
- Prendre 7 fioles à scintillation de 20 ml.

0 0 0 0 0	0 0
1 2 3 4 5	6 7
mesures	témoins

- Introduire 20 ml de l'échantillon d'eau à analyser dans chaque fiole.
- Ajouter à chaque fiole 200 µl de la solution de sulfate de sodium marqué au soufre-35.
- Acidifier le contenu des fioles 6 et 7 (témoins) en ajoutant de l'acide chlorhydrique (HCl 8N, 200 µl).
- Noter l'heure d'acidification, qui représente le début de l'incubation.
- Incuber toutes les fioles à l'obscurité sur un agitateur mécanique dans l'incubateur. La durée d'incubation est fonction de la température d'incubation:

T (°C)	5	10	15	20	25
Durée d'incubation (h)	6	5	4	3	2

- A la fin de l'incubation, acidifier le contenu des fioles 1 à 5 en ajoutant de l'acide chlorhydrique (HCl 8N, 200 µl). Noter l'heure d'acidification, qui représente la fin de l'incubation.
- Filtrer le contenu de chaque fiole sur membrane (Millipore HA, 0.45 µm, 25 mm de diamètre) en utilisant une faible dépression (P > 320 mm Hg).
- Rincer chaque fiole avec 2x5 ml d'une solution de sulfate de sodium (30 mg SO<sub>4</sub>/l) et utiliser l'eau de rinçage pour laver les membranes filtrantes.
- Mettre chaque membrane filtrante dans une fiole à scintillation contenant 15 ml de liquide scintillant (Omnifluor).

Préparation des standards (en double):

- Filtrer 20 ml de l'échantillon d'eau, acidifié préalablement (HCl 8N, 200 µl), sur membrane (Millipore HA, 0.45 µm, 25 mm de diamètre).
- Laver la membrane filtrante avec 2x5 ml d'une solution de sulfate de sodium (30 mg SO<sub>4</sub>/l).
- Mettre la membrane dans une fiole à scintillation contenant 15 ml de liquide scintillant (Omnifluor).
- Ajouter 200 µl de la solution de sulfate de sodium marqué au soufre-35, laquelle est préalablement diluée par un facteur de 100.
- Tous les comptages se font par scintillation liquide, le temps de comptage étant de 10 minutes.

Analyses complémentaires

- Doser les sulfates et le carbone organique.
4. PROTOCOLE EXPERIMENTAL POUR EFFECTUER DES MESURES D'ASSIMILATION DU BICARBONATE MARQUE AU CARBONE-14.

N.B.: L'expérience doit débiter moins de 2 heures après l'échantillonnage.

Mesures et témoins:

- Ajuster la température de l'incubation à celle de l'eau lors de l'échantillonnage.
- Prendre 7 fioles à scintillation de verre de 20 ml.

0	0	0	0	0	0	0
1	2	3	4	5	6	7
			mesures témoins			

- Introduire 5 ml de l'échantillon d'eau à analyser dans chaque fiole.
- Ajouter à chaque fiole 200 µl de la solution de bicarbonate de sodium marqué au carbone-14. Renfermer chaque fiole.
- Incuber les fioles 1 à 5 (mesures) à la lumière (10,000 lux) et les fioles 6 et 7 (témoins) à la noirceur en notant l'heure du début de l'incubation. Les fioles sont placées dans l'incubateur dans la position renversée. La durée de l'incubation est fonction de la température d'incubation:

T (°C)	5	10	15	20	25
Durée de l'incubation (h)	6	5	4	3	2

- A la fin de l'incubation, acidifier le contenu des fioles 1 à 7 en ajoutant de l'acide chlorhydrique (HCl 8N, 50 µl). Noter l'heure d'acidification, qui représente la fin de l'incubation.
- Replacer les fioles dans l'incubateur, sans les fermer hermétiquement. Laisser agiter les fioles à la noirceur pendant au moins 8h pour permettre au CO<sub>2</sub> non assimilé de s'échapper.
- Ajouter à chaque fiole 15 ml de liquide scintillant (Aquasol). Fermer les fioles hermétiquement.

Préparation des standards (en double):

- Ajouter à une fiole à scintillation en verre:
  - . 5 ml de l'échantillon d'eau analysé;
  - . 15 ml de liquide scintillant (Aquasol);
  - . 200 µl de la solution de bicarbonate de sodium marqué au carbone-14, laquelle est préalablement diluée par un facteur de 100;

- . 50  $\mu$ l d'acide chlorhydrique (HCl 8N).
- Fermer la fiole immédiatement et s'assurer que le bouchon soit hermétiquement étanche (pour éviter toute perte de  $^{14}\text{CO}_2$  avant le comptage).
- Tous les comptages se font par scintillation liquide, le temps de comptage étant de 10 minutes.

#### Analyses complémentaires

- Doser le carbone inorganique et/ou l'alcalinité et le pH.

ANNEXE 4

Echantillonnage des eaux des rivières Yamaska et Saint-François - résumé  
des dates des campagnes d'échantillonnage effectuées par l'équipe de terrain du MRN (Qualité)

TABLEAU A.4.1: IDENTIFICATION DES DATES D'ECHANTILLONNAGE: TRONCON PRINCIPAL DE LA RIVIERE SAINT-FRANCOIS (1974).

Date de prélèvement	Tronçon principal: Rivière Saint-François					
	Pierreville	Drummondville	Richmond	Bromptonville	Lennoxville (passe 1)	Lennoxville (passe 2)
1974						
HIVER						
1	16-1	15-1	15-1	15-1	15-1	6-2
2	13-2	12-2	12-2	12-2	12-2	6-3
3	13-3	12-3	12-3	12-3	12-3	
PRINTEMPS						
1	10-4	9-4	9-4	9-4	9-4	3-4
2	15-5	14-5	14-5	14-5	14-5	8-5
3	12-6	12-6	11-6	11-6	11-6	5-6
ETE						
1	10-7	9-7	9-7	9-7	9-7	4-7
2	7-8	7-8	6-8	6-8	6-8	31-7
3	5-9	4-9	4-9	4-9	4-9	28-8
AUTOMNE						
1	2-10	1-10	1-10	1-10	1-10	25-9
2	30-10	29-10	29-10	29-10	29-10	23-10
3	27-11	26-11	26-11	26-11	26-11	20-11

TABEAU A.4.2: IDENTIFICATION DES DATES D'ECHANTILLONNAGE: TRONCON PRINCIPAL DE LA RIVIERE SAINT-FRANCOIS (1974).

Date de prélèvement	Tronçon principal: Rivière Saint-François					
	Ascot Corner	East Angus	Au Saumon	Saint-Gérard	Disraeli	
1974						
HIVER	1	5-2	5-2	5-2	4-2	4-2
	2	5-3	5-3	5-3	4-3	4-3
	3					
PRINTEMPS	1	2-4	2-4	2-4	1-4	1-4
	2	7-5	7-5	7-5	6-5	6-5
	3	4-6	4-6	4-6	3-6	3-6
ETE	1	3-7	3-7	3-7	2-7	2-7
	2	30-7	30-7	30-7	29-7	29-7
	3	27-8	27-8	27-8	26-8	26-8
AUTOMNE	1	24-9	24-9	24-9	23-9	23-9
	2	22-10	22-10	22-10	21-10	21-10
	3	19-11	19-11	19-11	18-11	18-11

TABLEAU A.4.3: IDENTIFICATION DES DATES D'ECHANTILLONNAGE:  
TRIBUTAIRES DE LA RIVIERE SAINT-FRANCOIS (1974).

Date de prélèvement	Tributaires de la Rivière Saint-François							
	Riv. St-Germain	Lac Memphré- magog	Riv. Magog	Riv. Massawipi	Riv. Ascot	Riv. Eaton	Riv. Au Saumon	
1974								
HIVER	1	16-1	14-1	15-1	14-1	14-1	8-1	5-2
	2	13-2	11-2	12-2	11-2	11-2	5-2	5-3
	3	13-3	11-3	12-3	11-3	11-3	5-3	
PRINTEMPS	1	10-4	8-4	9-4	8-4	8-4	2-4	2-4
	2	15-5	13-5	14-5	13-5	13-5	7-5	7-5
	3	12-6	10-6	11-6	10-6	10-6	4-6	4-6
ETE	1	9-7	8-7	9-7	8-7	3-7	3-7	3-7
	2	6-8	5-8	6-8	5-8	5-8	30-7	30-7
	3	5-9	3-9	4-9	3-9	3-9	27-8	27-8
AUTOMNE	1	2-10	30-9	1-10	30-9	30-9	24-9	24-9
	2	30-10	28-10	29-10	28-10	28-10	22-10	22-10
	3	27-11	25-11	26-11	25-11	25-11	19-11	19-11

TABLEAU A.4.4: IDENTIFICATION DES DATES D'ECHANTILLONNAGE: TRONCON PRINCIPAL DE LA RIVIERE SAINT-FRANCOIS (1975).

Date de prélèvement	Tronçon principal: Rivière Saint-François					
	Pierreville	Drummondville	Richmond	Bromptonville	Lennoxville (passe 1)	Lennoxville (passe 2)
1975						
HIVER						
1	22-1	21-1	21-1	21-1	15-1	21-1
2	19-2	18-2	18-2	18-2	12-2	18-2
3	19-3	18-3	18-3	18-3	12-3	18-3
PRINTEMPS						
1	23-4	22-4	22-4	22-4	16-4	22-4
2	22-5	21-5	21-5	21-5	14-5	21-5
3	18-6	17-6	17-6	17-6	11-6	17-6
ETE						
1	30-7	29-7	29-7	29-7	23-7	29-7
2					20-8	
3					17-9	
AUTOMNE						
1	24-9	24-9	24-9	24-9	15-10	24-9
2	22-10	22-10	22-10	22-10	19-11	22-10
3	26-11	26-11	26-11	26-11		26-11

TABLEAU A.4.5: IDENTIFICATION DES DATES D'ECHANTILLONNAGE: TRONCON PRINCIPAL DE LA RIVIERE SAINT-FRANCOIS (1975).

Date de prélèvement	Tronçon principal: Rivière Saint-François				
	Ascot Corner	East Angus	Au Saumon	Saint-Gérard	Disraeli
1975					
HIVER					
1	14-1	14-1	14-1	13-1	13-1
2	3-2	11-2	11-2	10-2	10-2
3	11-3	11-3	11-3	10-3	10-3
PRINTEMPS					
1	15-4	15-4	15-4	14-4	14-4
2	13-5	13-5	13-5	12-5	12-5
3	10-6	10-6	10-6	9-6	9-6
ETE					
1	22-7	22-7	22-7	21-7	21-7
2	19-8	19-8	19-8	18-8	18-8
3	17-9	17-9	17-9	17-9	17-9
AUTOMNE					
1	15-10	15-10	15-10	15-10	15-10
2	19-11	19-11	19-11	19-11	19-11
3					

TABLEAU A.4.6: IDENTIFICATION DES DATES D'ECHANTILLONNAGE:  
 TRIBUTAIRES DE LA RIVIERE SAINT-FRANCOIS (1975).

Date de prélèvement	Tributaires de la Rivière Saint-François							
	Riv. St-Germain	Lac Memphré- magog	Lac Magog	Riv. Massawipi	Riv. Ascot	Riv. Eaton	Riv. Au Saumon	
1975								
HIVER	1	22-1	20-1	21-1	20-1	20-1	14-1	14-1
	2	19-2	17-2	18-2	17-2	17-2	11-2	11-2
	3	19-3	17-3	18-3	17-3	17-3	11-3	11-3
PRINTEMPS	1	23-4	21-4	22-4	21-4	21-4	15-4	15-4
	2	22-5	20-5	21-5	20-5	20-5	13-5	13-5
	3	18-6	16-6	17-6	16-6	16-6	10-6	10-6
ETE	1	30-7	28-7	29-7	28-7	28-7	22-7	22-7
	2						19-8	19-8
	3						17-9	17-9
AUTOMNE	1	24-9	24-9	24-9	24-9	24-9	15-10	15-10
	2	22-10	22-10	22-10	22-10	22-10	19-11	19-11
	3	26-11	26-11	26-11	26-11	26-11		

TABEAU A.4.7: IDENTIFICATION DES STATIONS D'ECHANTILLONNAGE:  
TRONÇON PRINCIPAL DE LA RIVIERE YAMASKA (1974).

Date de prélèvement	Tronçon principal: Rivière Yamaska							
	Yamaska	St-Marcel	Autoroute 20	Douville	St-Damase	Farnham	Adamsville	
1974								
HIVER	1	30-1	30-1	29-1	28-1	28-1	22-1	22-1
	2	27-2	27-2	26-2	26-2	25-2	19-2	19-2
	3						19-3	19-3
PRINTEMPS	1	27-3	27-3	26-3	26-3	25-3	23-4	24-4
	2	1-5	1-5	30-4	30-4	29-4	22-5	22-5
	3	29-5	29-5	28-5	28-5	27-5	18-6	18-6
ETE	1	27-6	27-6	26-6	26-6	25-6	16-7	16-7
	2	23-7	23-7	23-7	23-7	22-7	13-8	13-8
	3	21-8	21-8	20-8	20-8	19-8	10-9	10-9
	4	18-9	18-9	17-9	17-9	16-9		
AUTOMNE	1	17-10	17-10	16-10	16-10	15-10	8-10	8-10
	2	13-11	13-11	12-11	12-11	11-11	5-11	5-11
	3	11-12	11-12	10-12	10-12	9-12	3-12	3-12

TABLEAU A.4.8: IDENTIFICATION DES DATES D'ECHANTILLONNAGE:  
TRIBUTAIRES DE LA RIVIERE YAMASKA (1974).

Date de prélèvement	Tributaires de la Rivière Yamaska					
	Rivière St-Nazaire	Rivière Yamaska Nord			Rivière Yamaska Sud-Est	
		Aval de Waterloo	Aval de Granby	Aval de St-Alphonse	Aval de Cowansville	Aval de Brigham
1974						
HIVER						
1	21-1	23-1	23-1	23-1	22-1	22-1
2	18-2	20-2	20-2	20-2	19-2	19-2
3	18-3	20-3	20-3	20-3	19-3	19-3
PRINTEMPS						
1	22-4	24-4	24-4	24-4	23-4	23-4
2	21-5	23-5	23-5	23-5	22-5	22-5
3	17-6	19-6	19-6	19-6	18-6	18-6
ETE						
1	15-7	17-7	17-7	17-7	16-7	16-7
2	12-8	13-8	13-8	13-8	13-8	13-8
3	9-9	11-9	11-9	11-9	10-9	10-9
AUTOMNE						
1	7-10	9-10	9-10	9-10	8-10	8-10
2	4-11	6-11	6-11	6-11	5-11	5-11
3	2-12	4-12	4-12	4-12	3-12	3-12

TABLEAU A.4.9: IDENTIFICATION DES DATES D'ECHANTILLONNAGE:  
TRIBUTAIRES DE LA RIVIERE YAMASKA (1974).

Date de prélèvement	Tributaires de la Rivière Yamaska						
	Rivière David	Rivière Salvail	Rivière Chibouet	Rivière Noire			
				Roxton Falls	St-Hector	St-Pie	
1974							
HIVER	1	28-1	28-1	29-1	21-1	21-1	28-1
	2	27-2	27-2	26-2	18-2	18-2	25-2
	3				18-3	18-3	
PRINTEMPS	1	27-3	26-3	26-3	22-4	22-4	25-3
	2	1-5	30-4	30-4	21-5	21-5	29-4
	3	29-5	28-5	28-5	17-6	17-6	27-5
ETE	1	27-6	26-6	26-6			25-6
	2	23-7	23-7	23-7	15-7	15-7	22-7
	3	21-8	20-8	20-8	12-8	12-8	19-8
	4	18-9	17-9	17-9	10-9	9-9	16-9
AUTOMNE	1	17-10	16-10	16-10	7-10	7-10	15-10
	2	13-11	12-11	12-11	4-11	4-11	11-11
	3	11-12	10-12	10-12	2-12	2-12	9-12

TABLEAU A.4.10: IDENTIFICATION DES DATES D'ECHANTILLONNAGE:  
TRONÇON PRINCIPAL DE LA RIVIERE YAMASKA (1975).

Date de prélèvement	Tronçon principal: Rivière Yamaska						
	Yamaska	St-Marcel	Autoroute 20	Douville	St-Damase	Farnham	Adamsville
1975							
HIVER							
1	5-2	5-2	4-2	4-2	3-2	28-1	28-1
2	5-3	5-3	4-3	4-3	3-3	25-2	25-2
3							
PRINTEMPS							
1	3-4	2-4	2-4	2-4	1-4	25-3	25-3
2	7-5	7-5	6-5	6-5	5-5	29-4	29-4
3	4-6	4-6	3-6	3-6	2-6	27-5	27-5
ETE							
1	15-7	15-7	15-7	15-7	14-7	8-7	8-7
2	13-8	13-8	12-8	12-8	11-8	5-8	5-8
3							
AUTOMNE							
1	7-10	7-10	7-10	7-10	7-10	1-10	1-10
2	12-11	12-11	12-11	12-11	12-11	29-10	29-10
3							

TABLEAU A.4.11: IDENTIFICATION DES DATES D'ECHANTILLONNAGE:  
TRIBUTAIRES DE LA RIVIERE YAMASKA (1975).

Date de prélèvement	Tributaires de la Rivière Yamaska					
	Rivière St-Nazaire	Rivière Yamaska Nord			Rivière Yamaska Sud-Est	
		Aval de Waterloo	Aval de Granby	Aval de St-Alphonse	Aval de Cowansville	Aval de Brigham
1975						
HIVER	1 27-1	29-1	29-1	29-1	28-1	28-1
	2 24-2	26-2	26-2	26-2	25-2	25-2
	3					
PRINTEMPS	1 24-3	26-3	26-3	26-3	25-3	25-3
	2 28-4	30-4	30-4	30-4	29-4	29-4
	3 26-5	28-5	28-5	28-5	27-5	27-5
ETE	1 7-7	9-7	9-7	9-7	8-7	8-7
	2 4-8	5-8	5-8	5-8	5-8	5-8
	3					
AUTOMNE	1 1-10	1-10	1-10	1-10	1-10	1-10
	2 29-10	29-10	29-10	29-10	29-10	29-10
	3					

TABLEAU A.4.12: IDENTIFICATION DES DATES D'ECHANTILLONNAGE:  
 TRIBUTAIRES DE LA RIVIERE YAMASKA (1975).

Date de prélèvement	Tributaires de la Rivière Yamaska					
	Rivière David	Rivière Salvail	Rivière Chibouet	Rivière Noire		
				Roxton Falls	St-Hector	St-Pie
1975						
HIVER						
1	5-2	4-2	4-2	27-1	28-1	3-2
2	5-3	4-3	4-3	24-2	25-2	3-3
3						
PRINTEMPS						
1	3-4	2-4	2-4	24-3	25-3	1-4
2	7-5	6-5	6-5	28-4	29-4	5-5
3	4-6	3-6	3-6	26-5	27-5	2-6
ETE						
1	15-7	15-7	15-7	7-7	8-7	14-7
2	13-8	12-8	12-8	4-8	5-8	11-8
3						
AUTOMNE						
1	7-10	7-10	7-10	1-10	1-10	7-10
2	12-11	12-11	12-11	29-10	29-10	12-11
3						

ANNEXE 5

Qualité physico-chimique des eaux des rivières Yamaska  
et Saint-François - statistiques sommaires

TABLEAU A.5.1: Statistiques sommaires du phosphore total avant filtration pour les 19 stations du bassin versant de la rivière Yamaska et les 17 stations du bassin versant de la rivière Saint-François (mg P/l).

Stations	Nombre	Moyenne	Ecart-type	Ecart-type de la moyenne	Minimum	Maximum	Intervalle de confiance à 95% sur la moyenne	
1	18	.1372	.0564	.0133	.0300	.2800	.1092	TO .1653
2	18	.1311	.0488	.0115	.0400	.2700	.1068	TO .1554
3	18	.1478	.0617	.0145	.0600	.3200	.1171	TO .1785
4	17	.1494	.0818	.0198	.0400	.4000	.1073	TO .1915
5	18	.2344	.3548	.0836	.0900	1.6300	.0580	TO .4109
6	18	.1356	.0725	.0171	.0500	.3500	.0995	TO .1716
7	17	.1388	.0929	.0225	.0300	.4100	.0911	TO .1866
8	17	.1553	.0701	.0170	.0400	.3000	.1193	TO .1913
9	17	.0979	.0314	.0076	.0500	.1800	.0818	TO .1141
10	17	.1447	.0967	.0235	.0300	.4300	.0950	TO .1944
11	17	.1041	.0551	.0134	.0400	.2100	.0758	TO .1325
12	17	.6488	.4428	.1074	.1100	1.5700	.4212	TO .8765
13	18	.0367	.0534	.0126	0	.2400	.0101	TO .0632
14	17	.1829	.1985	.0481	.0400	.7250	.0809	TO .2850
15	18	.4894	.5249	.1237	.0500	2.1700	.2284	TO .7505
16	18	.7064	.6558	.1546	.0600	2.1600	.3803	TO 1.0325
17	16	.0906	.0565	.0133	.0500	.2000	.0625	TO .1187
18	16	.1247	.1059	.0265	.0500	.4750	.0683	TO .1811
19	17	.0524	.0236	.0057	.0200	.1000	.0402	TO .0645
TOTAL	331	.2067			0	2.1700		
20	15	.0617	.0662	.0171	.0200	.2500	.0250	TO .0923
21	17	.1668	.1311	.0318	.0500	.5900	.0993	TO .2342
22	17	.0300	.0194	.0047	.0100	.0900	.0200	TO .0400
23	15	.0420	.0317	.0082	.0100	.1400	.0245	TO .0595
24	17	.0288	.0173	.0042	0	.0700	.0199	TO .0377
25	17	.0294	.0299	.0072	0	.1300	.0140	TO .0448
26	17	.0171	.0149	.0036	0	.0600	.0094	TO .0247
27	35	.0209	.0162	.0027	0	.0600	.0153	TO .0264
28	16	.0206	.0144	.0036	0	.0600	.0130	TO .0283
29	17	.0165	.0146	.0035	0	.0400	.0090	TO .0240
30	17	.0153	.0112	.0027	0	.0300	.0095	TO .0211
31	17	.0162	.0204	.0050	0	.0850	.0057	TO .0267
32	17	.0112	.0078	.0019	0	.0300	.0072	TO .0152
33	17	.0141	.0106	.0026	0	.0400	.0086	TO .0196
34	17	.0088	.0086	.0021	0	.0300	.0044	TO .0132
35	17	.0141	.0100	.0024	0	.0400	.0090	TO .0193
36	17	.0124	.0195	.0047	0	.0800	.0023	TO .0224
TOTAL	302	.0301			0	.5900		

TABLEAU A.5.2: Statistiques sommaires du phosphore total après filtration pour les 19 stations du bassin versant de la rivière Yamaska et les 17 stations du bassin versant de la rivière Saint-François (mg P/l).

Stations	Nombre	Moyenne	Ecart-type	Ecart-type de la moyenne	Minimum	Maximum	Intervalle de confiance à 95% sur la moyenne	
1	17	.1029	.0517	.0125	.0200	.2000	.0764	TO .1295
2	17	.0924	.0455	.0110	.0300	.2300	.0690	TO .1157
3	17	.1171	.0606	.0147	.0400	.2800	.0859	TO .1482
4	16	.1100	.0809	.0202	.0300	.3800	.0669	TO .1531
5	17	.1997	.3762	.0912	0	1.6300	.0063	TO .3931
6	17	.1153	.0726	.0176	.0200	.3100	.0780	TO .1526
7	16	.0941	.0506	.0127	.0100	.2100	.0671	TO .1210
8	16	.1194	.0621	.0155	.0300	.2600	.0863	TO .1525
9	18	.0764	.0298	.0070	.0200	.1450	.0616	TO .0912
10	18	.1156	.0804	.0189	.0200	.3400	.0756	TO .1555
11	18	.0767	.0475	.0112	.0300	.1700	.0530	TO .1003
12	18	.4844	.3064	.0722	.0700	1.2600	.3321	TO .6368
13	18	.0139	.0150	.0035	0	.0600	.0064	TO .0214
14	17	.1171	.1135	.0275	.0200	.4700	.0587	TO .1754
15	17	.3212	.2821	.0684	.0500	1.1100	.1761	TO .4662
16	18	.6300	.6072	.1431	.0500	2.0600	.3280	TO .9320
17	18	.0811	.0570	.0134	.0100	.2000	.0528	TO .1094
18	17	.1056	.1024	.0248	.0300	.4550	.0530	TO .1582
19	17	.0482	.0265	.0064	.0100	.0900	.0346	TO .0619
TOTAL	327	.1606			0	2.0600		
20	17	.0159	.0123	.0030	0	.0500	.0096	TO .0222
21	16	.1075	.0813	.0203	.0200	.2900	.0642	TO .1508
22	17	.0218	.0188	.0046	.0100	.0800	.0121	TO .0314
23	17	.0194	.0198	.0048	0	.0800	.0092	TO .0296
24	17	.0129	.0131	.0032	0	.0400	.0062	TO .0197
25	16	.0175	.0129	.0032	0	.0400	.0106	TO .0244
26	17	.0100	.0117	.0028	0	.0300	.0040	TO .0160
27	34	.0121	.0101	.0017	0	.0400	.0085	TO .0156
28	17	.0135	.0127	.0031	0	.0400	.0070	TO .0201
29	17	.0106	.0103	.0025	0	.0300	.0053	TO .0159
30	16	.0081	.0083	.0021	0	.0200	.0037	TO .0126
31	16	.0100	.0110	.0027	0	.0400	.0042	TO .0158
32	16	.0100	.0103	.0026	0	.0300	.0045	TO .0155
33	16	.0100	.0089	.0022	0	.0200	.0052	TO .0148
34	16	.0063	.0072	.0018	0	.0200	.0024	TO .0101
35	16	.0100	.0082	.0020	0	.0300	.0056	TO .0144
36	16	.0075	.0077	.0019	0	.0200	.0034	TO .0116
TOTAL	297	.0174			0	.2900		

TABLEAU A.5.3: Statistiques sommaires du phosphore hydrolysable avant filtration pour les 19 stations du bassin versant de la rivière Yamaska et les 17 stations du bassin versant de la rivière Saint-François (mg P/l).

Stations	Nombre	Moyenne	Ecart-type	Ecart-type de la moyenne	Minimum	Maximum	Intervalle de confiance à 95% sur la moyenne	
1	17	.1212	.0524	.0127	0	.2500	.0942	TO .1481
2	17	.1112	.0452	.0110	0	.2100	.0879	TO .1344
3	17	.1212	.0551	.0134	.0400	.2700	.0928	TO .1495
4	16	.1300	.0942	.0235	0	.4000	.0798	TO .1802
5	17	.1947	.3338	.0810	.0600	1.4700	.0231	TO .3663
6	17	.1047	.0707	.0172	0	.2800	.0683	TO .1411
7	17	.1076	.0881	.0214	.0100	.3900	.0623	TO .1530
8	16	.1338	.0674	.0169	.0600	.2900	.0978	TO .1697
9	17	.0762	.0393	.0095	0	.1700	.0560	TO .0964
10	15	.1093	.0939	.0243	.0300	.3900	.0573	TO .1613
11	15	.0740	.0431	.0111	.0300	.1800	.0502	TO .0978
12	15	.5340	.4161	.1074	.0900	1.3700	.3036	TO .7644
13	16	.0125	.0100	.0025	0	.0300	.0072	TO .0178
14	15	.1533	.2068	.0534	.0300	.7250	.0388	TO .2679
15	16	.3806	.4457	.1114	.0400	1.7500	.1431	TO .6181
16	16	.5478	.4637	.1159	.0900	1.5400	.3007	TO .7949
17	16	.0625	.0484	.0121	0	.1700	.0367	TO .0883
18	14	.1004	.1130	.0302	.0400	.4750	.0351	TO .1656
19	15	.0367	.0241	.0062	0	.0900	.0233	TO .0500
TOTAL	304	.1629			0	1.7500		
20	12	.0246	.0116	.0033	.0100	.0450	.0172	TO .0319
21	14	.1325	.0987	.0264	.0200	.3300	.0755	TO .1895
22	14	.0164	.0074	.0020	0	.0300	.0121	TO .0207
23	12	.0233	.0098	.0028	.0100	.0400	.0171	TO .0296
24	14	.0143	.0085	.0023	0	.0300	.0094	TO .0192
25	14	.0107	.0114	.0030	0	.0300	.0041	TO .0173
26	14	.0086	.0077	.0021	0	.0200	.0041	TO .0130
27	29	.0086	.0064	.0012	0	.0300	.0062	TO .0111
28	13	.0108	.0064	.0018	0	.0200	.0069	TO .0146
29	14	.0064	.0093	.0025	0	.0300	.0011	TO .0118
30	15	.0093	.0080	.0021	0	.0300	.0049	TO .0138
31	15	.0090	.0216	.0056	0	.0850	.0029	TO .0209
32	15	.0040	.0051	.0013	0	.0100	.0012	TO .0068
33	15	.0027	.0046	.0012	0	.0100	.0001	TO .0052
34	14	.0014	.0036	.0010	0	.0100	.0007	TO .0035
35	14	.0029	.0047	.0013	0	.0100	.0002	TO .0056
36	15	.0027	.0046	.0012	0	.0100	.0001	TO .0052
TOTAL	253	.0161			0	.3300		

TABLEAU A.5.4: Statistiques sommaires du phosphore hydrolysable après filtration pour les 19 stations du bassin versant de la rivière Yamaska et les 17 stations du bassin versant de la rivière Saint-François (mg P/l).

Stations	Nombre	Moyenne	Ecart-type	Ecart-type de la moyenne	Minimum	Maximum	Intervalle de confiance à 95% sur la moyenne		
1	17	,0824	,0467	,0113	,0100	,1900	,0583	TO	,1064
2	17	,0694	,0361	,0088	,0100	,1700	,0508	TO	,0880
3	17	,0935	,0554	,0134	,0100	,2600	,0650	TO	,1220
4	16	,0888	,0880	,0220	0	,3800	,0419	TO	,1356
5	17	,1526	,3122	,0757	0	1,3400	,0079	TO	,3131
6	17	,0841	,0690	,0167	,0100	,2800	,0486	TO	,1196
7	16	,0697	,0511	,0128	,0100	,2100	,0424	TO	,0969
8	16	,0881	,0587	,0147	,0100	,2600	,0569	TO	,1194
9	12	,0569	,0349	,0082	0	,1450	,0396	TO	,0743
10	17	,0841	,0832	,0202	,0200	,3400	,0413	TO	,1269
11	17	,0535	,0429	,0104	0	,1700	,0315	TO	,0756
12	17	,3641	,2728	,0662	,0300	1,0100	,2239	TO	,5044
13	17	,0047	,0072	,0017	0	,0200	,0010	TO	,0084
14	16	,0875	,0976	,0244	,0100	,4100	,0355	TO	,1395
15	16	,2431	,2548	,0637	,0200	1,0100	,1074	TO	,3789
16	17	,5635	,5456	,1323	,0600	1,9000	,2830	TO	,8440
17	17	,0565	,0509	,0123	0	,1700	,0303	TO	,0826
18	16	,0841	,1048	,0262	,0100	,4550	,0282	TO	,1399
19	16	,0306	,0246	,0062	0	,0800	,0175	TO	,0437
TOTAL	317	,1244			0	1,9000			
20	15	,0053	,0052	,0013	0	,0100	,0025	TO	,0082
21	14	,0814	,0850	,0227	0	,2600	,0323	TO	,1305
22	14	,0036	,0050	,0013	0	,0100	,0007	TO	,0064
23	15	,0067	,0072	,0019	0	,0200	,0027	TO	,0107
24	15	,0040	,0074	,0019	0	,0200	,0001	TO	,0081
25	15	,0073	,0070	,0018	0	,0200	,0034	TO	,0112
26	15	,0013	,0035	,0009	0	,0100	,0006	TO	,0033
27	30	,0017	,0038	,0007	0	,0100	,0003	TO	,0031
28	15	,0047	,0052	,0013	0	,0100	,0018	TO	,0075
29	15	,0013	,0035	,0009	0	,0100	,0006	TO	,0033
30	15	,0027	,0046	,0012	0	,0100	,0001	TO	,0052
31	15	,0053	,0106	,0027	0	,0400	,0005	TO	,0112
32	15	,0013	,0035	,0009	0	,0100	,0006	TO	,0033
33	15	,0013	,0035	,0009	0	,0100	,0006	TO	,0033
34	15	,0007	,0026	,0007	0	,0100	,0008	TO	,0021
35	15	,0013	,0035	,0009	0	,0100	,0006	TO	,0033
36	15	,0020	,0041	,0011	0	,0100	,0003	TO	,0043
TOTAL	268	,0072			0	,2600			

**TABLEAU A.5.5:** Statistiques sommaires du phosphore organique avant filtration pour les 19 stations du bassin versant de la rivière Yamaska et les 17 stations du bassin versant de la rivière Saint-François (mg P/l).

Stations	Nombre	Moyenne	Ecart-type	Ecart-type de la moyenne	Minimum	Maximum	Intervalle de confiance à 95% sur la moyenne	
1	17	.0194	.0134	.0033	0	.0400	.0125	TO .0263
2	17	.0229	.0176	.0043	0	.0600	.0139	TO .0320
3	17	.0294	.0241	.0058	0	.1000	.0170	TO .0418
4	16	.0200	.0228	.0057	0	.0800	.0078	TO .0322
5	17	.0476	.0424	.0103	0	.1600	.0259	TO .0694
6	17	.0335	.0278	.0067	0	.1100	.0192	TO .0478
7	17	.0312	.0255	.0062	0	.0900	.0181	TO .0443
8	16	.0288	.0200	.0050	0	.0800	.0181	TO .0394
9	16	.0175	.0134	.0034	0	.0400	.0104	TO .0246
10	15	.0387	.0338	.0087	0	.1000	.0200	TO .0574
11	15	.0320	.0321	.0083	0	.0900	.0142	TO .0498
12	15	.1147	.1026	.0265	0	.3100	.0578	TO .1715
13	16	.0256	.0562	.0141	0	.2300	.0043	TO .0556
14	15	.0313	.0426	.0110	0	.1300	.0078	TO .0549
15	16	.1056	.1421	.0355	0	.4200	.0299	TO .1813
16	16	.1081	.1752	.0438	0	.6500	.0147	TO .2015
17	16	.0244	.0271	.0068	0	.1000	.0099	TO .0388
18	14	.0250	.0316	.0084	0	.1300	.0068	TO .0432
19	15	.0167	.0180	.0046	0	.0700	.0067	TO .0266
TOTAL	303	.0405			0	.6500		
20	12	.0417	.0713	.0206	0	.2200	.0037	TO .0870
21	14	.0364	.0739	.0197	0	.2600	.0062	TO .0791
22	14	.0150	.0183	.0049	0	.0700	.0044	TO .0256
23	12	.0225	.0299	.0086	0	.1100	.0035	TO .0415
24	14	.0150	.0151	.0040	0	.0500	.0063	TO .0237
25	14	.0207	.0273	.0073	0	.1000	.0049	TO .0365
26	14	.0093	.0114	.0030	0	.0400	.0027	TO .0159
27	29	.0138	.0161	.0030	0	.0500	.0077	TO .0199
28	13	.0085	.0080	.0022	0	.0200	.0036	TO .0133
29	14	.0100	.0104	.0028	0	.0300	.0040	TO .0160
30	15	.0060	.0083	.0021	0	.0200	.0014	TO .0106
31	15	.0067	.0098	.0025	0	.0300	.0013	TO .0121
32	15	.0080	.0094	.0024	0	.0300	.0028	TO .0132
33	15	.0120	.0121	.0031	0	.0400	.0053	TO .0187
34	14	.0064	.0093	.0025	0	.0300	.0011	TO .0118
35	14	.0100	.0118	.0031	0	.0400	.0032	TO .0168
36	15	.0100	.0185	.0048	0	.0700	.0003	TO .0203
TOTAL	253	.0144			0	.2600		

**TABLEAU A.5.6:** Statistiques sommaires sur le phosphore organique après filtration pour les 19 stations du bassin versant de la rivière Yamaska et le 17 stations du bassin versant de la rivière Saint-François (mg P/l).

Stations	Nombre	Moyenne	Ecart-type	Ecart-type de la moyenne	Minimum	Maximum	Intervalle de confiance à 95% sur la moyenne		
1	17	.0206	.0192	.0047	0	.0800	.0107	TO	.0305
2	17	.0229	.0190	.0046	0	.0600	.0132	TO	.0327
3	17	.0235	.0212	.0051	0	.0900	.0126	TO	.0344
4	16	.0212	.0145	.0036	0	.0400	.0135	TO	.0290
5	17	.0471	.0765	.0186	0	.2900	.0077	TO	.0864
6	17	.0312	.0183	.0044	0	.0700	.0216	TO	.0406
7	16	.0244	.0213	.0053	0	.0600	.0130	TO	.0357
8	16	.0313	.0290	.0072	0	.0900	.0158	TO	.0467
9	18	.0194	.0139	.0033	0	.0500	.0125	TO	.0264
10	17	.0335	.0330	.0080	0	.1000	.0166	TO	.0505
11	17	.0247	.0281	.0068	0	.0900	.0103	TO	.0391
12	17	.1065	.1060	.0257	0	.3900	.0520	TO	.1610
13	17	.0094	.0120	.0029	0	.0500	.0033	TO	.0156
14	16	.0337	.0356	.0089	0	.1200	.0148	TO	.0527
15	16	.0575	.0503	.0126	0	.1700	.0307	TO	.0843
16	17	.1006	.1619	.0393	0	.6200	.0173	TO	.1838
17	17	.0265	.0252	.0061	0	.1000	.0135	TO	.0394
18	16	.0256	.0266	.0066	0	.1100	.0115	TO	.0398
19	16	.0200	.0219	.0055	0	.0800	.0083	TO	.0317
TOTAL	317	.0358			0	.6200			
20	15	.0107	.0133	.0034	0	.0500	.0033	TO	.0181
21	14	.0271	.0310	.0083	0	.1000	.0092	TO	.0450
22	14	.0193	.0186	.0050	0	.0700	.0086	TO	.0300
23	15	.0140	.0172	.0045	.0100	.0600	.0045	TO	.0235
24	15	.0087	.0119	.0031	.0100	.0400	.0021	TO	.0152
25	14	.0100	.0104	.0028	0	.0300	.0040	TO	.0160
26	15	.0080	.0115	.0030	0	.0300	.0017	TO	.0143
27	30	.0097	.0096	.0018	0	.0400	.0061	TO	.0133
28	15	.0080	.0094	.0024	0	.0300	.0028	TO	.0132
29	15	.0087	.0106	.0027	0	.0300	.0028	TO	.0145
30	15	.0053	.0083	.0022	.0100	.0200	.0007	TO	.0100
31	15	.0047	.0064	.0017	0	.0200	.0011	TO	.0082
32	15	.0087	.0106	.0027	0	.0300	.0028	TO	.0145
33	15	.0080	.0086	.0022	0	.0200	.0032	TO	.0128
34	15	.0053	.0074	.0019	0	.0200	.0012	TO	.0094
35	15	.0080	.0086	.0022	0	.0300	.0032	TO	.0128
36	15	.0047	.0074	.0019	0	.0200	.0006	TO	.0088
TOTAL	267	.0098			.0100	.1000			

**TABEAU A.5.7:** Statistiques sommaires de l'azote total après filtration pour les 19 stations du bassin versant de la rivière Yamaska et les 17 stations du bassin versant de la rivière Saint-François (mg N/l).

Stations	Nombre	Moyenne	Ecart-type	Ecart-type de la moyenne	Minimum	Maximum	Intervalle de confiance à 95% sur la moyenne	
1	17	1,3671	,5759	,1397	,4700	2,3500	1,0710	TU 1,6632
2	17	1,0965	,7160	,1737	,2500	2,6500	,7283	TU 1,4646
3	17	1,3488	,6037	,1464	,3800	2,4400	1,0384	TU 1,6592
4	15	1,5473	,5499	,1549	,4700	2,3900	1,2151	TU 1,8795
5	16	2,0275	,7032	,1758	,8500	2,9400	1,6528	TU 2,4022
6	17	1,2900	,5388	,1307	,5900	2,5700	1,0130	TU 1,5670
7	16	1,1250	,4619	,1155	,4200	2,0100	,8789	TU 1,3711
8	17	1,1312	,4154	,1007	,5200	1,7500	,9176	TU 1,3446
9	18	1,0431	,4097	,0966	,4000	1,7400	,8393	TU 1,2468
10	19	,9253	,3479	,0798	,4200	1,7400	,7576	TU 1,0930
11	19	,8726	,3075	,0705	,4400	1,5200	,7244	TU 1,0208
12	19	2,4326	1,6803	,3855	,3200	5,6700	1,6227	TU 3,2425
13	19	,4753	,1645	,0423	,2000	,8800	,3863	TU ,5642
14	19	1,0053	,4981	,1143	,3800	2,4200	,7652	TU 1,2453
15	18	1,9817	2,0549	,4843	,3900	9,0200	,9598	TU 3,0035
16	19	2,1379	1,0190	,2338	,9400	4,0800	1,6467	TU 2,6290
17	19	,8489	,3019	,0693	,3300	1,6200	,7034	TU ,9945
18	19	1,1676	,4139	,0949	,6700	2,3400	,9682	TU 1,3671
19	19	,6021	,2506	,0575	,1700	1,3400	,4813	TU ,7229
TOTAL	339	1,2771			,1700	9,0200		
20	17	,5776	,2355	,0571	,2700	1,1700	,4566	TU ,6987
21	16	1,3606	,4925	,1231	,3700	2,0500	1,0982	TU 1,6231
22	17	,5512	,2084	,0506	,2800	1,1300	,4440	TU ,6583
23	17	,5994	,2179	,0528	,2400	,9600	,4874	TU ,7114
24	17	,4976	,1516	,0368	,2700	,7600	,4197	TU ,5756
25	16	,3531	,0850	,0212	,1900	,4700	,3078	TU ,3984
26	17	,3435	,1209	,0293	,1400	,6100	,2814	TU ,4057
27	34	,5085	,1662	,0285	,2900	,8900	,4505	TU ,5665
28	17	,5347	,1982	,0481	,2800	,9600	,4328	TU ,6366
29	16	,6544	,3053	,0763	,2600	1,1300	,4917	TU ,8171
30	16	,4894	,1751	,0438	,2100	,9300	,3961	TU ,5627
31	16	,6381	,2449	,0612	,2900	1,1600	,5076	TU ,7686
32	16	,4806	,1043	,0261	,3400	,6400	,4250	TU ,5362
33	16	,4519	,0919	,0230	,3200	,6500	,4029	TU ,5008
34	16	,5075	,1476	,0369	,3200	,7900	,4289	TU ,5861
35	16	,4756	,0951	,0238	,3600	,6800	,4249	TU ,5263
36	16	,4813	,0953	,0238	,3500	,7300	,4305	TU ,5320
TOTAL	296	,5552			,1400	2,0500		

TABLEAU A.5.8: Statistiques sommaires de l'azote organique après filtration pour les 19 stations du bassin versant de la rivière Yamaska et les 17 stations du bassin versant de la rivière Saint-François (mg N/l).

Stations	Nombre	Moyenne	Ecart-type	Ecart-type de la moyenne	Minimum	Maximum	Intervalle de confiance à 95% sur la moyenne	
1	17	.3318	.1539	.0373	.0800	.6500	.2526	TO .4109
2	17	.3488	.1782	.0432	.1500	.8500	.2572	TO .4405
3	17	.3047	.1500	.0364	.0700	.7300	.2276	TO .3619
4	15	.2840	.1396	.0361	.0400	.5300	.2067	TO .3613
5	16	.4100	.2940	.0735	.0400	.9800	.2533	TO .5667
6	17	.2871	.1822	.0442	.0300	.6300	.1934	TO .3807
7	16	.2556	.1485	.0371	.0100	.5400	.1765	TO .3348
8	17	.2759	.1441	.0350	0	.5100	.2018	TO .3500
9	18	.2500	.1483	.0350	0	.5600	.1762	TO .3238
10	19	.2826	.2219	.0509	0	.8400	.1757	TO .3896
11	19	.2505	.1989	.0456	0	.8600	.1546	TO .3464
12	19	.8879	.7732	.1774	.0300	2.8500	.5152	TO 1.2606
13	19	.1805	.0966	.0222	.0300	.3300	.1340	TO .2271
14	18	.2722	.1601	.0377	.0600	.6000	.1926	TO .3518
15	18	.7761	1.1487	.2708	0	5.0000	.2049	TO 1.3474
16	19	.7011	.6317	.1449	0	2.0200	.3966	TO 1.0055
17	19	.2547	.1998	.0458	0	.6600	.1584	TO .3511
18	18	.2839	.2616	.0617	0	.8800	.1538	TO .4140
19	19	.2379	.1525	.0350	.0500	.5800	.1644	TO .3114
TOTAL	337	.3645			0	5.0000		
20	17	.2729	.0755	.0183	.1600	.4400	.2341	TO .3117
21	16	.5306	.1985	.0496	.2700	.9300	.4249	TO .6364
22	17	.2806	.0850	.0206	.1400	.4100	.2369	TO .3243
23	17	.2894	.1501	.0364	.0600	.7100	.2122	TO .3666
24	17	.2453	.0837	.0203	.1200	.5100	.2023	TO .2883
25	16	.2200	.0885	.0221	.0900	.4200	.1729	TO .2671
26	17	.2118	.0682	.0165	.0900	.3900	.1767	TO .2468
27	34	.2326	.0826	.0142	.0900	.5000	.2038	TO .2615
28	17	.1659	.0802	.0194	.0300	.3600	.1247	TO .2071
29	16	.1712	.0850	.0213	.0400	.3500	.1260	TO .2165
30	16	.2169	.0615	.0154	.1400	.3900	.1841	TO .2496
31	16	.2238	.0927	.0232	.1000	.4100	.1743	TO .2732
32	16	.2275	.0504	.0126	.1400	.3400	.2006	TO .2544
33	16	.2244	.0400	.0110	.1700	.3200	.2009	TO .2478
34	16	.1862	.0804	.0201	.0500	.3600	.1434	TO .2291
35	16	.2319	.0506	.0127	.1800	.3400	.2049	TO .2589
36	16	.2425	.0623	.0156	.1500	.4000	.2093	TO .2757
TOTAL	296	.2447			.0300	.9300		

TABLEAU A.5.9: Statistiques sommaires de l'azote inorganique après filtration pour les 19 stations du bassin versant de la rivière Yamaska et les 17 stations du bassin versant de la rivière Saint-François (mg N/l).

Stations	Nombre	Moyenne	Ecart-type	Ecart-type de la moyenne	Minimum	Maximum	Intervalle de confiance à 95% sur la moyenne	
1	17	1,0353	,6065	,1471	,0600	2,0700	,7235	TO 1,3471
2	17	,7476	,6686	,1622	,0300	2,5000	,4039	TO 1,0914
3	17	1,0441	,5986	,1452	,1300	2,1700	,7364	TO 1,3519
4	15	1,2633	,6490	,1676	,1500	2,2000	,9039	TO 1,6227
5	16	1,6175	,8251	,2063	,2100	2,8300	1,1778	TO 2,0572
6	17	1,0029	,5460	,1324	,3000	2,2400	,7222	TO 1,2837
7	16	,8694	,4769	,1192	,2100	1,8900	,6153	TO 1,1235
8	17	,8553	,4689	,1137	,2500	1,7500	,6142	TO 1,0964
9	18	,7931	,4406	,1039	,1700	1,6300	,5739	TO 1,0122
10	19	,6426	,3625	,0832	,1100	1,5400	,4679	TO ,8174
11	19	,6221	,3585	,0822	,0200	1,1500	,4493	TO ,7949
12	19	1,5447	1,3992	,3210	,0600	4,6500	,8703	TO 2,2192
13	19	,2947	,2072	,0475	,0100	,8400	,1949	TO ,5946
14	18	,7050	,4156	,0980	,2900	2,0200	,4983	TO ,9117
15	18	1,2056	1,1772	,2775	,0600	4,0200	,6202	TO 1,7910
16	19	1,4368	,6090	,1397	,5700	2,4000	1,1433	TO 1,7304
17	19	,5942	,3947	,0905	,0200	1,5200	,4040	TO ,7644
18	18	,8903	,5221	,1231	,0200	2,5400	,6306	TO 1,1499
19	19	,3642	,2996	,0687	,0200	1,2900	,2198	TO ,5086
TOTAL	337	,9127			,0100	4,6500		
20	17	,3047	,2411	,0585	,0100	,9300	,1808	TO ,4287
21	16	,8300	,4064	,1016	,0900	1,5800	,6134	TO 1,0466
22	17	,2706	,2194	,0532	,0100	,9000	,1578	TO ,3834
23	17	,3100	,1747	,0424	,0800	,7100	,2202	TO ,3998
24	17	,2524	,1563	,0379	,0700	,5300	,1720	TO ,3327
25	17	,1500	,1067	,0259	,0200	,4200	,0951	TO ,2049
26	17	,1318	,1147	,0278	,0100	,4100	,0728	TO ,1908
27	34	,2759	,1745	,0299	,0700	,7100	,2150	TO ,3368
28	17	,3688	,2132	,0517	,1000	,7900	,2592	TO ,4784
29	16	,4831	,3377	,0844	,1000	1,0400	,3032	TO ,6631
30	16	,2725	,1878	,0469	,0500	,7900	,1724	TO ,3726
31	16	,4144	,2912	,0728	,1100	1,0600	,2592	TO ,5695
32	16	,2531	,1049	,0262	,1200	,4900	,1972	TO ,3090
33	16	,2275	,0855	,0214	,1100	,3800	,1819	TO ,2731
34	16	,3213	,1873	,0468	,1000	,7000	,2214	TO ,4211
35	16	,2438	,0643	,0161	,1700	,4000	,2095	TO ,2780
36	16	,2388	,0534	,0134	,1700	,3400	,2103	TO ,2672
TOTAL	297	,3109			,0100	1,5800		

**TABEAU A.5.10:** Statistiques sommaires de l'azote ammoniacal après filtration pour les 19 stations du bassin versant de la rivière Yamaska et les 17 stations du bassin versant de la rivière Saint-François (mg N/l).

Stations	Nombre	Moyenne	Ecart-type	Ecart-type de la moyenne	Minimum	Maximum	Intervalle de confiance à 95% sur la moyenne	
1	17	.4288	.4334	.1051	.0100	1.3000	.2060	TO .6516
2	17	.3829	.4323	.1048	.0100	1.6000	.1607	TO .6052
3	17	.4018	.4403	.1068	0	1.4000	.1754	TO .6281
4	15	.5267	.4970	.1283	.0100	1.3800	.2515	TO .8019
5	16	.7425	.5867	.1467	.0500	1.7000	.4299	TO 1.0551
6	17	.4659	.3834	.0930	.0100	1.5000	.2688	TO .6630
7	16	.3912	.2966	.0742	0	1.1000	.2332	TO .5493
8	17	.3653	.2728	.0662	0	.8500	.2250	TO .5056
9	18	.3431	.2485	.0586	0	.8350	.2195	TO .4666
10	19	.2553	.2587	.0594	.0200	1.0000	.1306	TO .3800
11	19	.1826	.1838	.0422	0	.5300	.0941	TO .2712
12	19	1.1179	1.4512	.3283	0	4.6000	.4281	TO 1.8077
13	19	.0711	.0796	.0183	0	.3200	.0327	TO .1094
14	18	.3267	.4856	.1145	0	2.0000	.0852	TO .5682
15	18	.8483	1.2164	.2867	0	4.0000	.2434	TO 1.4533
16	19	.8763	.5694	.1306	.1200	2.0000	.6019	TO 1.1506
17	19	.2611	.2464	.0565	0	.9300	.1423	TO .3798
18	18	.3881	.3911	.0922	.0100	1.6600	.1936	TO .5425
19	19	.1047	.1486	.0341	0	.6600	.0531	TO .1764
<b>TOTAL</b>	<b>337</b>	<b>.4440</b>			<b>0</b>	<b>4.6000</b>		
20	17	.0747	.1312	.0318	0	.4600	.0073	TO .1421
21	16	.4687	.3139	.0785	0	.9700	.3015	TO .6366
22	17	.0418	.0686	.0166	0	.2700	.0065	TO .0770
23	17	.0629	.0957	.0232	0	.3000	.0137	TO .1121
24	17	.0235	.0406	.0098	0	.1200	.0026	TO .0444
25	17	.0282	.0366	.0089	0	.1300	.0094	TO .0471
26	17	.0265	.0337	.0082	0	.1200	.0091	TO .0438
27	34	.0279	.0632	.0108	0	.2400	.0059	TO .0500
28	17	.0429	.0602	.0146	0	.2500	.0120	TO .0739
29	16	.0437	.0669	.0167	0	.2700	.0081	TO .0794
30	16	.0413	.1009	.0252	0	.3600	.0125	TO .0950
31	16	.0613	.1205	.0301	0	.5000	.0030	TO .1255
32	16	.0175	.0373	.0093	0	.1500	.0024	TO .0374
33	16	.0106	.0124	.0031	0	.0300	.0040	TO .0172
34	16	.0231	.0484	.0121	0	.2000	.0027	TO .0489
35	16	.0250	.0371	.0093	0	.1500	.0053	TO .0447
36	16	.0119	.0172	.0043	0	.0600	.0027	TO .0210
<b>TOTAL</b>	<b>297</b>	<b>.0583</b>			<b>0</b>	<b>.9700</b>		

TABLEAU A.5.11: Statistiques sommaires de l'azote nitrate après filtration pour les 19 stations du bassin versant de la rivière Yamaska et les 17 stations du bassin versant de la rivière Saint-François (mg N/l).

Stations	Nombre	Moyenne	Ecart-type	Ecart-type de la moyenne	Minimum	Maximum	Intervalle de confiance à 95% sur la moyenne	
1	17	.6065	.2527	.0613	.0500	.8800	.4765	TO .7364
2	17	.3647	.2732	.0663	.0200	.9000	.2243	TO .5052
3	17	.6424	.2531	.0614	.0200	1.0200	.5122	TO .7725
4	16	.8456	.5477	.1369	.1400	2.4800	.5538	TO 1.1375
5	17	.8688	.4384	.1063	.1100	2.2600	.6434	TO 1.0943
6	17	.5571	.2221	.0539	.0100	.8100	.4229	TO .6512
7	16	.4781	.2313	.0578	.0200	.8100	.3549	TO .6014
8	17	.4900	.2418	.0587	.0200	.9000	.3657	TO .6143
9	18	.4500	.2086	.0492	.0900	.9000	.3463	TO .5537
10	19	.3874	.1430	.0328	.0900	.6800	.3185	TO .4563
11	19	.4395	.2062	.0473	.0100	.7000	.3401	TO .5388
12	19	.4268	.3134	.0719	.0100	1.1700	.2758	TO .5779
13	19	.2237	.1431	.0328	.0100	.5200	.1547	TO .2927
14	19	.3942	.1968	.0452	.0200	.6800	.2993	TO .4891
15	19	.3395	.2580	.0592	.0100	.7200	.2151	TO .4638
16	19	.5605	.4121	.0945	.1400	2.0300	.3619	TO .7591
17	19	.3332	.1819	.0417	.0100	.6100	.2455	TO .4208
18	19	.5042	.1988	.0456	.0100	.8600	.4084	TO .6090
19	19	.2595	.1777	.0408	.0100	.6300	.1738	TO .3451
TOTAL	342	.4750			.0100	2.4800		
20	17	.2300	.1535	.0372	.0100	.5200	.1511	TO .3089
21	17	.3694	.1652	.0401	.0900	.6800	.2845	TO .4544
22	17	.2288	.1781	.0432	.0100	.6300	.1373	TO .3204
23	17	.2471	.1427	.0346	.0700	.5000	.1737	TO .3204
24	17	.2288	.1386	.0336	.0700	.5000	.1576	TO .3001
25	17	.1218	.0876	.0212	.0100	.2900	.0767	TO .1668
26	17	.1053	.0918	.0223	.0100	.2900	.0581	TO .1525
27	34	.2479	.1401	.0240	.0500	.4700	.1991	TO .2968
28	17	.3259	.1748	.0424	.0900	.6300	.2360	TO .4158
29	17	.4706	.3296	.0799	.0900	1.0200	.3011	TO .6400
30	16	.2313	.1201	.0300	.0500	.4300	.1673	TO .2952
31	16	.3531	.2265	.0566	.0700	.6800	.2324	TO .4738
32	16	.2356	.0908	.0227	.1100	.3400	.1873	TO .2840
33	16	.2169	.0875	.0219	.1100	.3800	.1703	TO .2635
34	16	.2981	.1649	.0412	.0900	.5400	.2103	TO .3860
35	16	.2188	.0549	.0137	.1400	.3200	.1895	TO .2480
36	16	.2269	.0524	.0131	.1600	.3400	.1990	TO .2548
TOTAL	299	.2558			.0100	1.0200		

TABLEAU A:5:12: Statistiques sommaires du carbone organique après filtration pour les 19 stations du bassin versant de la rivière Yamaska et les 17 stations du bassin versant de la rivière Saint-François (mg C/l).

Stations	Nombre	Moyenne	Ecart-type	Ecart-type de la moyenne	Minimum	Maximum	Intervalle de confiance à 95% sur la moyenne	
1	13	10,6923	4,4839	1,2436	5,5000	19,0000	7,9827	TO 13,4019
2	13	14,7692	5,9288	1,6444	6,0000	27,0000	11,1865	TO 18,3520
3	13	10,6538	4,2690	1,1840	6,0000	19,0000	8,0741	TO 13,2336
4	12	22,7917	28,9572	8,3592	6,0000	112,0000	4,3931	TO 41,1902
5	13	17,8462	7,9801	2,2133	7,0000	36,0000	13,0238	TO 22,6685
6	13	11,1538	3,8100	1,0567	7,0000	18,0000	8,8515	TO 13,4562
7	12	11,7500	4,3615	1,2591	4,5000	19,0000	8,9788	TO 14,5212
8	13	12,7692	10,0117	2,7767	4,5000	43,0000	6,7192	TO 18,8192
9	14	12,7500	10,3622	2,7694	4,0000	45,0000	6,7670	TO 18,7330
10	15	8,0000	3,3541	,8660	4,0000	17,0000	6,1426	TO 9,8574
11	15	7,0333	3,3566	,8667	4,0000	15,5000	5,1745	TO 8,8921
12	15	16,2667	7,9618	2,0609	7,0000	32,5000	11,8465	TO 20,6869
13	15	5,8333	2,0845	,5382	2,0000	9,0000	4,6790	TO 6,9377
14	15	7,6333	3,7248	,9617	3,0000	15,0000	5,5706	TO 9,6960
15	14	12,3571	5,8751	1,5702	5,0000	27,5000	8,9650	TO 15,7493
16	15	11,1667	5,2565	1,3572	5,5000	24,5000	8,2557	TO 14,0776
17	15	9,8000	3,8684	,9472	5,0000	16,5000	7,7685	TO 11,8315
18	15	10,5667	5,4441	1,4057	4,0000	26,0000	7,5518	TO 13,5815
19	15	8,2000	3,3263	,8588	4,0000	14,5000	6,3580	TO 10,0420
TOTAL	265	11,4943			2,0000	112,0000		
20	15	9,7000	2,2023	,5686	7,0000	14,0000	8,4804	TO 10,9196
21	14	14,0357	3,3881	,9055	10,5000	19,0000	12,0795	TO 15,9920
22	14	9,7143	2,2678	,6061	7,0000	14,0000	8,4049	TO 11,0237
23	14	11,1071	3,6012	,9625	7,0000	21,0000	9,0279	TO 13,1864
24	15	9,1000	2,2216	,5736	6,0000	12,5000	7,8697	TO 10,3303
25	15	6,6667	2,3427	,6049	2,0000	11,0000	5,3693	TO 7,9640
26	14	6,4643	2,6126	,6982	3,0000	13,0000	4,9558	TO 7,9727
27	27	10,5741	2,6556	,5111	6,0000	16,5000	9,5236	TO 11,6246
28	15	6,4333	2,9330	,7573	2,0000	11,5000	4,8091	TO 8,0576
29	15	6,0000	3,6351	,9386	0	12,5000	3,9869	TO 8,0131
30	11	11,5000	3,5496	1,0703	7,0000	18,0000	9,1153	TO 13,8847
31	11	7,1818	3,9069	1,1780	3,5000	14,0000	4,5571	TO 9,8065
32	11	9,1818	2,5814	,7783	5,5000	15,0000	7,4476	TO 10,9160
33	11	9,9091	2,5963	,7828	5,5000	15,0000	8,1649	TO 11,6533
34	11	7,3636	4,0564	1,2231	3,0000	15,0000	4,6385	TO 10,0888
35	11	10,0909	1,7438	,5258	7,0000	13,0000	8,9194	TO 11,2624
36	11	10,6364	1,7189	,5183	8,0000	14,0000	9,0816	TO 11,7911
TOTAL	235	9,1787			0	21,0000		

TABLEAU A.5.13: RESULTATS DE L'ANALYSE DE VARIANCE APPLIQUEE AUX STATIONS DU BASSIN DE LA RIVIERE YAMASKA.

Paramètres	Degrés de liberté		valeur calculée de F	niveau de signification <sup>1</sup>
	entre les séries	à l'intérieur des séries		
P-total non filtré	18	312	10.531	<0.001
P-total filtré	18	308	10.675	<0.001
P-hydr. non filtré	18	285	8.715	<0.001
P-hydr. filtré	18	298	9.541	<0.001
P-org. non filtré	18	284	3.932	<0.001
P-org. filtré	18	298	3.992	<0.001
N-total filtré	18	320	8.161	<0.001
N-org. filtré	18	318	4.698	<0.001
N-inorg. filtré	18	318	5.895	<0.001
N-NH <sub>4</sub> filtré	18	318	4,322	<0.001
N-NO <sub>3</sub> filtré	18	323	6.827	<0.001
C-org. filtré	18	246	3.247	<0.001

<sup>1</sup> Le niveau de signification exprime la probabilité de se tromper en rejetant l'hypothèse d'égalité des moyennes.

**TABLEAU A.5.14: RESULTATS DE L'ANALYSE DE VARIANCE APPLIQUEE AUX STATIONS DU BASSIN DE LA RIVIERE SAINT-FRANCOIS.**

Paramètres	Degrés de liberté		valeur calculée de F	niveau de signification <sup>1</sup>
	entre les séries	à l'intérieur des séries		
P-total non filtré	16	285	16.310	<0.001
P-total filtré	16	280	18.162	<0.001
P-hydr. non filtré	16	236	21.421	<0.001
P-hydr. filtré	16	251	12.856	<0.001
P-org. non filtré	16	236	1.845	0.027
P-org. filtré	16	250	2.809	<0.001
N-total filtré	16	279	18.785	<0.001
N-org. filtré	16	279	12.572	<0.001
N-inorg. filtré	16	280	9.767	<0.001
N-NH <sub>4</sub> filtré	16	280	18.679	<0.001
N-NO <sub>3</sub> filtré	16	282	5.370	<0.001
C-org. filtré	16	218	8.140	<0.001

<sup>1</sup> Le niveau de signification exprime la probabilité de se tromper en rejetant l'hypothèse d'égalité des moyennes.

TABLEAU A.5.15: RESULTATS DE L'ANALYSE DE VARIANCE APPLIQUEE AUX CONCENTRATIONS MOYENNES PERIODIQUES OBSERVEES A SEIZE STATIONS DANS LE BASSIN DE LA RIVIERE YAMASKA<sup>1</sup>.

Paramètres	Degrés de liberté		Valeur calculée de F	Niveau de signification <sup>2</sup>
	entre les séries	à l'intérieur des séries		
P-total non filtré	6	104	4.421	0.001
P-total filtré	6	103	5.053	<0.001
P-hydr. non filtré	6	103	4.911	<0.001
P-hydr. filtré	6	103	5.888	<0.001
P-org. non filtré	6	103	6.527	<0.001
P-org. filtré	6	103	2.497	0.027
N-total filtré	6	105	6.724	<0.001
N-org. filtré	6	105	10.013	<0.001
N-inorg. filtré	6	105	11.525	<0.001
N-NH <sub>4</sub> filtré	6	105	8.300	<0.001
N-NO <sub>3</sub> filtré	6	105	9.213	<0.001
C-org. filtré	5	90	3.038	0.014

<sup>1</sup> Les stations 03031D, 03031C et 03031R ont été éliminées (voir le texte pour des explications).

<sup>2</sup> Le niveau de signification exprime la probabilité de se tromper en rejetant l'hypothèse d'égalité des moyennes.

TABLEAU A.5.16: RESULTATS DE L'ANALYSE DE VARIANCE APPLIQUEE AUX CONCENTRATIONS MOYENNES PERIODIQUES OBSERVEES A SEIZE STATIONS DANS LE BASSIN DE LA RIVIERE SAINT-FRANCOIS<sup>1</sup>.

Paramètres	Degrés de liberté		Valeur calculée de F	Niveau de signification <sup>2</sup>
	entre les séries	à l'intérieur des séries		
P-total non filtré	6	105	2,043	0.066
P-total filtré	6	105	3.654	0.002
P-hydr. non filtré	5	90	1.405	0.230
P-hydr. filtré	6	105	3.960	0.001
P-org. non filtré	5	90	6.545	<0.001
P-org. filtré	6	105	4.441	<0.001
N-total filtré	6	105	14.169	<0.001
N-org. filtré	6	105	3.461	0.004
N-org. filtré	6	105	13.991	<0.001
N-NH <sub>4</sub> filtré	6	105	11.935	<0.001
N-NO <sub>3</sub> filtré	6	105	12.278	<0.001
C-org. filtré	5	90	6.303	<0.001

<sup>1</sup> La station 03021N a été éliminée (voir le texte pour des explications).

<sup>2</sup> Le niveau de signification exprime la probabilité de se tromper en rejetant l'hypothèse d'égalité des moyennes.

TABLEAU A.5.17: FRACTIONS PARTICULAIRES MOYENNES DE PHOSPHORE TOTAL, DE PHOSPHORE ORGANIQUE ET DE PHOSPHORE HYDROLYSABLE - COMPARAISON DES EAUX DES BASSINS DES RIVIERES YAMASKA ET SAINT-FRANCOIS.

Paramètre	Fraction particulaire <sup>1</sup>		Paramètres statistiques <sup>2</sup>		
	Moyenne Rivière Yamaska	Moyenne Rivière Saint-François	Valeur de t	Nombre de degrés de liberté	Niveau de signification
P-total	0,19	0,42	-0,4	611	< 0,001
P-organique	0,08	0,30	-1,8	533	0,065
P-hydrolysable	0,22	0,54	-5,2	535	< 0,001

<sup>1</sup> La fraction particulaire moyenne a été obtenue à partir du rapport de la différence moyenne entre les échantillons naturels et les échantillons filtrés sur la concentration moyenne des échantillons naturels  $\left( \frac{\sum_{i=1}^n (X_{1i} - X_{2i})}{n \bar{X}_1} \right)$ .

<sup>2</sup> Test de Student; le niveau de signification exprime la probabilité de se tromper en rejetant l'hypothèse d'égalité des moyennes.

TABLEAU A.5.18: RESULTATS DE L'ANALYSE DE VARIANCE APPLIQUEE AUX MOYENNES PERIODIQUES DE FORMES OXYDEES ET ORGANIQUES D'AZOTE ET DE PHOSPHORE POUR LES STATIONS DU BASSIN DE LA RIVIERE YAMASKA.

Paramètre <sup>1</sup>	Degrés de liberté		Valeur calculée de t	Niveau de signification <sup>2</sup>
	entre les séries	à l'intérieur des séries		
{N-NH <sub>4</sub> /N-inorg.} (F)	6	105	8.858	<0.001
{N-org./N-total} (F)	6	105	23.340	<0.001
{P-org./P-total} (F)	6	103	10.096	<0.001
{P-org./P-total} (NF)	6	103	5.208	<0.001

<sup>1</sup> F= échantillon filtré; NF= échantillon non filtré.

<sup>2</sup> Le niveau de signification exprime la probabilité de se tromper en rejetant l'hypothèse d'égalité des moyennes.

TABLEAU A.5.19: RESULTATS DE L'ANALYSE DE VARIANCE APPLIQUEE AUX MOYENNES PERIODIQUES DES FORMES OXYDEES ET ORGANIQUES D'AZOTE ET DE PHOSPHORE POUR LES STATIONS DU BASSIN DE LA RIVIERE SAINT-FRANCOIS.

Paramètre <sup>1</sup>	Degrés de liberté		Valeur calculée de t	Niveau de signification <sup>2</sup>
	entre les séries	à l'intérieur des séries		
{N-NH <sub>4</sub> /N-inorg.} (F)	6	105	3,199	0.006
{N-org./N-total} (F)	6	105	19,202	<0.001
{P-org./P-total} (F)	6	105	5.609	<0.001
{P-org./P-total} (NF)	5	90	7,805	<0.001

<sup>1</sup> F = échantillon filtré; NF = échantillon non filtré.

<sup>2</sup> Le niveau de signification exprime la probabilité de se tromper en rejetant l'hypothèse d'égalité des moyennes.

ANNEXE 6

Qualité physico-chimique des eaux de la rivière  
Yamaska - analyse multivariée des données rela-  
tives aux substances nutritives

B. Bobée

D. Cluis

R. Robitaille

## 1. INTRODUCTION

Dans la section 3.1 de ce rapport, les données physico-chimiques pertinentes à l'étude des substances nutritives ont été considérées. Le nombre considérable de données disponibles (36 stations / 24 prélèvements / 7 paramètres / échantillon filtré ou non filtré) mérite d'être souligné. Devant une telle masse d'information, les techniques classiques de traitement (ex.: calculs statistiques élémentaires tels que moyenne, écart type, percentiles; graphiques représentant l'évolution d'un paramètre dans le temps) sont très lourdes et conduisent à des résultats descriptifs et souvent sommaires. Il en résulte un traitement superficiel et incomplet des données, et les relations inter-paramètres et inter-stations sont souvent négligées. Dans le but de combler cette lacune et, plus particulièrement, *de faire ressortir des similitudes de comportement entre stations*, un essai préliminaire fut réalisé sur les données provenant du bassin de la rivière Yamaska en employant une technique statistique multivariée. Ce bassin fut choisi parce que le tableau de données était plus complet que celui relatif au bassin de la rivière Saint-François; en effet, comme nous l'avons vu dans la section 3.1, les concentrations en éléments nutritifs observées dans les eaux du bassin de la rivière Yamaska dépassent presque toujours les limites de détection des méthodes analytiques employées, alors que dans le bassin de la rivière Saint-François, elles sont souvent en deçà de ces limites.

## 2. DESCRIPTION DE L'ANALYSE STATISTIQUE MULTIVARIEE

Pour le bassin de la rivière Yamaska, on disposait de données provenant des 19 stations d'échantillonnage opérées depuis décembre 1973. La Figure A.6.1 indique les stations retenues et leur code (A, ..., R).

A ces stations, environ 18 paramètres avaient été mesurés avec une fréquence mensuelle (voir la section 2.3.1 de ce rapport), mais pour les fins de cette analyse, on s'est limité à l'étude du comportement des substances nutritives et du potentiel de fertilité. Les paramètres retenus pour étude (N-NH<sub>4</sub>, N-NO<sub>3</sub>, N-Kjeldahl, P-PO<sub>4</sub>, P-total, Potentiel de fertilité) étaient déterminés à partir des échantillons non filtrés.

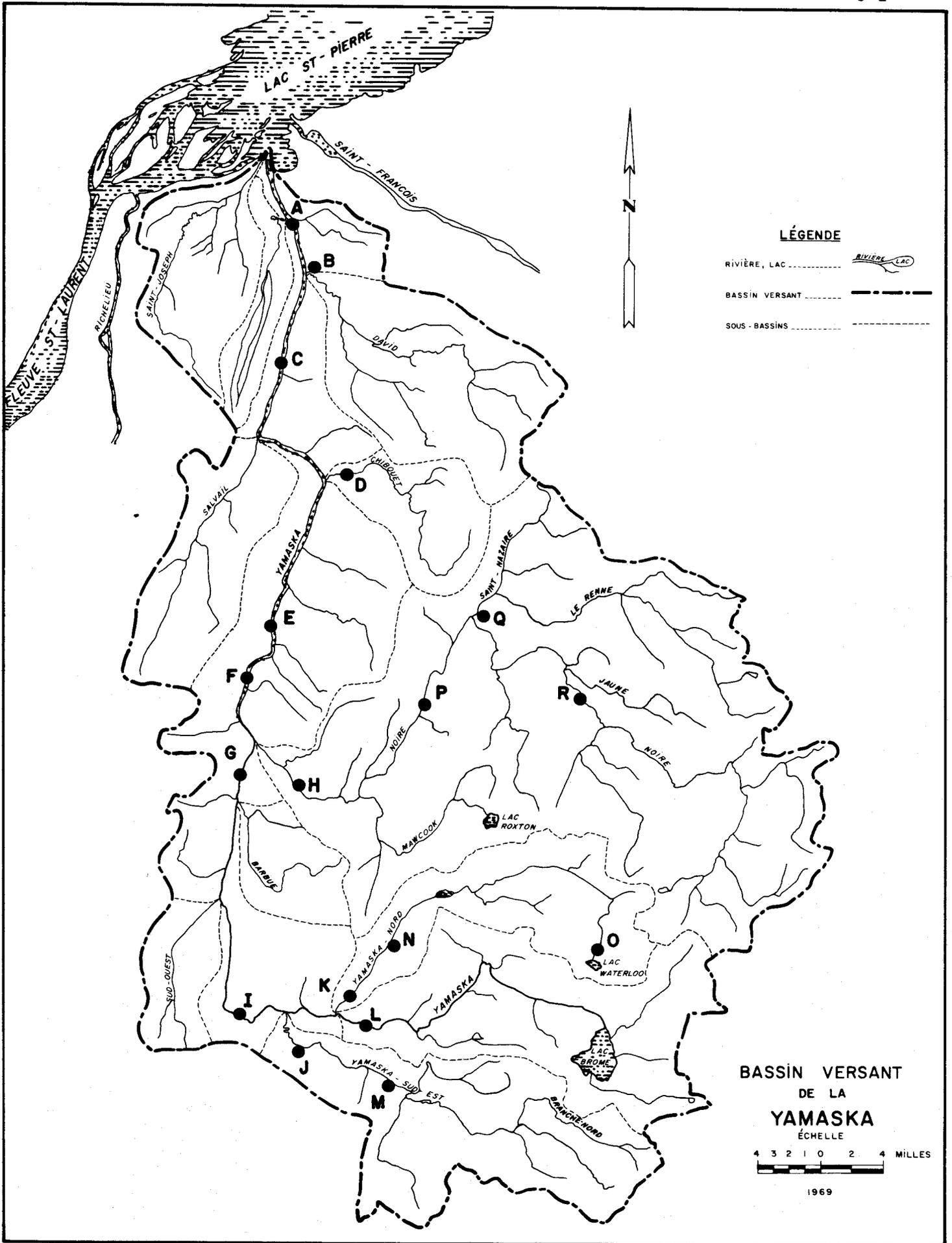


Fig. A.6.1. Stations d'échantillonnage sur le bassin versant de la rivière Yamaska.

L'examen des données disponibles nous a conduit à éliminer les paramètres ou les mois pour lesquels il y avait trop de données manquantes, la reconstitution des données présentant peu d'intérêt dans ce cas. Suivant ce critère, une station (03031N) et deux mois (janvier et avril) ont dû être éliminés. Pour l'année étudiée (1974), on disposait donc de 10 mois, codés de la manière suivante: 0 (février), 1 (mars), 2 (mai), 3 (juin), 4 (juillet), 5 (août), 6 (septembre), 7 (octobre), 8 (novembre), et 9 (décembre). Le tableau de données comportait donc:

6 colonnes (1 par paramètre), représentant les "variables";  
180 lignes (18 stations pendant 10 mois), représentant les "observations".

Pour effectuer l'étude globale de ce tableau, nous avons utilisé l'analyse factorielle des correspondances (BENZECRI, 1973). Cette méthode permet de manière générale, de:

- . regrouper les observations ayant un comportement semblable;
- . regrouper les variables ayant un comportement semblable;
- . d'identifier les variables expliquant le comportement d'un groupe d'observations.

On peut représenter simultanément dans le plan des 2 premiers axes factoriels les points "variables" et les points "observations". Les paramètres relatifs aux ions majeurs Cl, Ca, Mg n'étaient considérés que comme variables supplémentaires; ils sont représentés graphiquement, mais ne jouent aucun rôle dans la détermination des axes principaux puisqu'ils sont affectés d'un poids nul dans l'analyse.

Les points "observations", pour des raisons pratiques, sont codés à l'aide de 2 symboles (un chiffre et une lettre):

- . le chiffre représente le mois;
- . la lettre est relative à la station.

Ainsi, par exemple, 1A signifie que l'on considère le point représentatif du mois de mars (1) à la station 03031L (A). Pour étudier la représentation

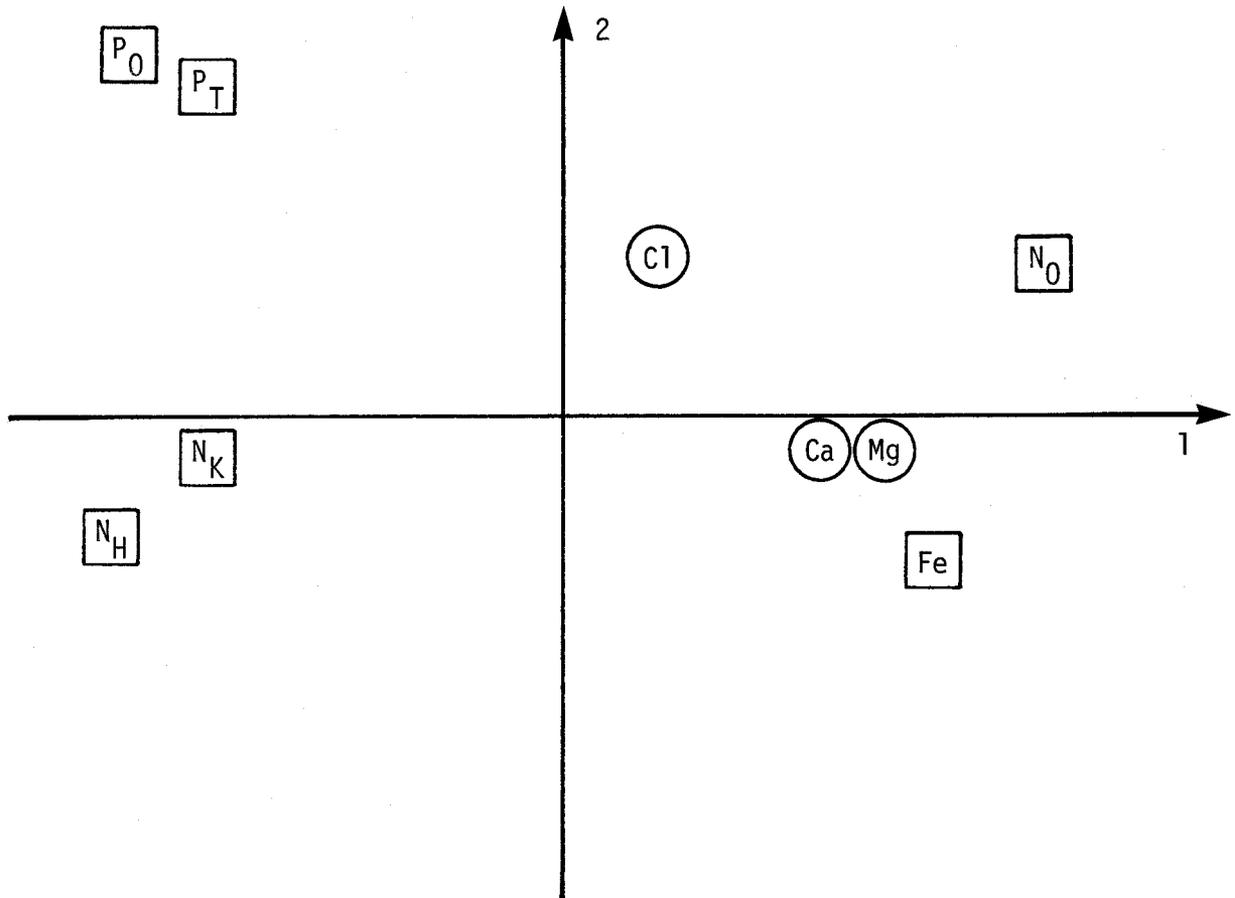
des points dans le plan des 2 premiers axes factoriels, qui expliquent plus de 70% de la variabilité totale, on a successivement identifié:

- pour chaque mois, les points représentatifs de l'ensemble des stations (Figures A.6.2 et A.6.11);
- pour chaque station, les points représentatifs de l'ensemble des mois (Figures A.6.12 et A.6.29).

Il est à noter que le point 4N (juillet, station 03031C) a été éliminé car il comporte une valeur douteuse en nitrates.

### 3. RESULTATS

#### 3.1 Etude des points paramètres



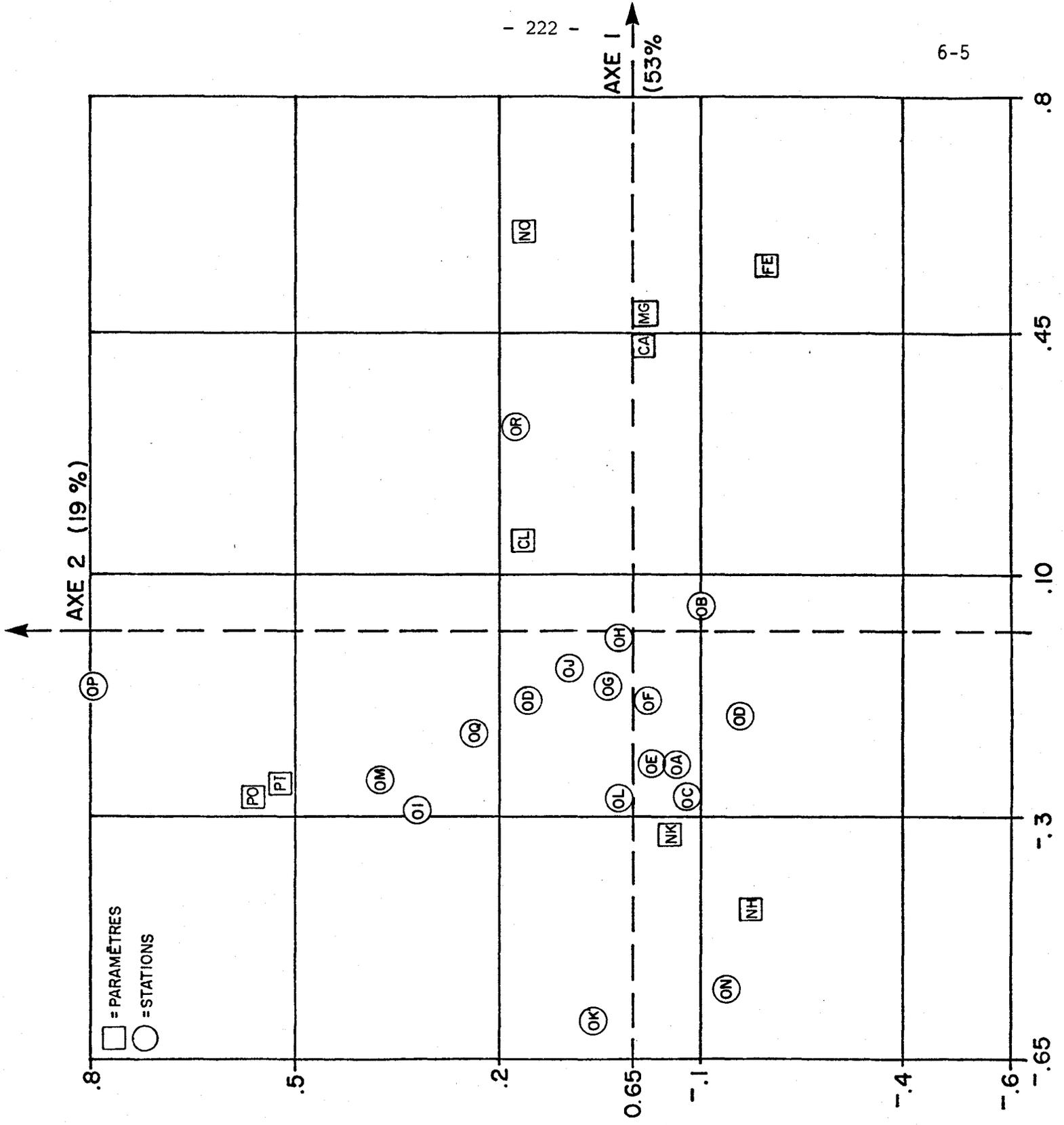


Fig. A.6.2. Analyse des correspondances. Comportement des stations au mois de février (mois 0).

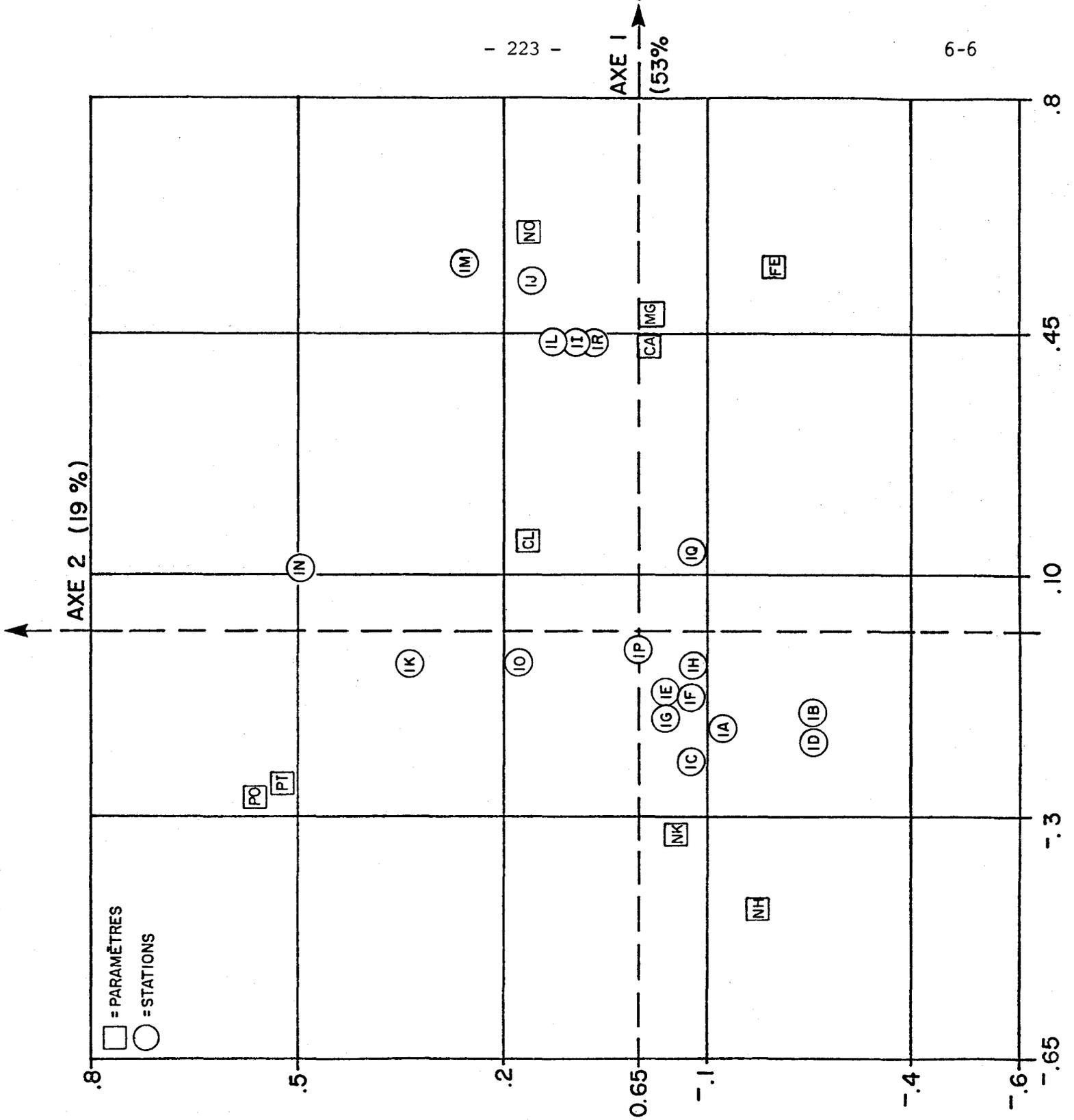


Fig. A.6.3. Analyse des correspondances. Comportement des stations au mois de mars (mois 1).

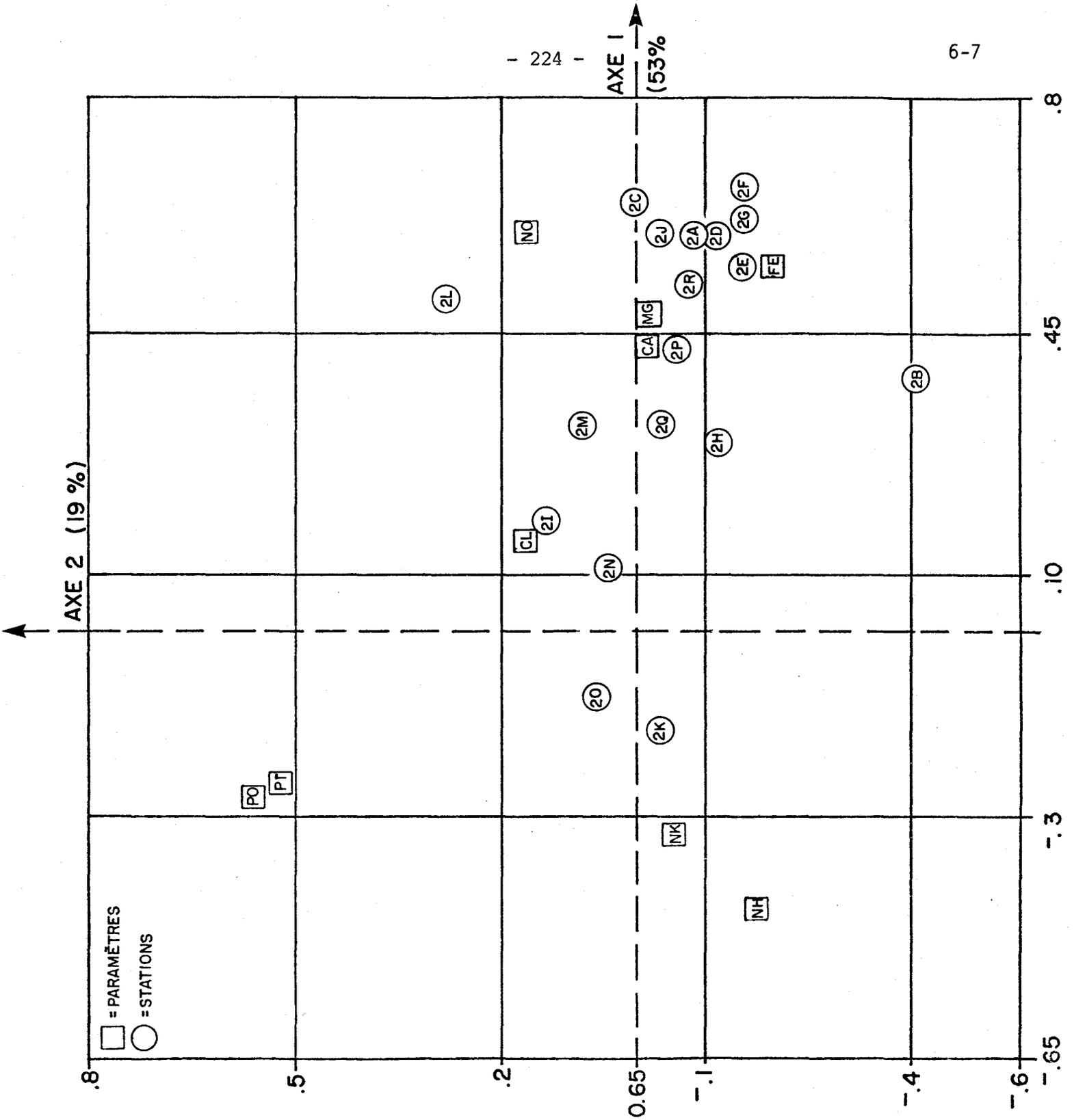


Fig. A.6.4. Analyse des correspondances. Comportement des stations au mois de mai (mois 2).

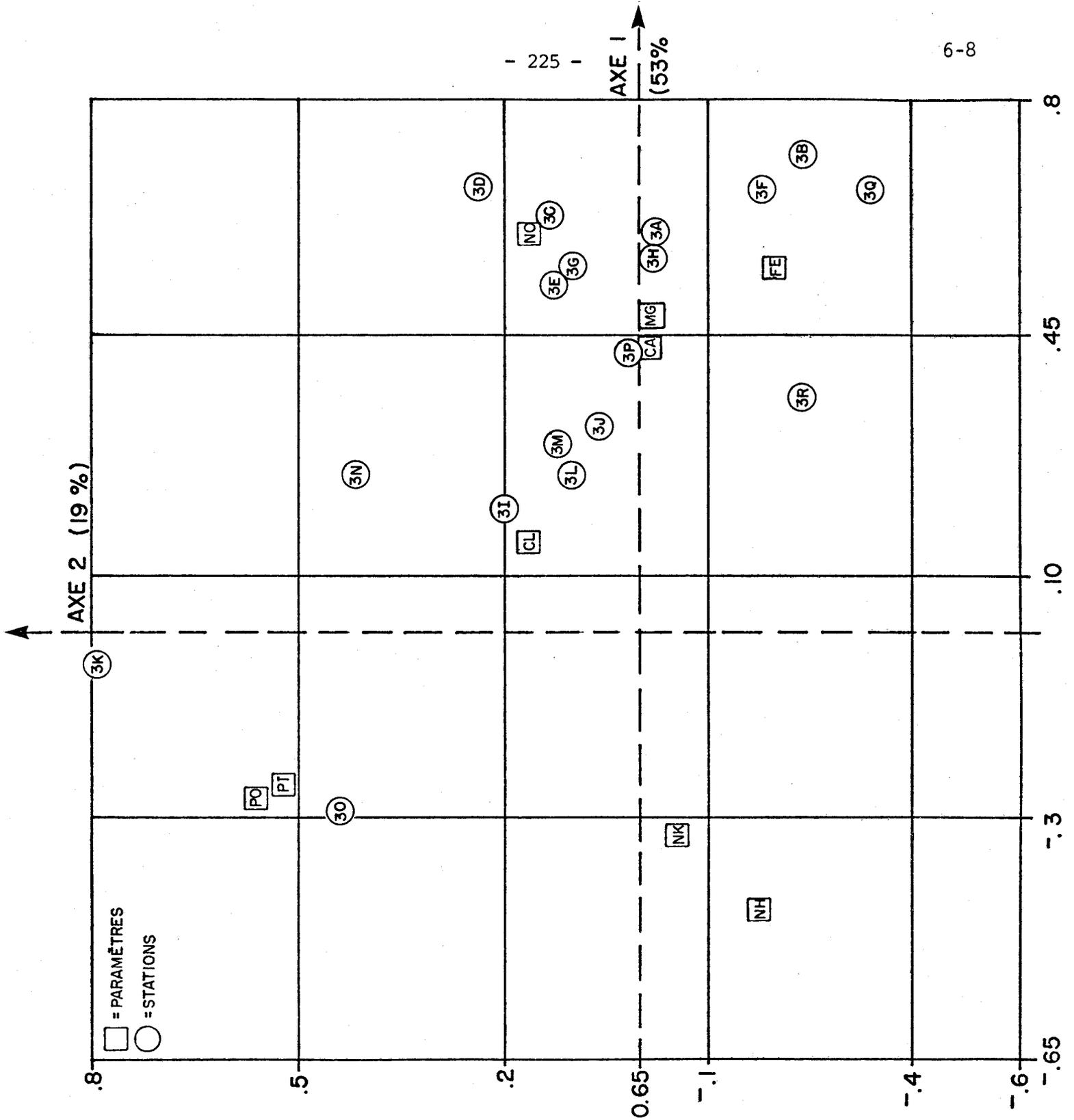


Fig. A.6.5. Analyse des correspondances. Comportement des stations au mois de juin (mois 3).

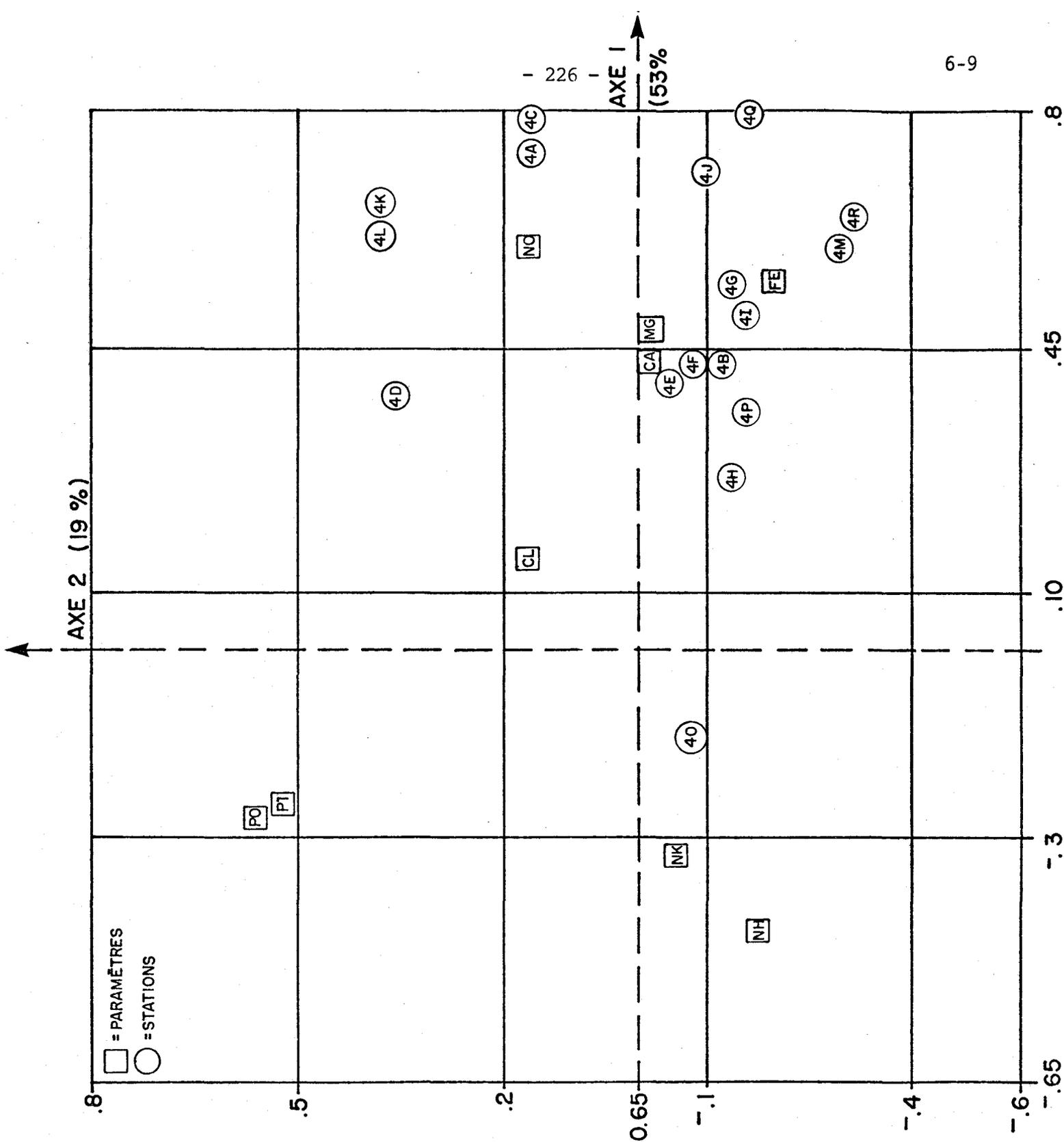


Fig. A.6.6. Analyse des correspondances. Comportement des stations au mois de juillet (mois 4).

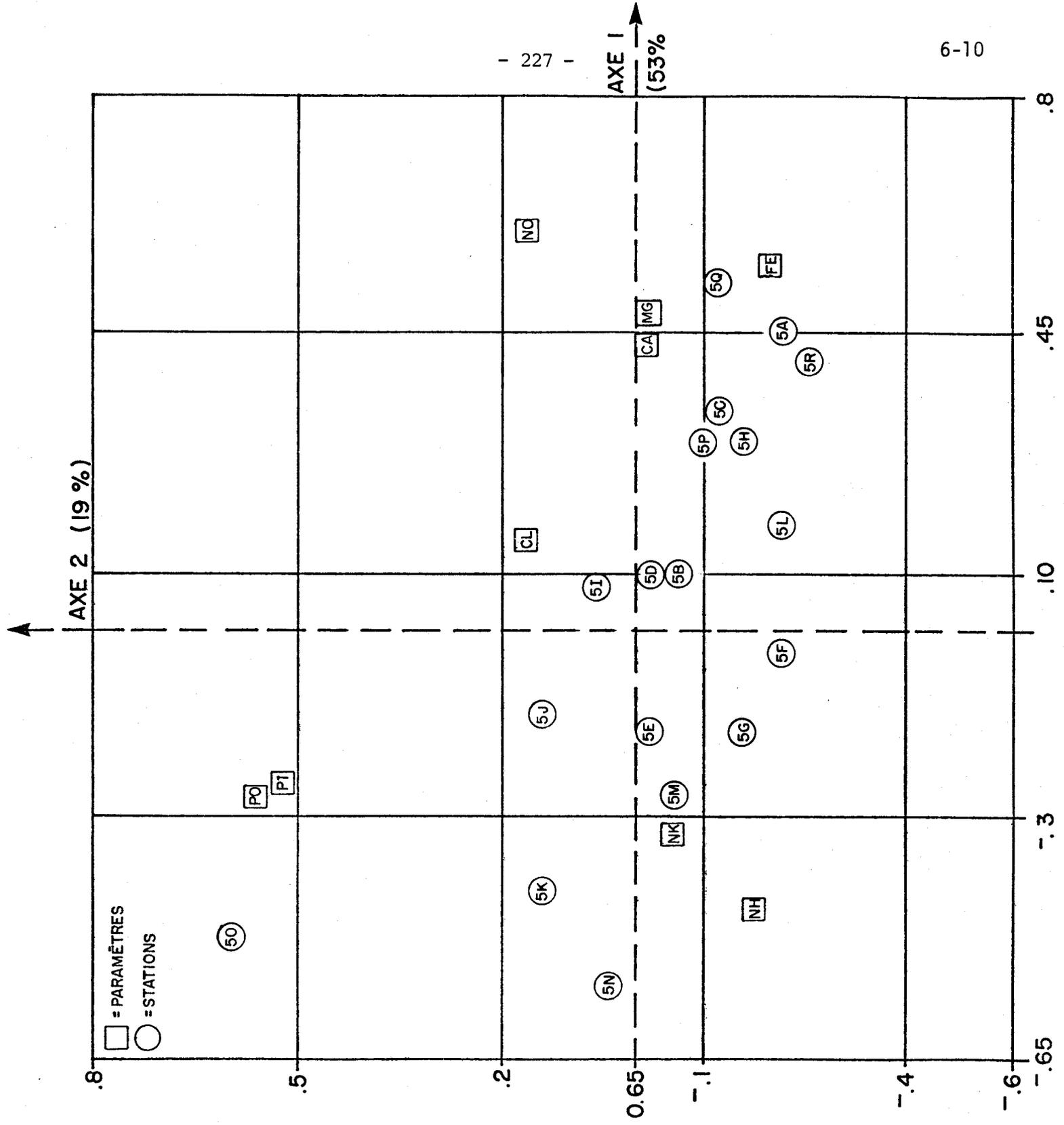


Fig. A.6.7. Analyse des correspondances. Comportement des stations au mois d'août. (mois 5).

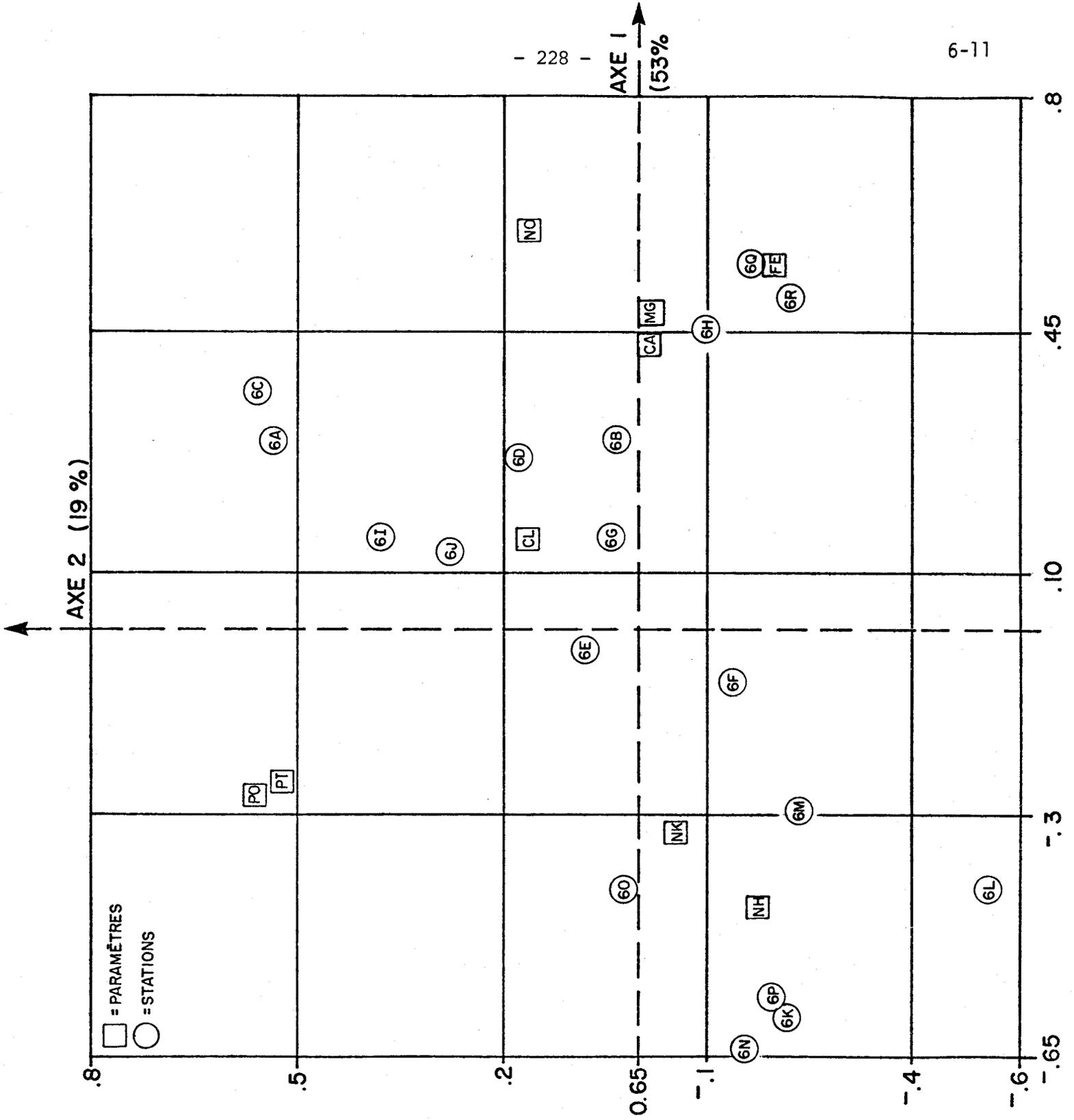


Fig. A.6.8. Analyse des correspondances. Comportement des stations au mois de septembre (mois 6).

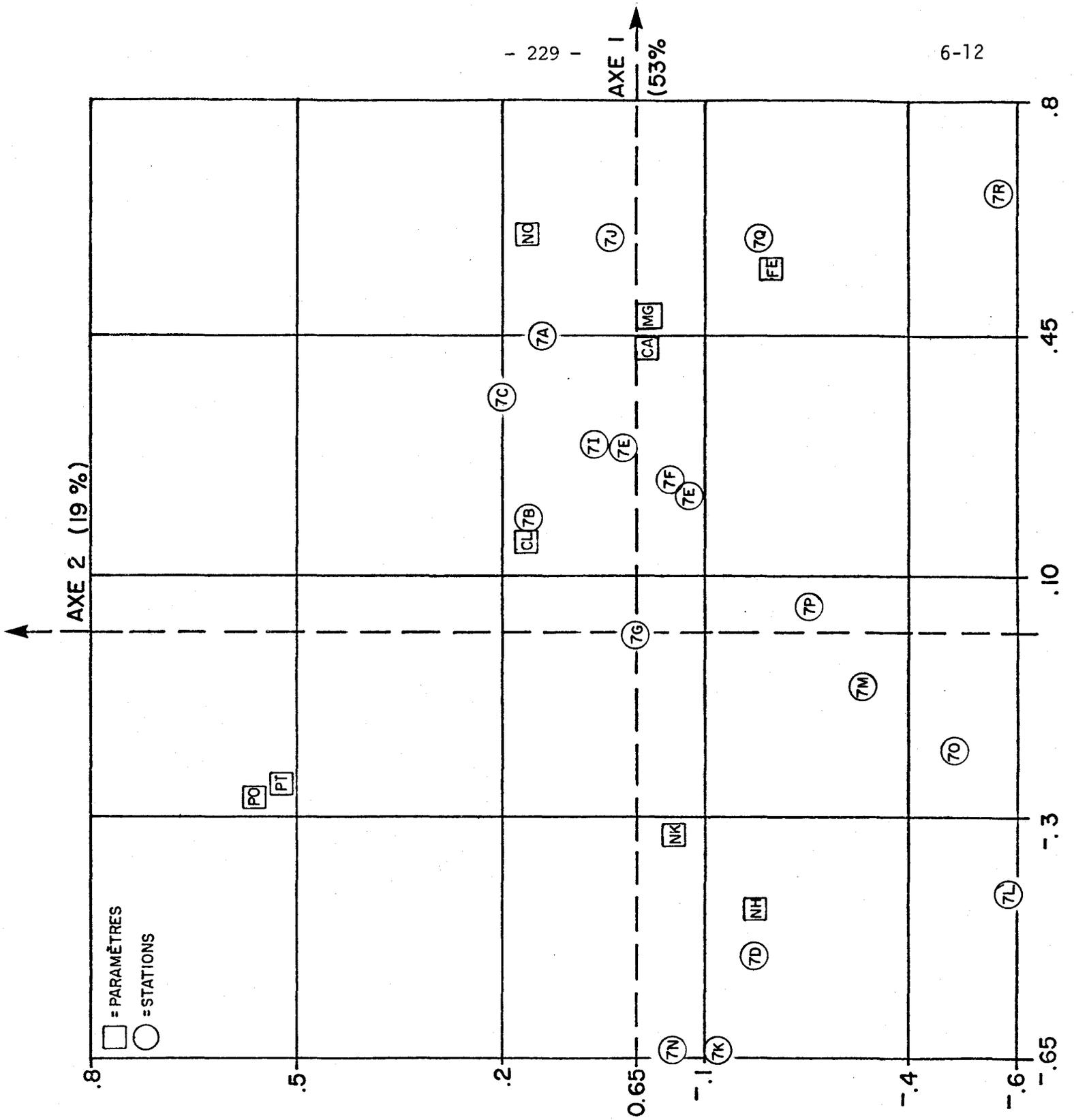


Fig. A.6.9. Analyse des correspondances. Comportement des stations au mois d'octobre (mois 7).

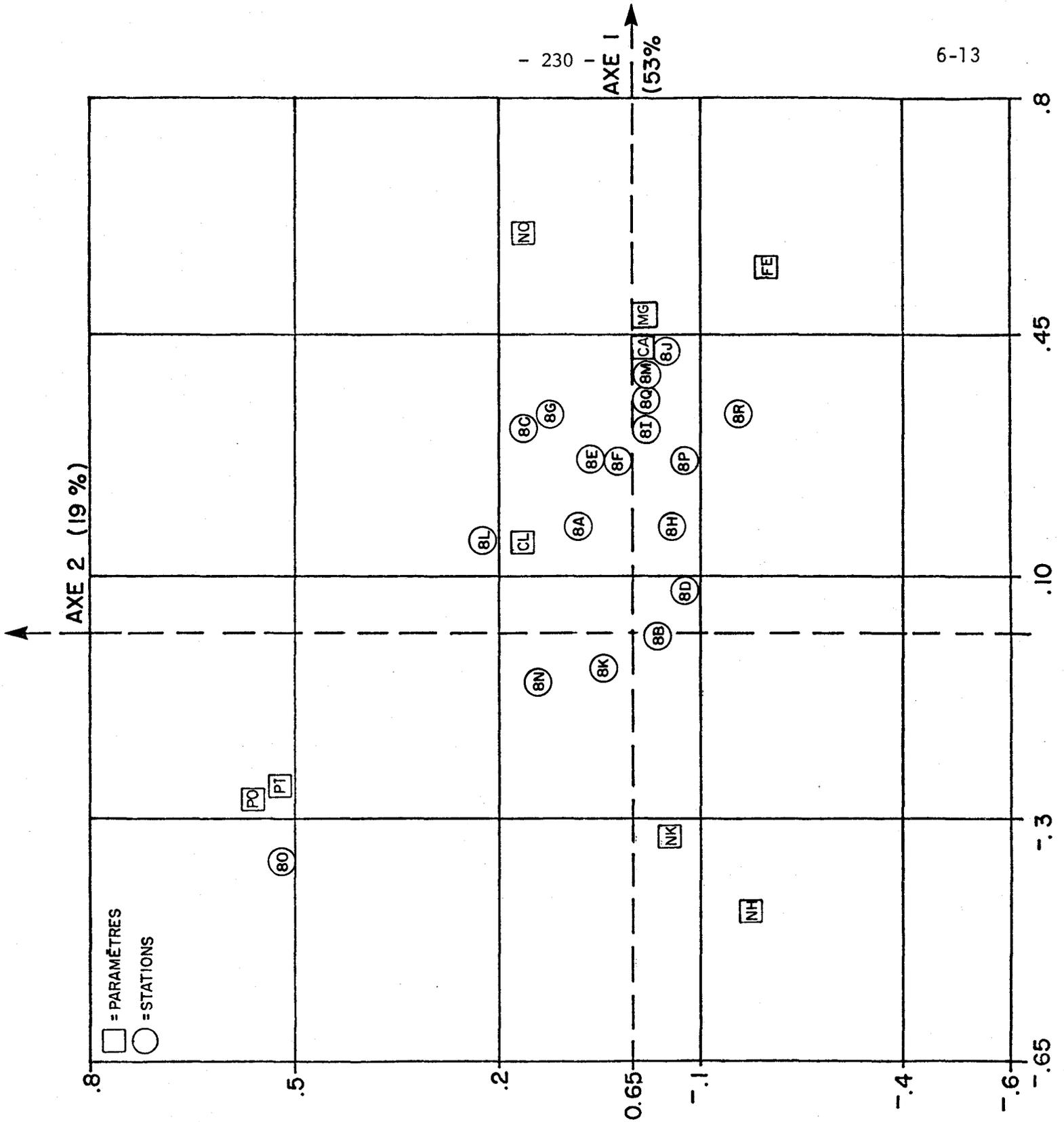


Fig. A.6.10. Analyse des correspondances. Comportement des stations au mois de novembre (mois 8).

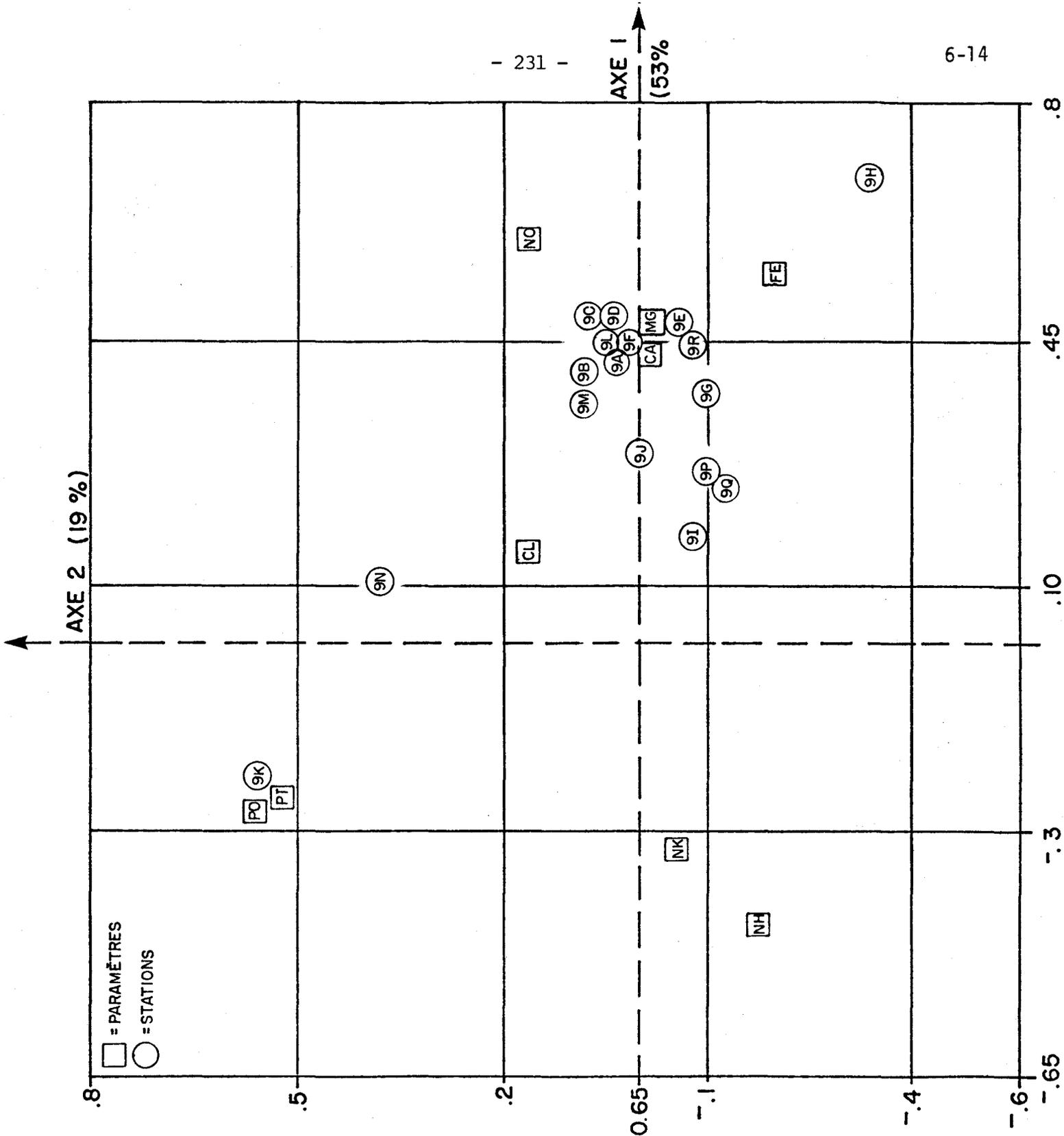


Fig. A.6.11. Analyse des correspondances. Comportement des stations au mois de décembre (mois 9).

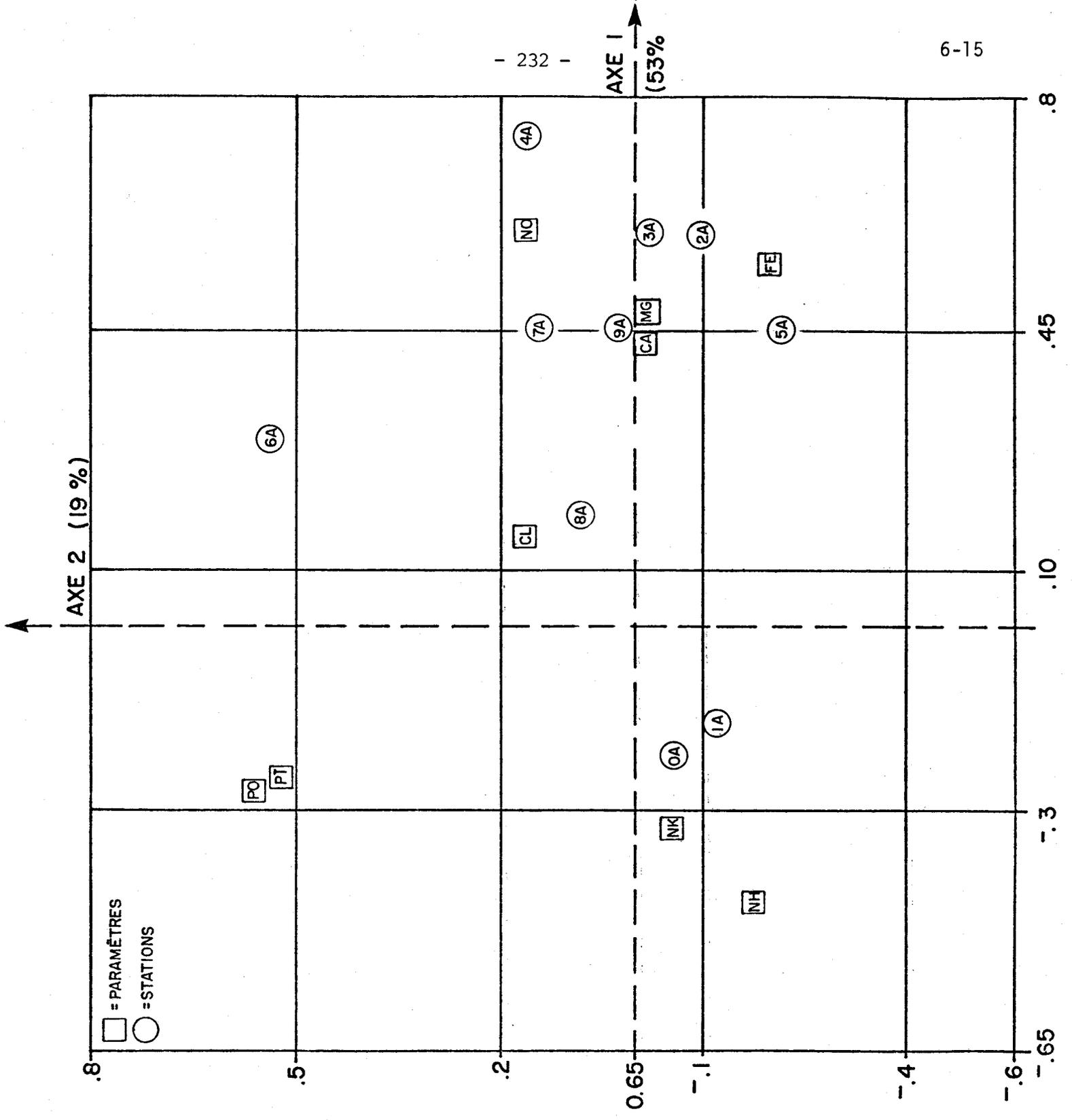


Fig. A.6.12. Analyse des correspondances. Comportement des mois à la station 03030Y (station A, Yamaska au pont-route à Yamaska).

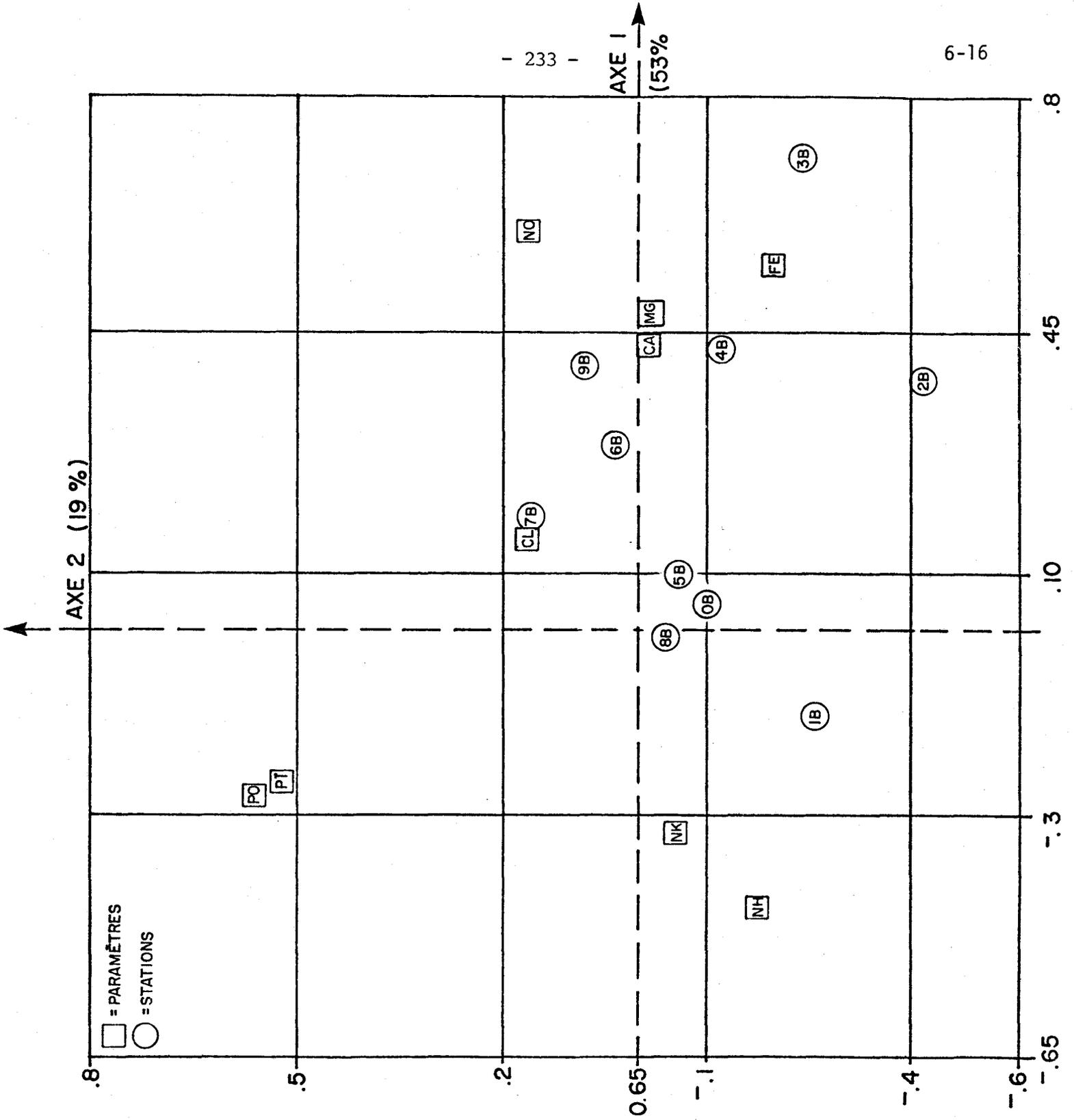


Fig. A.6.13. Analyse des correspondances. Comportement des mois à la station 03031M (station B, David au pont-route à l'embouchure).

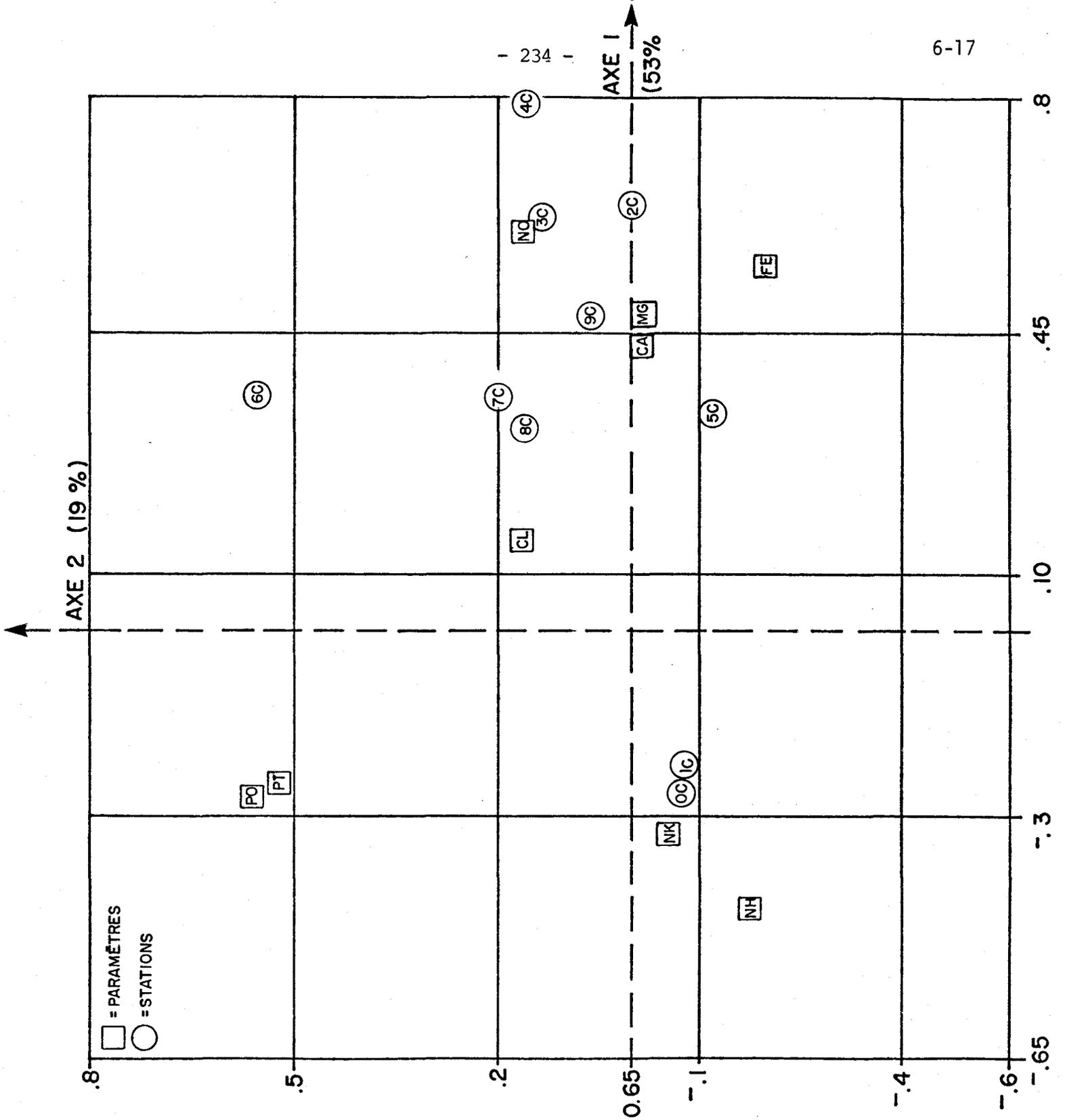


Fig. A.6.14. Analyse des correspondances. Comportement des mois à la station 03030Z (station C, Yamaska au pont-route de Saint-Marcel).

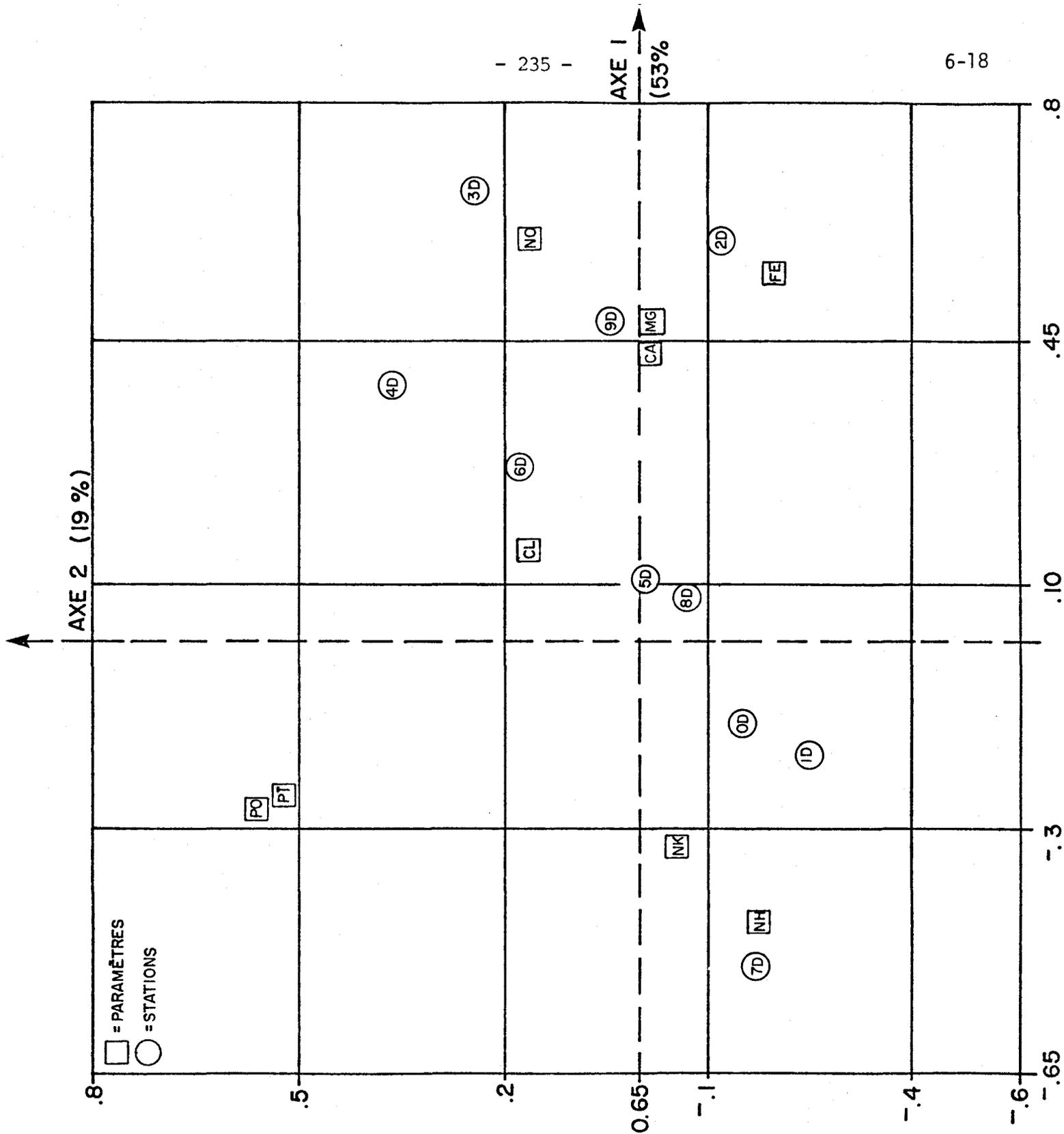


Fig. A.6.15. Analyse des correspondances. Comportement des mois à la station 03031P (station D, Chibouet, au pont-route à Saint-Hughes).

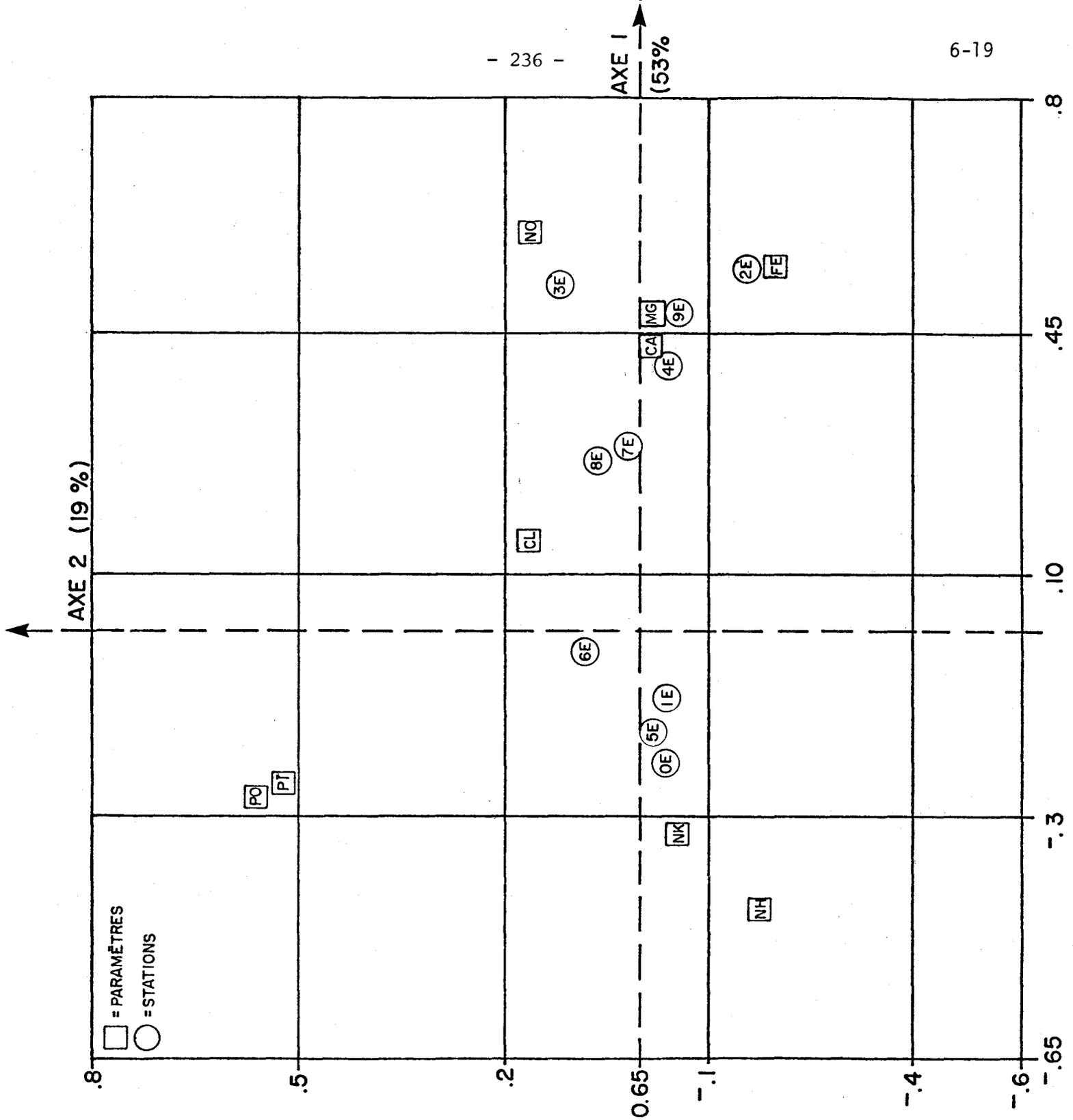


Fig. A.6.16. Analyse des correspondances. Comportement des mois à la station 03030D. (station E, Yamaska au pont-route 20).

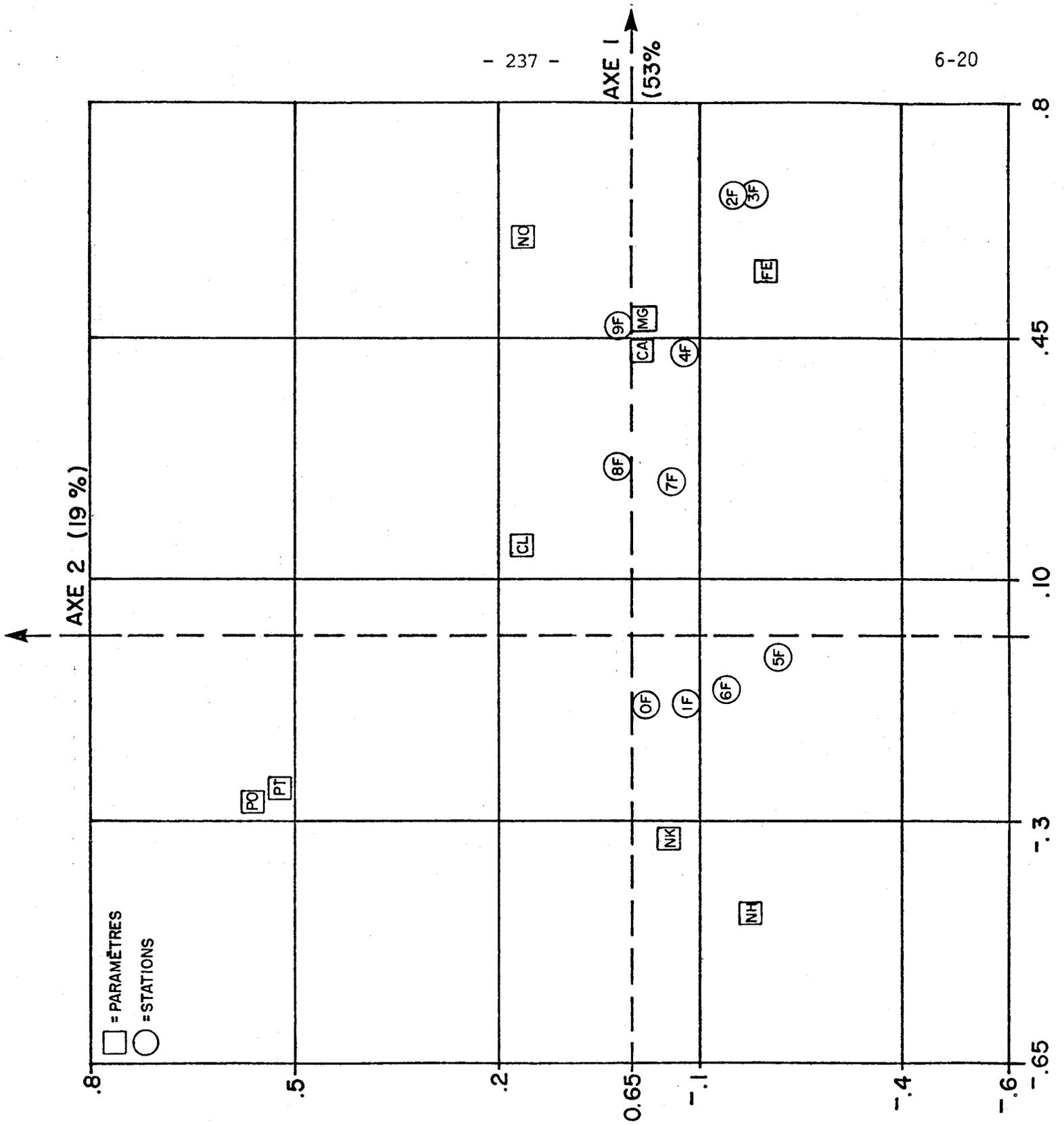


Fig. A.6.17. Analyse des correspondances. Comportement des mois à la station 03031A (station F, Yamaska au pont-route à Douville).

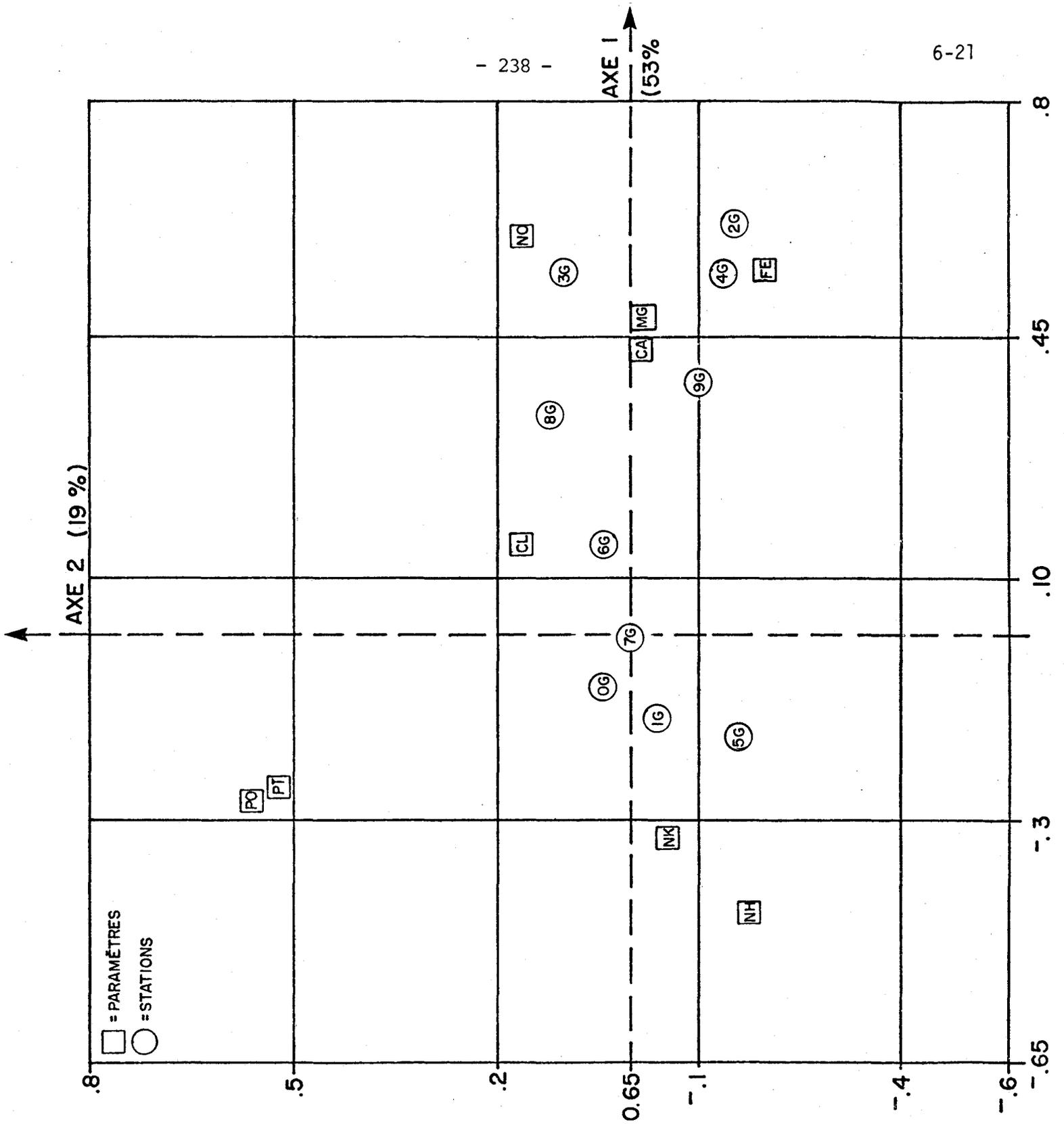


Fig. A.6.18. Analyse des correspondances. Comportement des mois à la station 03031B (station G, Yamaska au pont-route à 4.0 km en amont de la rivière Noire).

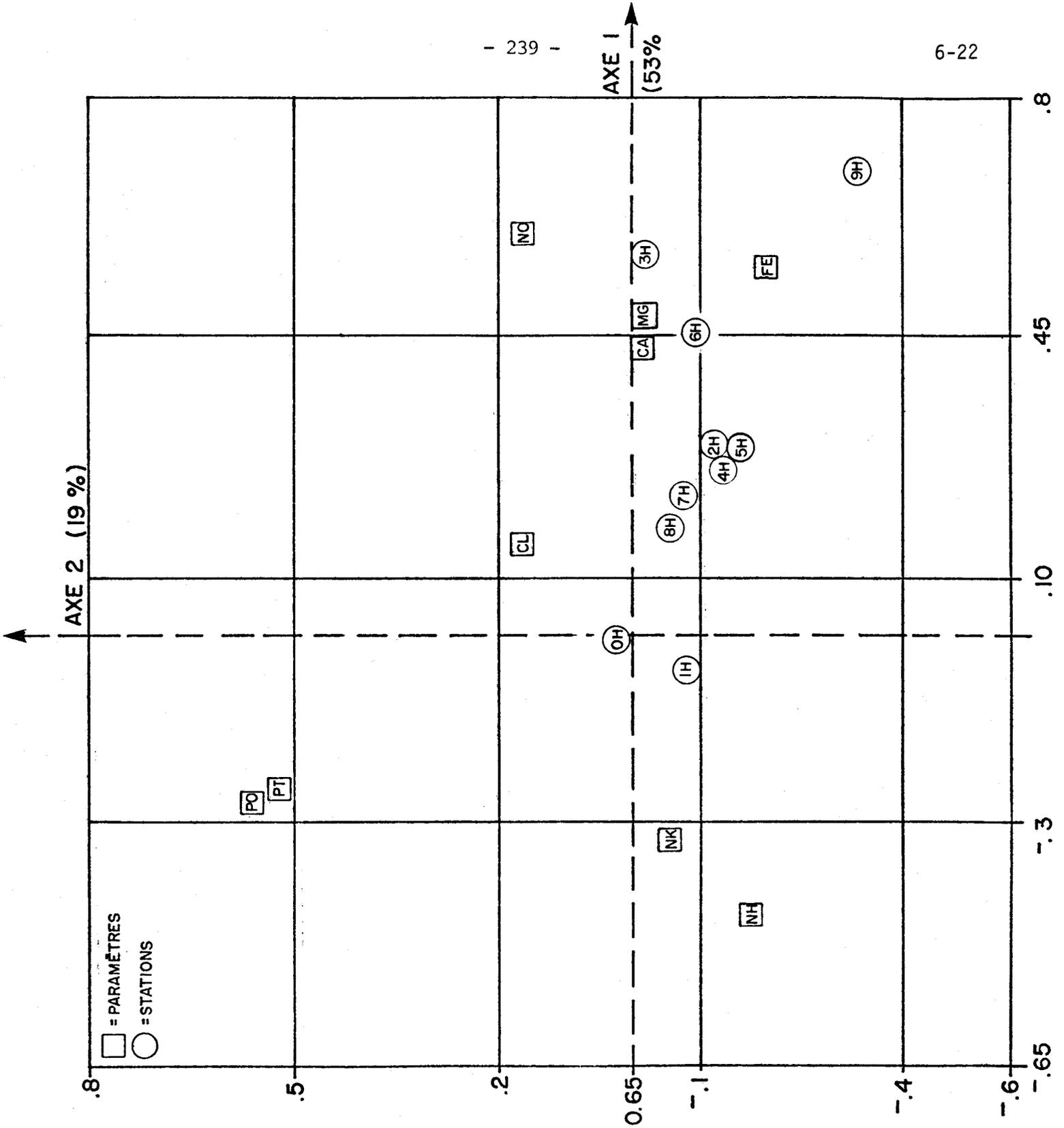


Fig. A.6.19. Analyse des correspondances. Comportement des mois à la station 03030C (station H, Noire au pont-route à Saint-Pie).

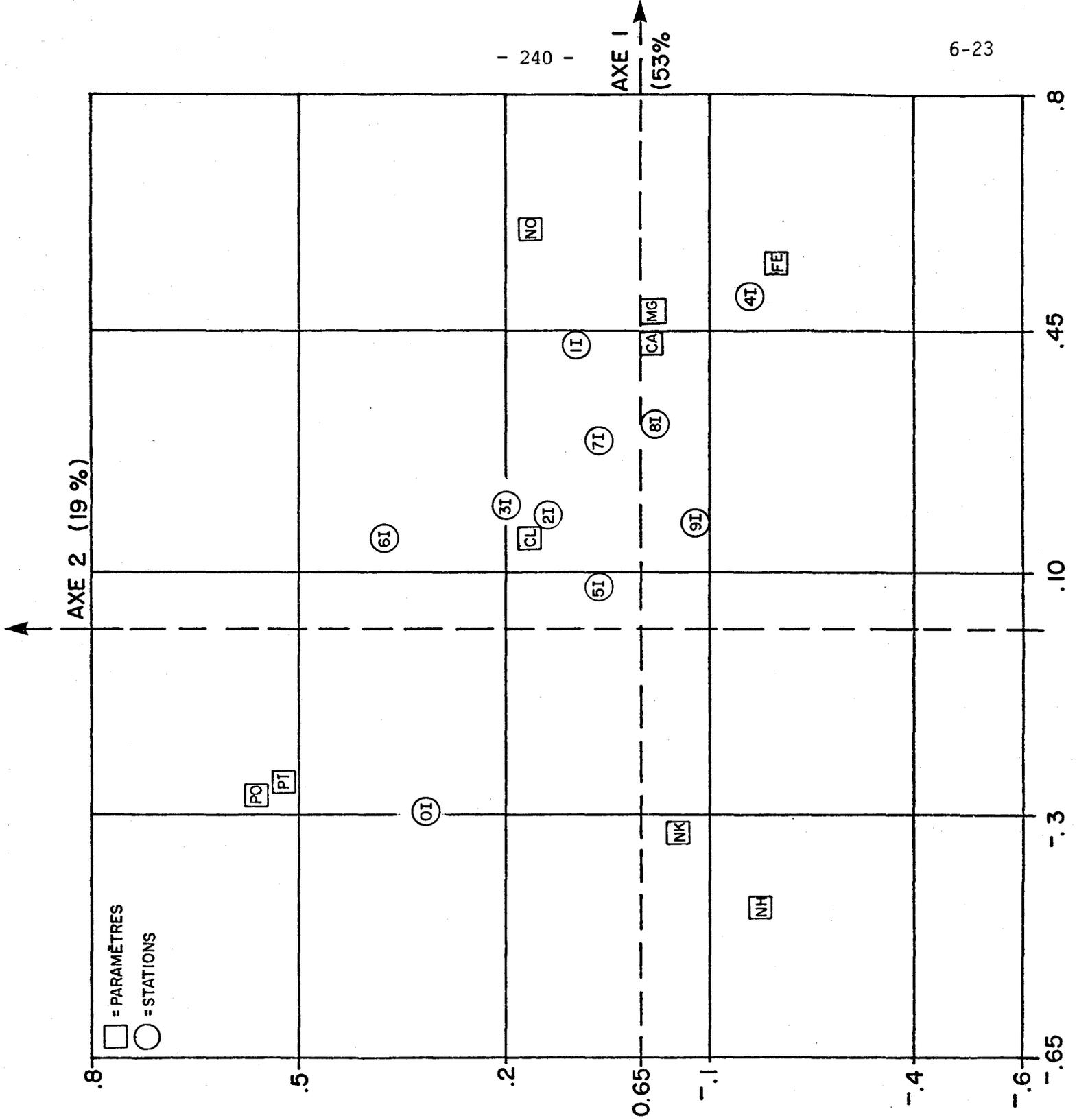


Fig. A.6.20. Analyse des correspondances. Comportement des mois à la station 03031H (station I, Yamaska au pont-route à 1.6 km en aval de Farnham).

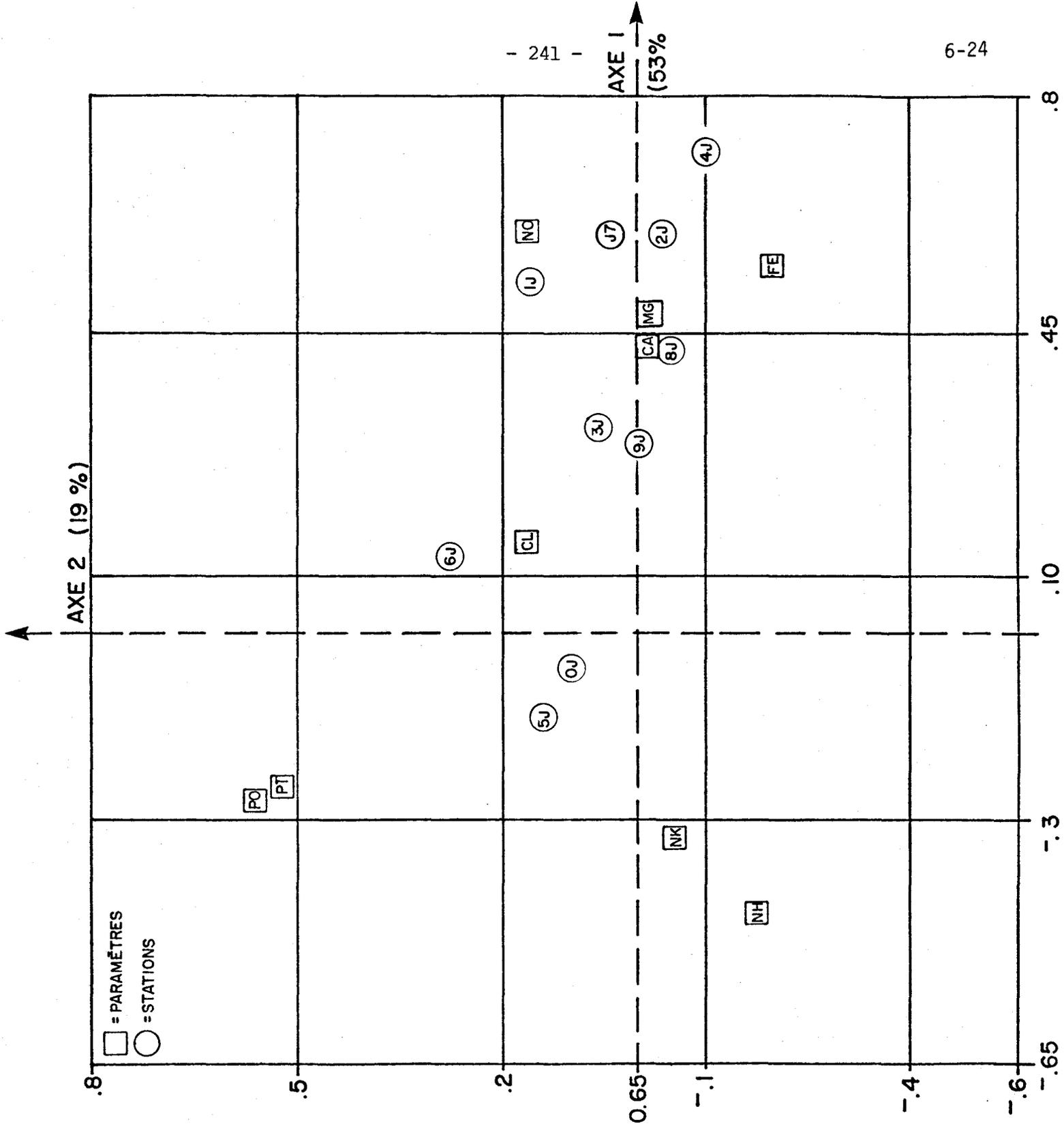


Fig. A.6.21. Analyse des correspondances. Comportement des mois à la station 03031G (station J, Yamaska sud-est à 10.9 km en aval de Brigham).

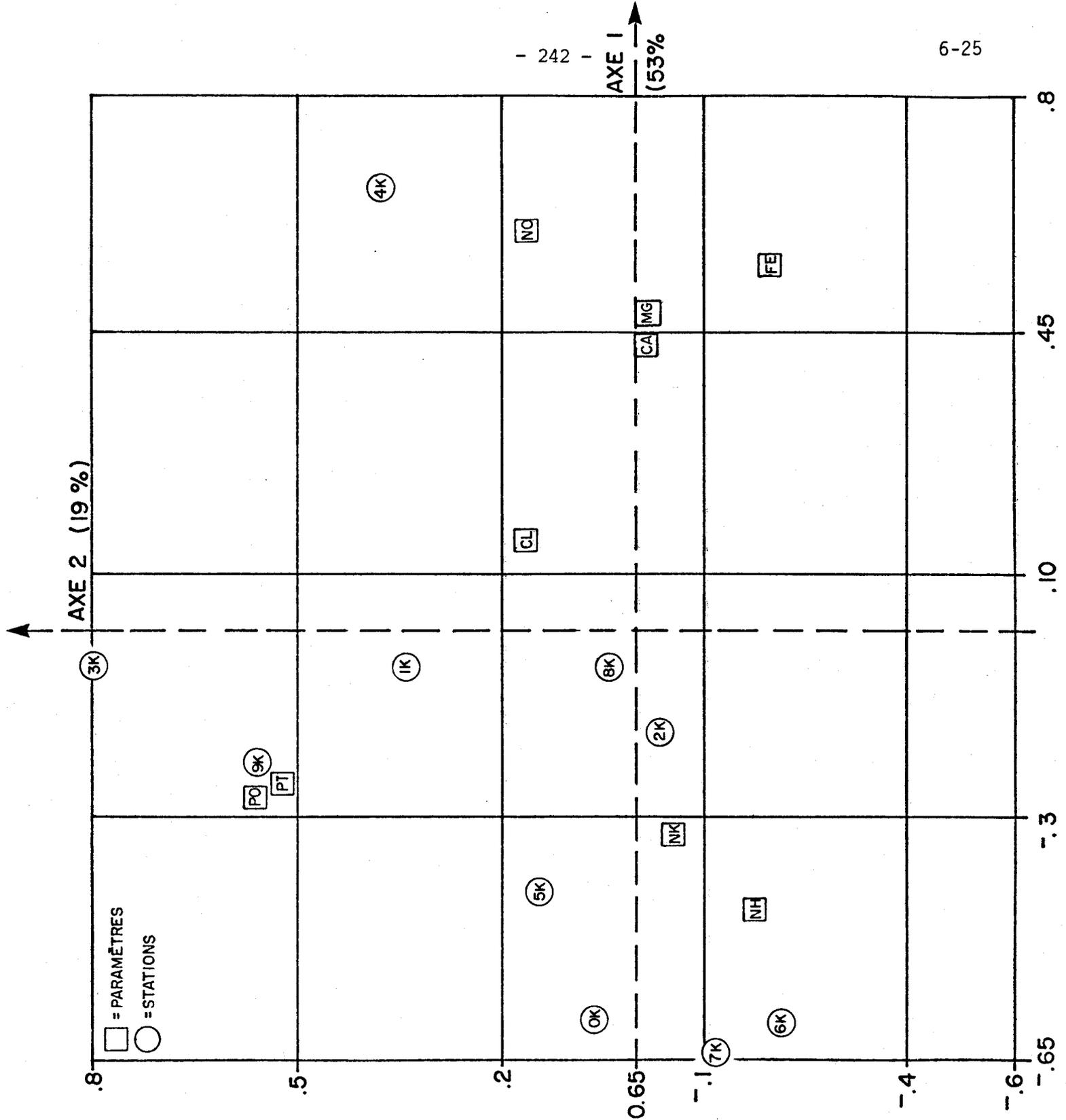


Fig. A.6.22. Analyse des correspondances. Comportement des mois à la station 03031D (station K, Yamaska-nord au pont-route à 1.9 km en aval de Saint-Alphonse de Granby).

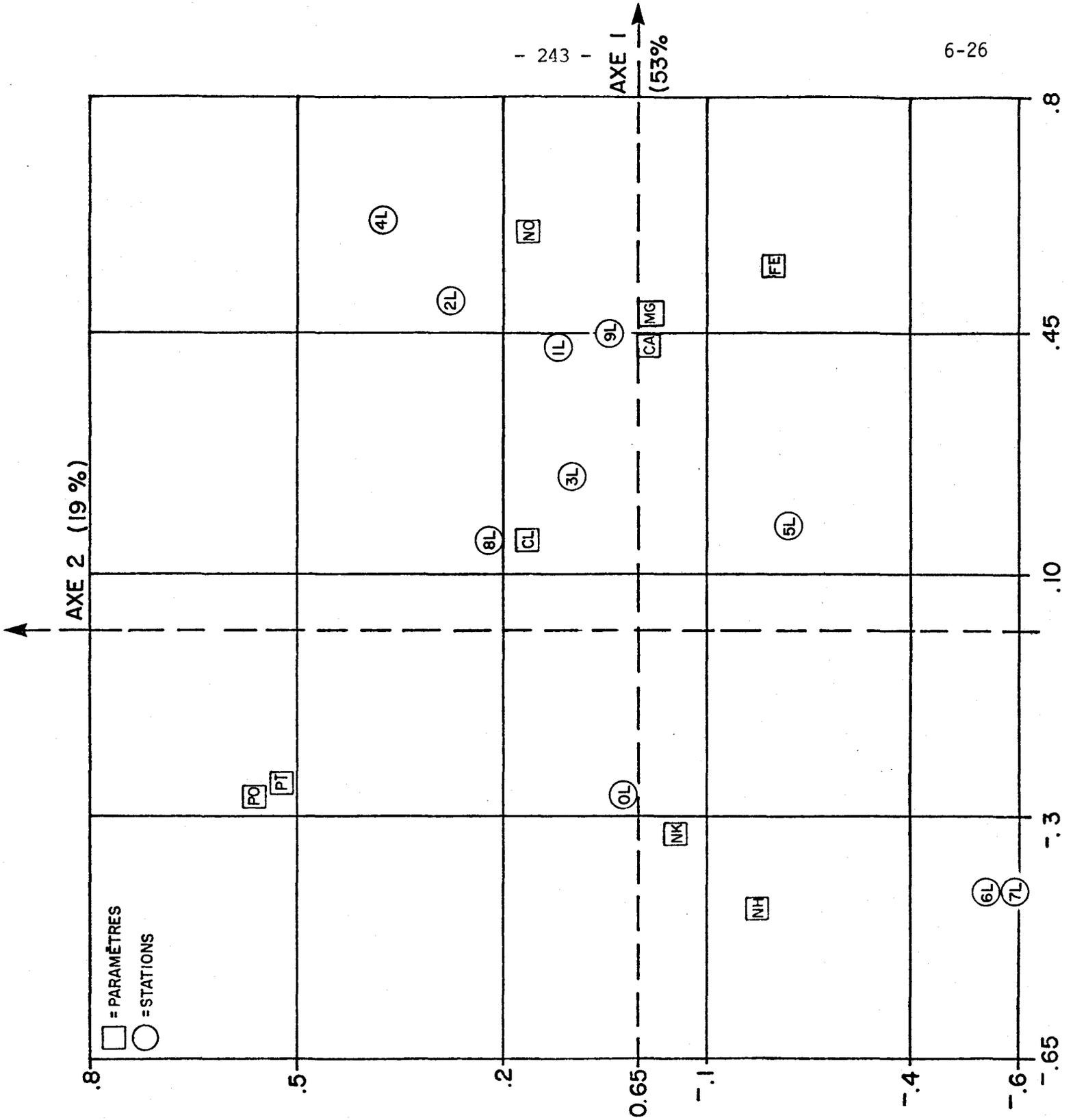


Fig. A.6.23. Analyse des correspondances. Comportement des mois à la station 03031E (station L, Yamaska au pont-route à 5.1 km en aval d'Adamsville).

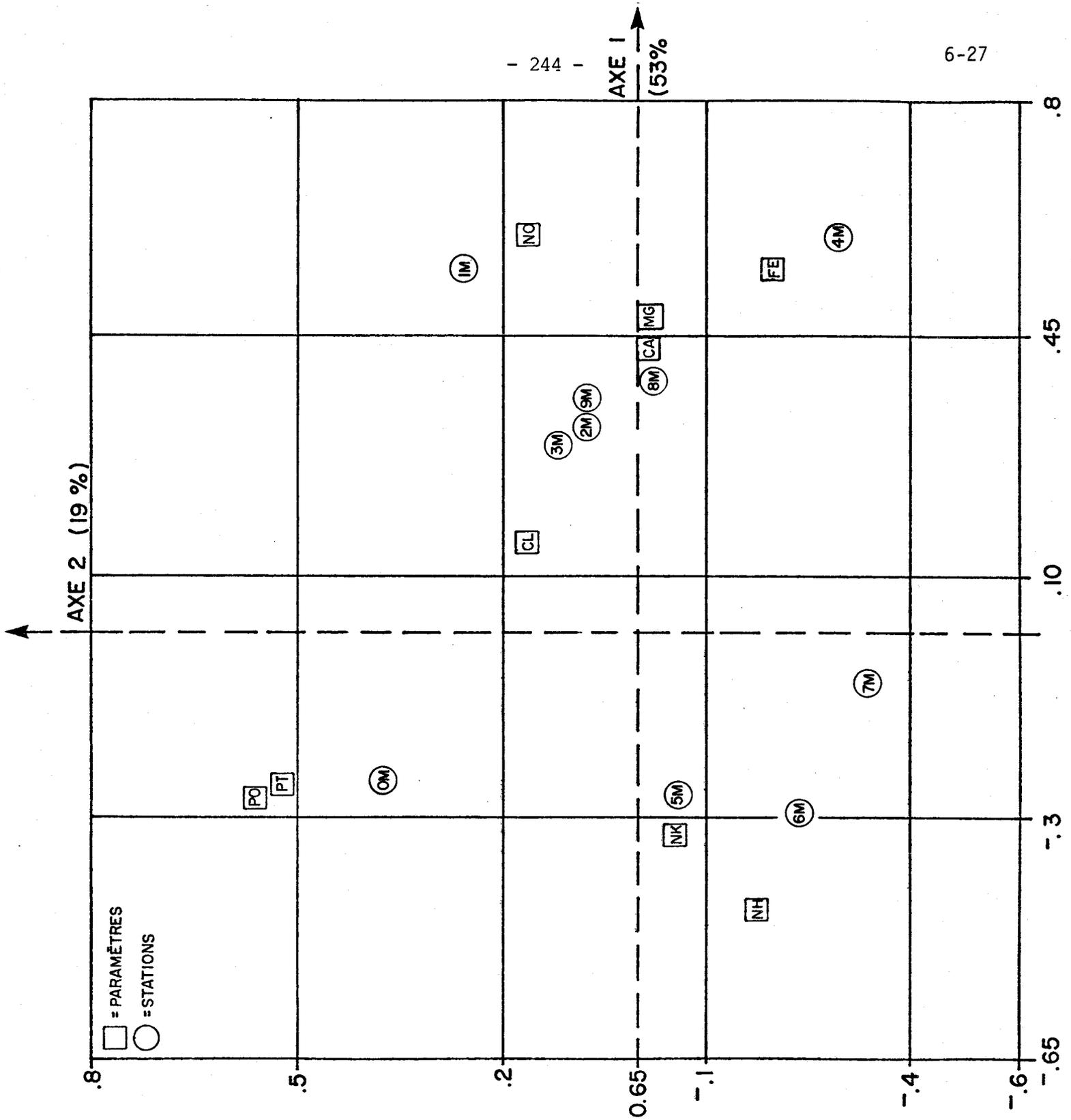


Fig. A.6.24. Analyse des correspondances. Comportement des mois à la station 03031F (station M, Yamaska sud-est au pont-route à 7.7 km en aval de Cowansville).

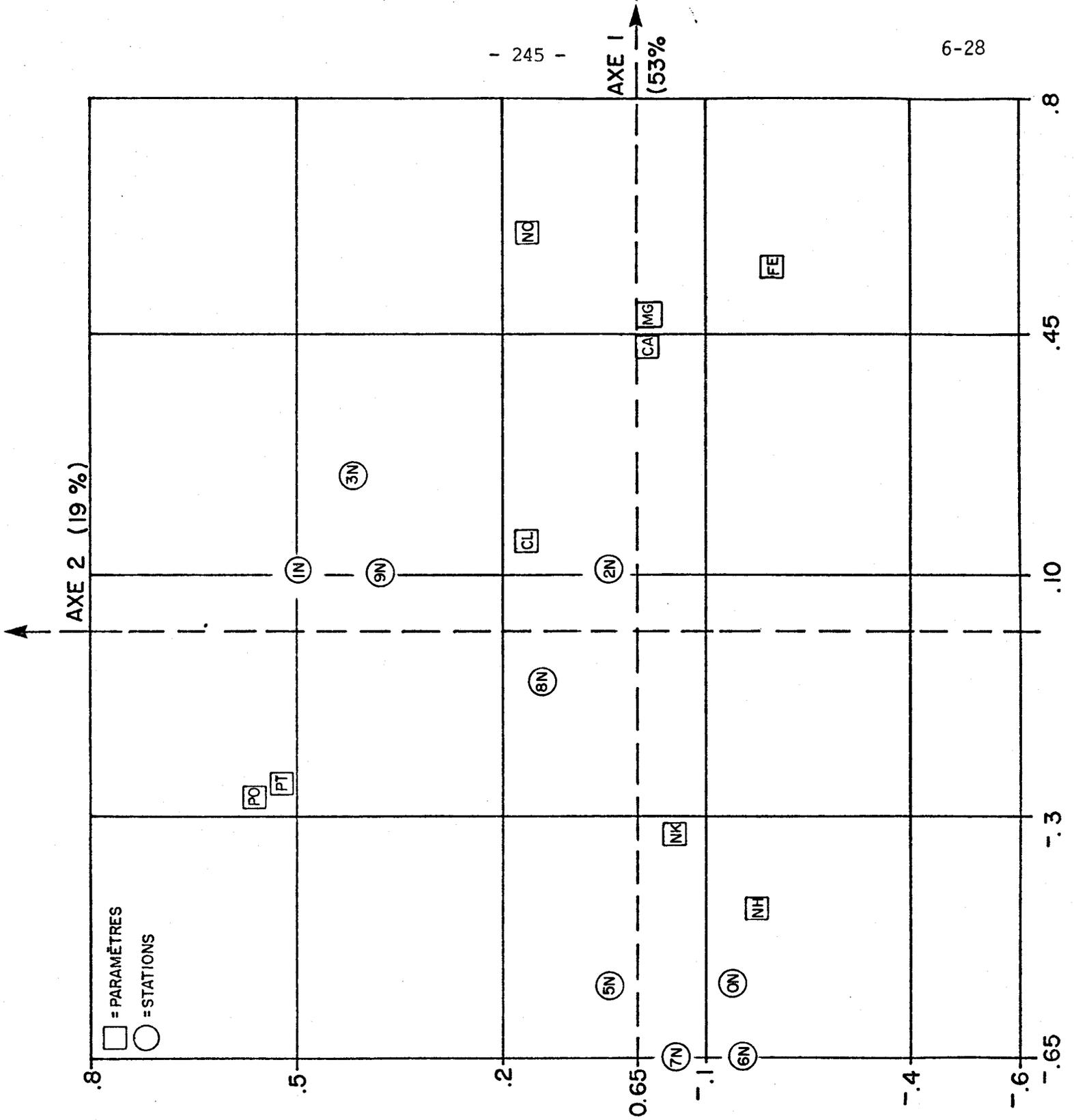


Fig. A.6.25. Analyse des correspondances. Comportement des mois à la station 03031C (station N, Yamaska-nord au pont-route à 7.7 km en aval de Granby).

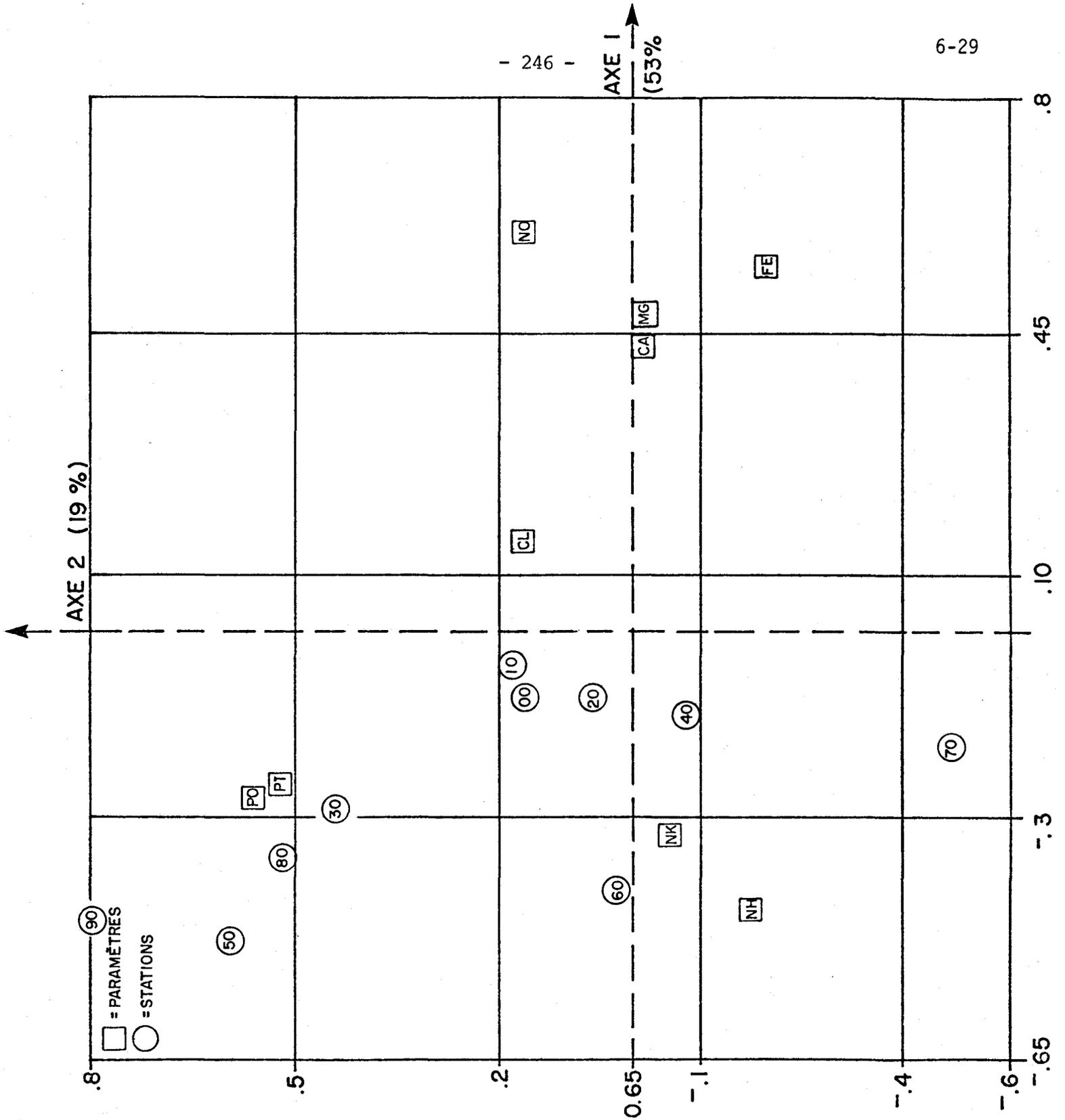


Fig. A.6.26. Analyse des correspondances. Comportement des mois à la station 03031R (station 0, Yamaska-nord au pont-route 39 à 2.9 km en aval de Waterloo).

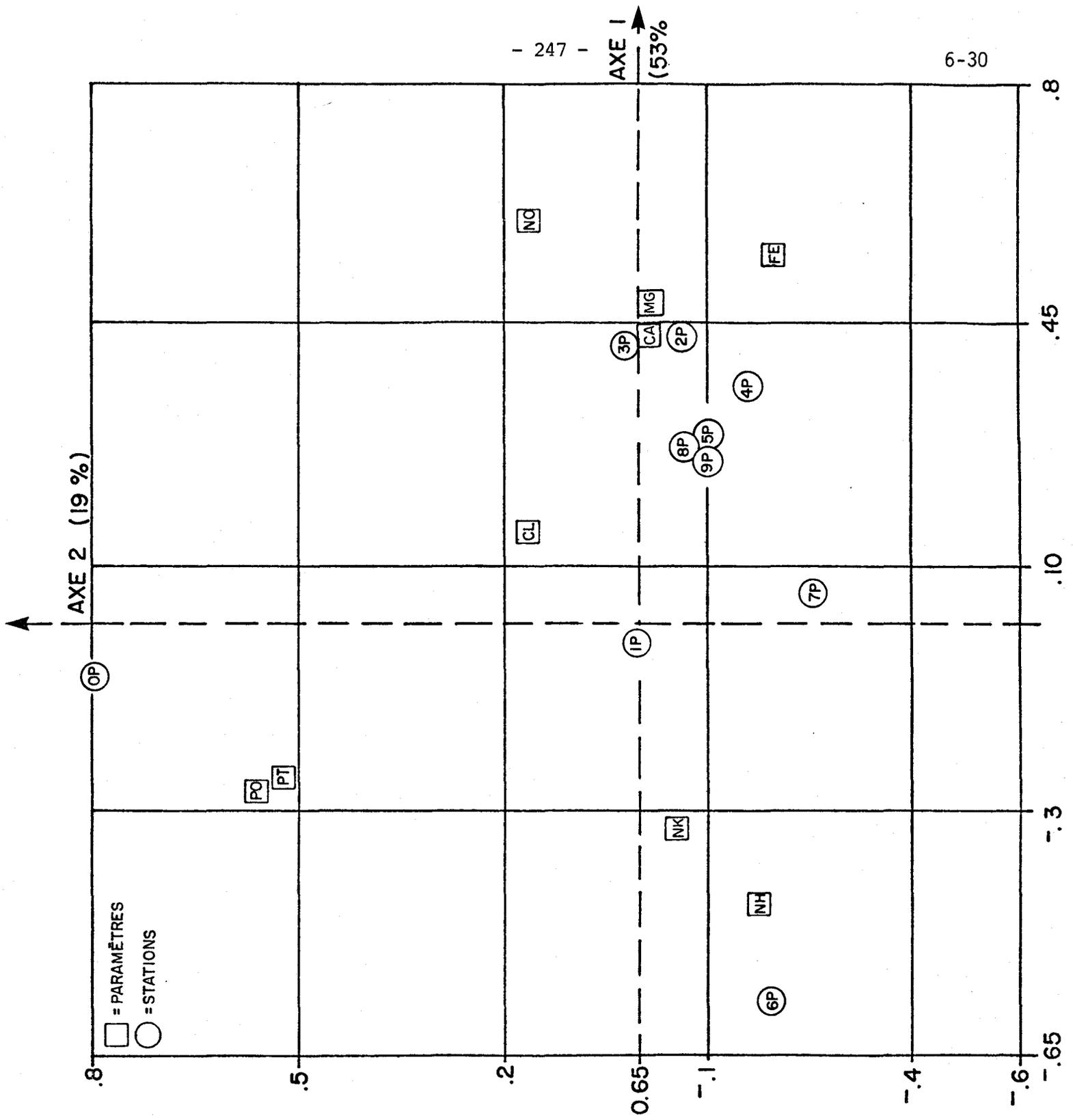


Fig. A.6.27. Analyse des correspondances. Comportement des mois à la station 03031Q (station P, Noire au pont-route de Saint-Hector de Bagot).

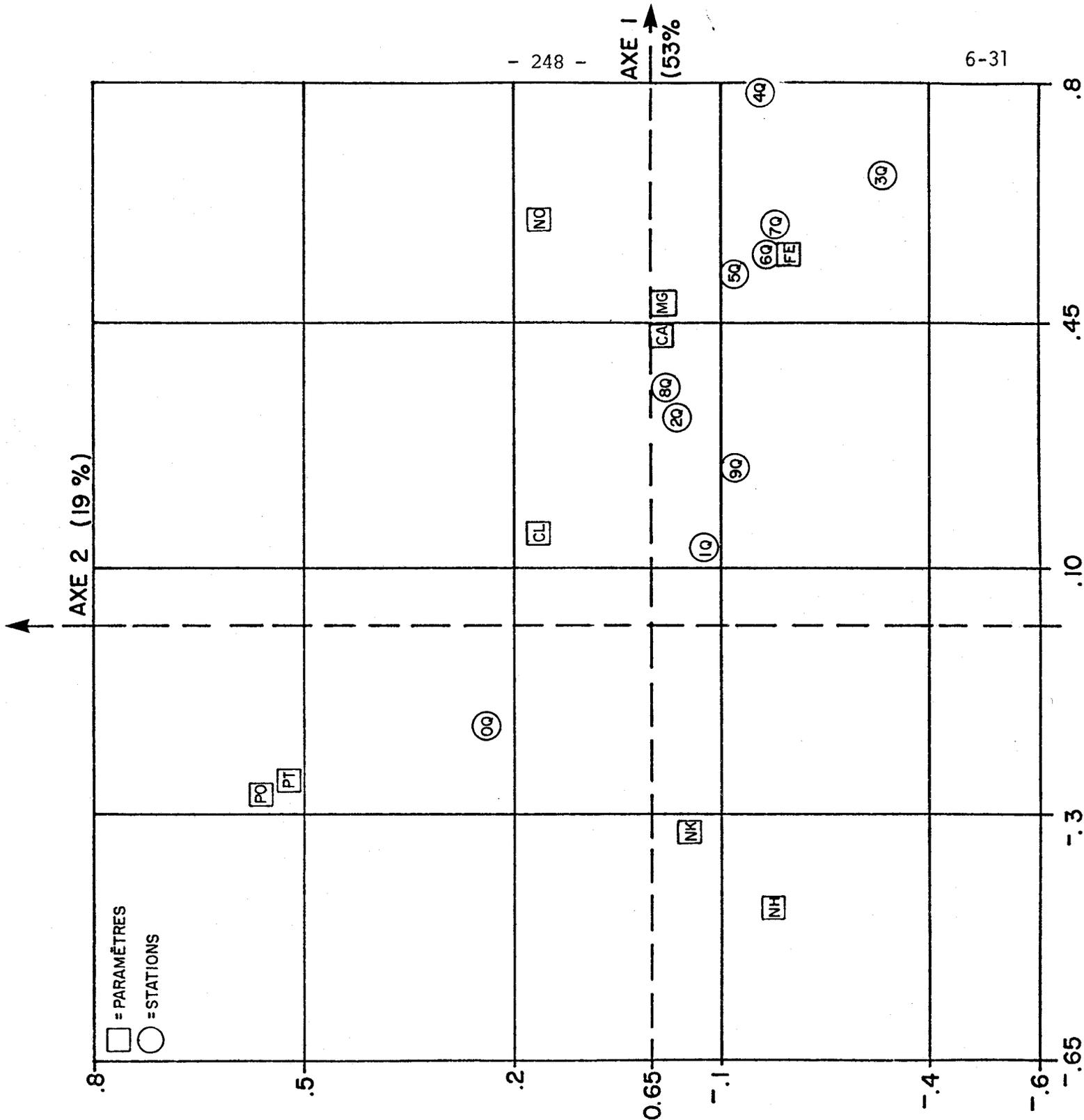


Fig. A.6.28. Analyse des correspondances. Comportement des mois à la station 03031K (station Q, Saint-Nazaire au pont-route à 2.4 km de son embouchure).

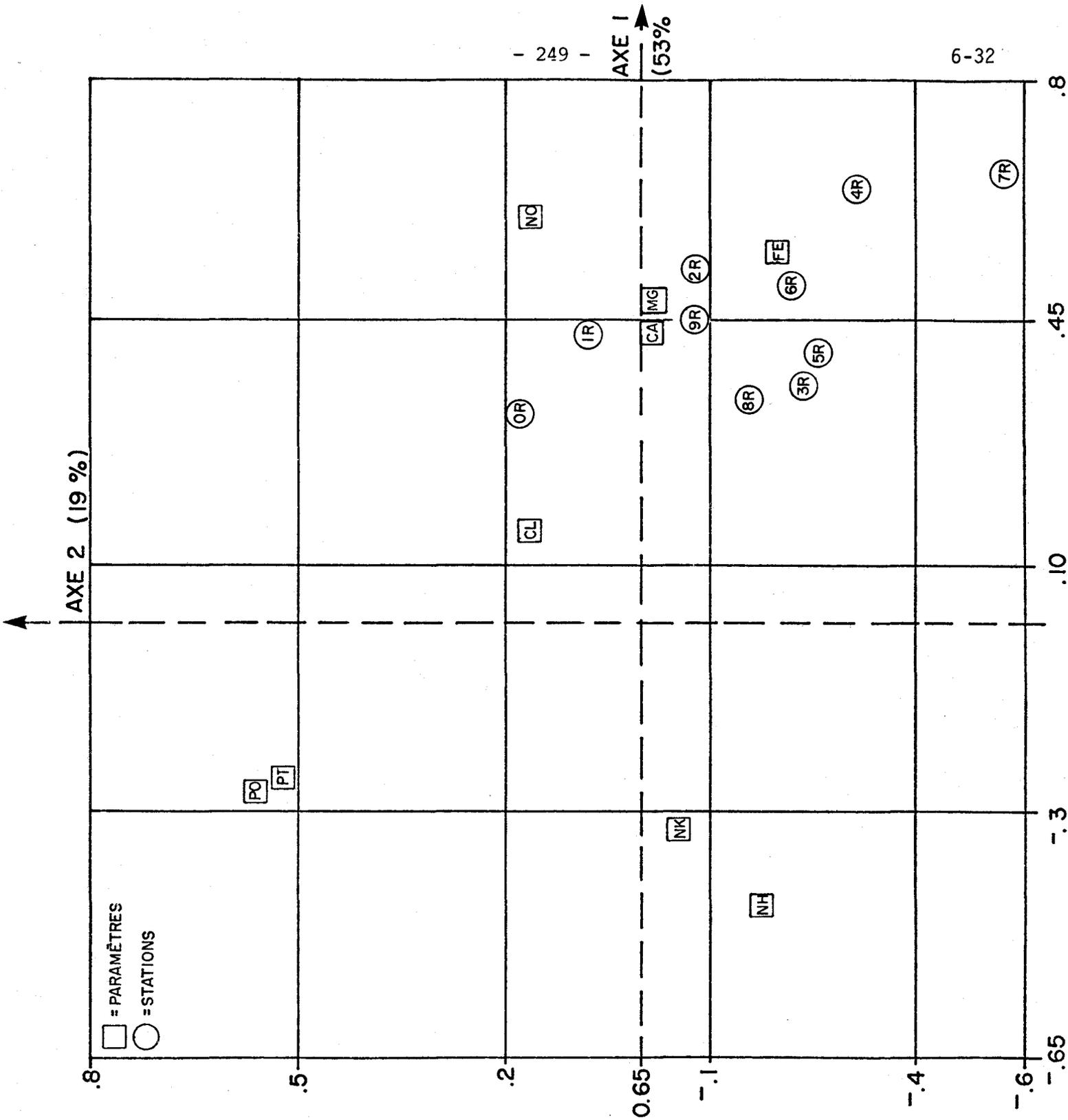


Fig. A.6.29. Analyse des correspondances. Comportement des mois à la station 03031J (station R, Noire au pont-route à 2.8 km en aval de Roxton-Falls).

Sur le premier axe du schéma ci-dessus, on note l'opposition entre, d'une part, les nitrates ( $N-NO_3$ ) et le potentiel de fertilité (PF) et, d'autre part, les ortho-phosphates ( $o-PO_4$ ), le phosphore total ( $P_T$ ), l'azote ammoniacal ( $N-NH_4$ ) et l'azote Kjeldahl ( $N_K$ ). Le deuxième axe permet de distinguer  $N-NO_3$  du potentiel de fertilité, et  $o-PO_4$  et  $P_T$  de  $N-NH_4$  et  $N_K$ . Il n'a pas été jugé utile dans une étude indicative comme celle-ci d'examiner la signification du troisième axe.

### 3.2 Comportement des mois

L'examen des Figures A.6.2 et A.6.3 ne permet pas de dégager des conclusions très nettes; en effet, pour un mois donné, on observe généralement une grande dispersion des points représentant les stations. Ceci traduit l'hétérogénéité du comportement des différentes stations pour le mois considéré. On peut cependant noter une assez bonne concentration des stations pour le mois de novembre (Figure A.6.10), à l'exception de la station 03031R (O), ainsi que pour le mois de décembre (Figure A.6.11) à l'exception des stations 03030C (H), 03031D (K), 03031C (N) et 03031R (O). On observe de manière très grossière un déplacement du nuage de points représentant chaque mois le long du premier axe de la gauche vers la droite, de février à juillet.

Les stations 03031C (N), 03031R (O) et 03031D (K), qui se trouvent toutes dans le sous-bassin de la rivière Yamaska-Nord, ont, en général, et pour l'ensemble des mois, un comportement différent des autres stations qui sont plus regroupées entre elles. Ceci est particulièrement évident pour les mois de juin (Figure A.6.5) et août (Figure A.6.7).

### 3.3 Comportement des stations

Sur chacune des Figures A.6.12 et A.6.29, on peut avoir pour une station donnée, l'évolution des points représentatifs des mois au cours de l'année. Il est également intéressant d'examiner la forme du nuage représentatif de chaque mois et sa position dans le plan des axes 1 et 2.

On note tout d'abord le comportement spécial des stations O et R:

- . la station R (03021J) (Figure A.6.29) est caractérisée par une forte valeur positive du premier facteur et une dispersion du deuxième facteur;
- . la station O (03031R) (Figure A.6.26) est caractérisée par une forte valeur négative du premier facteur et une dispersion marquée du deuxième facteur.

Puisque la station R est peu influencée par l'urbanisation alors que la station O en subit un impact important (égouts de la ville de Waterloo), cette opposition entre les stations O et R permet de donner une signification à l'axe 1:

- . extrémité négative à l'axe 1 ("influencée"), caractérisée par de fortes valeurs de  $\text{o-PO}_4$ ,  $\text{P}_T$ ,  $\text{N-NH}_4$ ,  $\text{N}_K$ ;
- . extrémité positive de l'axe 1 ("non influencée"), caractérisée par de faibles valeurs de ces mêmes paramètres.

Par ailleurs, nous avons tenté de regrouper les stations dont le comportement global était voisin:

- . Les stations A (03031L) (Figure A.6.12) et C (03030Z) (Figure A.6.14) ont un comportement identique, tant dans la forme générale du nuage que dans la position des points représentatifs des mois dans le nuage. Pour ces deux stations, on note sur l'axe 1 l'opposition entre les mois de mai, juin et juillet (extrémité positive de l'axe 1) et les mois de février et mars (extrémité négative de l'axe 1). Les mois d'août à décembre ont des valeurs intermédiaires et voisines sur l'axe 1 et sont dispersés sur l'axe 2.
- . La station B (03031M) est du même type que A et C avec quelques variantes dans la disposition relative des points.
- . Les stations E (03030D) et F (03031A) ont des comportements très voisins; elles sont caractérisées par une grande dispersion le long de l'axe 1 et une faible dispersion sur l'axe 2. On peut noter un regroupement des mois de février, mars, août et septembre proches du centre de gravité du nuage global, tandis que les mois de mai, juin, juillet et décembre sont caractérisés par de fortes valeurs de premier facteur et pourraient être reliés à de fortes valeurs du potentiel de fertilité et des teneurs élevées en  $\text{N-NO}_3$ . Les mois

d'octobre et novembre occupent une position intermédiaire.

- . La station G (03131B) présente de fortes analogies avec E et F (même forme de nuage) avec la différence que le mois d'octobre se regroupe avec les mois de février, mars, août, septembre et le mois de novembre se regroupe avec ceux de mai, juin, juillet et décembre.
- . Les stations I (03031H) et J (03031G) sont comparables tant par la forme du nuage que par la disposition relative des points. Il est à noter que pour ces deux stations le mois de juillet est caractérisé par une forte valeur du premier facteur et semble attiré par le potentiel de fertilité et repoussé par les autres paramètres. On peut également remarquer la proximité des mois de février, août et septembre.
- . La station M (03031F) présente quelques analogies avec I et J, malgré le comportement différent du mois d'octobre.
- . La station L (03031E), bien que le nuage de points qui la représente ait une orientation générale différente de celui relatif à la station M, montre le même regroupement des mois de mars, mai, juin, novembre et décembre.
- . Les stations N (03031C) et K (03031D) ont des comportements voisins qui montrent un regroupement des mois de février, août, septembre et octobre à l'extrémité négative de l'axe 1, dans la zone caractérisée par les paramètres  $N-NH_4$  et  $N_K$ ; d'autre part, les mois de mars, mai, juin, novembre et décembre sont très dispersés suivant le deuxième axe avec une faible valeur du premier facteur, et ils sont représentés par les paramètres  $o-PO_4$  et  $P_T$ . Le mois de juillet pour la station K se distingue nettement de tous les autres; en ce qui concerne la station N, ce mois a été éliminé de l'analyse.
- . Les stations D (03031P), H (03030C), P (03031J) et Q (03031K) ne peuvent se regrouper avec d'autres stations.

#### 4. CONCLUSIONS

L'analyse multivariée des données relatives aux substances nutritives a permis de faire certains regroupements de stations. Dans l'optique d'une réduc-

duction du réseau, les résultats permettent donc d'entrevoir l'élimination de certaines des stations (voir la section 4.2). Il est cependant à remarquer que l'analyse, si elle met en évidence certaines analogies, ne permet pas de dégager des conclusions très nettes. Comme raisons pouvant expliquer ce fait, mentionnons:

- . le nombre limité de paramètres reliés aux substances nutritives, et donc l'insuffisance du sous-échantillonnage des différentes formes de substances nutritives, ce qui ne permet pas d'analyser complètement le comportement et l'évolution de ces substances;
- . la fréquence d'échantillonnage peu élevée, qui ne permet pas de suivre l'ensemble des fluctuations temporelles.

L'interprétation de la signification physique des axes est très délicate et il serait hasardeux avec les seules données actuellement disponibles de vouloir pousser trop loin cette interprétation. En d'autres termes, cette analyse doit seulement être considérée comme une première étape indicative de certaines tendances générales.

ANNEXE 7

Potentiel hétérotrophe (glucose) - analyse statistique  
des valeurs de pourcentage de respiration

Bobée, B.  
Campbell, P.G.  
Robitaille, R.

Pour chaque station d'échantillonnage et chaque mois, on disposait d'au maximum trois valeurs du pourcentage de respiration pour chacun des quatre niveaux de concentration de glucose ajouté (voir les sections 2.3.6 et 3.4.3). Comme données de départ on a donc pris la moyenne des valeurs obtenues pour chaque niveau de concentration. A partir de ces données de base, les analyses suivantes ont été effectuées.

#### 1. Analyse de variance à deux critères (mois-station)

Pour chaque cellule (mois  $i$ , station  $j$ ) on a considéré le pourcentage moyen de respiration correspondant. Cette analyse montre, aussi bien pour le bassin de la rivière Yamaska que pour celui de la Saint-François, que:

- il n'est pas possible de mettre en évidence des différences entre les stations (c'est-à-dire qu'il y a égalité des moyennes calculées à chaque station sur l'ensemble des mois);
- il y a des différences entre les mois (c'est-à-dire que les moyennes calculées sur l'ensemble des stations pour les mois différents ne sont pas toutes égales).

#### 2. Analyse de variance à un critère (station)

Pour chacun des mois, on a effectué une analyse de variance dans le but de comparer entre elles les moyennes obtenues à chaque station. Pour chaque station, on a considéré la série obtenue en faisant la moyenne relative à chaque niveau de concentration. Les résultats de cette analyse et des différents tests d'égalité se trouvent dans les Tableaux A.7.1 (rivière Saint-François) et A.7.2 (rivière Yamaska). Lorsque le test d'égalité simultanée de l'ensemble des moyennes conduisait au rejet de l'hypothèse d'égalité, on a employé le test de Scheffe afin d'identifier des groupes de stations ayant les moyennes statistiquement égales. Les résultats de l'application de ce test sont présentés dans les Tableaux A.7.3 (rivière Saint-François) et A.7.4 (rivière Yamaska).

**TABLEAU A.7.1:** ANALYSE DE VARIANCE DES POURCENTAGES MOYENS DE RESPIRATION - BASSIN DE LA RIVIERE SAINT-FRANCOIS.

Date d'échantillonnage		Variance <sup>1</sup>	Moyennes <sup>1</sup> (stations)	Groupes de stations ayant des moyennes égales <sup>2 3</sup>
1974	26-27 mars	N	N	5 3 1 6 2 7
	22-23 avril	D	D	5 7 6 3; 7 6 3 2 1
	22-23 mai	N	D*	6 3 2; 3 2 1; 1 5 7
	18-19 juin	D*	D*	7 1 5 2; 1 5 2 6 3
	16-16 juillet	N	D	5 6 3 1 2 7
	12-13 août	D*	D*	7 6 2 5 1; 6 2 5 1 3
	09-10 septembre	N	D*	7 6 2 3 5; 2 3 5 1
	08-09 octobre	D*	D*	1 7 3 6 2; 3 6 2 5
	04-05 novembre	N	D	7 1 6 3 5 2
	03-04 décembre	N	D*	3 1 2 7 6; 1 2 7 6 5
1975	07-08 janvier	D*	N	7 6 1 2 5 3
	01-02 avril	N	N	6 2 5 3 7 1
	28-29 avril	N	N	1 3 2 7 5 6
	16-17 juin	D*	N	5 6 3 7 2 1
	15-17 juillet	D	D*	7 1 2 6; 1 2 6 5 3

<sup>1</sup> N = différences non significatives au niveau de signification de 5%;  
 D = différences significatives au niveau de signification de 5% mais non à 1%;  
 D\* = différences significatives au niveau de signification de 1%.

<sup>2</sup> Pour l'identification et la localisation des stations d'échantillonnage spéciales, voir la Figure A.7.1.

<u>no de station</u>	<u>nom de station</u>	<u>no de station</u>	<u>nom de station</u>
1	Pierreville	5	Massawippi
2	Richmond	6	Lennoxville
3	Bromptonville	7	Saint-Gérard

<sup>3</sup> Le regroupement des stations est fait à l'aide de test de Scheffe, appliqué au niveau de confiance de 5%.

TABLEAU A.7.2: ANALYSE DE VARIANCE DES POURCENTAGES MOYENS DE RESPIRATION - BASSIN DE LA RIVIERE YAMASKA.

Date d'échantillonnage		Variance <sup>1</sup>	Moyennes <sup>1</sup> (stations)	Groupes de stations ayant des moyennes égales <sup>2 3</sup>
1974	19-20 mars	N	N	4 2 3 1 5 6
	17-18 avril	D	N	2 6 4 5 1 3
	13-14 mai	N	D*	2 6 5 1; 5 1 3; 1 3 4
	20-21 juin	N	D*	6 2 3 1; 2 3 1 5 4
	15-18 juillet	N	D*	5 1 3 4; 3 4 6 2
	12-15 août	N	D*	4 6; 3 2; 1 5
	09-12 septembre	N	D*	2 3 6 4 1; 3 6 4 1 5
	08-10 octobre	N	D*	1 2 3; 2 3 4 6; 3 4 6 5
	04-06 novembre	N	D*	2 6 1 4 3; 4 3 5
	03-05 décembre	N	D*	6 2; 2 4; 4 1; 1 3; 3 5
1975	07-09 janvier	N	D*	3; 1 4; 4 6 2 5
	01-04 avril	D*	D*	3 1; 1 5 2 6; 5 2 6 4
	28-30 avril	N	N	5 4 1 2 3 6
	16-18 juin	N	D*	2 1 3 6 4; 5
	15-17 juillet	D*	N	3 2 6 4 1 5

<sup>1</sup> N = différences non significatives au niveau de signification de 5%;  
 D = différences significatives au niveau de signification de 5% mais non à 1%;  
 D\* = différences significatives au niveau de signification de 1%.

<sup>2</sup> Pour l'identification et la localisation des stations d'échantillonnage spéciales, voir la Figure A.7.1.

<u>no de la station</u>	<u>nom de station</u>	<u>no de la station</u>	<u>nom de la station</u>
1	Saint-Marcel	4	Brigham (aval)
2	Saint-Pie	5	Saint-Alphonse (aval)
3	Saint-Damase	6	Adamsville

<sup>3</sup> Le regroupement des stations est fait à l'aide de test de Scheffe, appliqué au niveau de confiance de 5%.

TABEAU A.7.3: POURCENTAGE DU GLUCOSE RESPIRE - CLASSEMENT DES STATIONS SPECIALES PAR ORDRE CROISSANT (BASSIN VERSANT DE LA RIVIERE SAINT-FRANCOIS)

DATE D'ECHANTILLONNAGE		CLASSEMENT DES STATIONS D'ECHANTILLONNAGE <sup>1,2</sup>
1974	26 - 27 mars	5 3 1 6 2 7
	22 - 23 avril	5 (7 6 3 2) 1
	22 - 23 mai	6 (3 2) (1) 5 7
	18 - 19 juin	7 (1 5 2) 6 3
	15 - 16 juillet	5 6 3 1 2 7
	12 - 13 août	7 (6 2 5 1) 3
	09 - 10 septembre	7 6 (2 3 5) 1
	08 - 09 octobre	1 7 (3 6 2) 5
	04 - 05 novembre	7 1 6 3 5 2
	03 - 04 décembre	3 (1 2 7 6) 5
1975	07 - 08 janvier	7 6 1 2 5 3
	01 - 02 avril	6 2 5 3 7 1
	28 - 29 avril	1 3 2 7 5 6
	16 - 17 juin	5 6 3 7 2 1
	15 - 17 juillet	7 (1 2 6) 5 3

<sup>1</sup> Pour l'identification et la localisation des stations d'échantillonnage spéciales, voir la Figure A.7.1.

<u>no de station</u>	<u>nom de station</u>	<u>no de station</u>	<u>nom de station</u>
1	Pierreville	5	Massawippi
2	Richmond	6	Lennoxville
3	Bromptonville	7	Saint-Gérard

<sup>2</sup> Les stations sont rangées par ordre croissant du pourcentage de respiration; les parenthèses dénotent les groupes de stations pour lesquels les valeurs du pourcentage de respiration peuvent être considérés statistiquement égales.

TABLEAU A.7.4: POURCENTAGE DU GLUCOSE RESPIRE - CLASSEMENT DES STATIONS SPECIALES PAR ORDRE CROISSANT (BASSIN VERSANT DE LA RIVIERE YAMASKA)

DATE D'ECHANTILLONNAGE		CLASSEMENT DES STATIONS D'ECHANTILLONNAGE <sup>1,2</sup>
1974	19 - 20 mars	4 2 3 1 5 6
	17 - 18 avril	2 6 4 5 1 3
	13 - 14 mai	2 6 5 1 3 4
	20 - 21 juin	6 2 3 1 5 4
	15 - 18 juillet	5 1 3 4 6 2
	12 - 15 août	4 6 3 2 1 5
	09 - 12 septembre	2 3 6 4 1 5
	08 - 10 octobre	1 2 3 4 6 5
	04 - 06 novembre	2 6 1 4 3 5
	03 - 05 décembre	6 2 4 1 3 5
1975	07 - 09 janvier	3 1 4 6 2 5
	01 - 04 avril	3 1 5 2 6 4
	28 - 30 avril	5 4 1 2 3 6
	16 - 18 juin	2 1 3 6 4 5
	15 - 17 juillet	3 2 6 4 1 5

<sup>1</sup> Pour l'identification et la localisation des stations d'échantillonnage spéciales, voir la Figure A.7.1.

<u>no de station</u>	<u>nom de station</u>	<u>no de station</u>	<u>nom de station</u>
1	Saint-Marcel	4	Brigham (aval)
2	Saint-Pie	5	Saint-Alphonse (aval)
3	Saint-Damase	6	Adamsville

<sup>2</sup> Les stations sont rangées par ordre croissant du pourcentage de respiration; les parenthèses dénotent les groupes de stations pour lesquels les valeurs du pourcentage de respiration peuvent être considérées statistiquement égales.

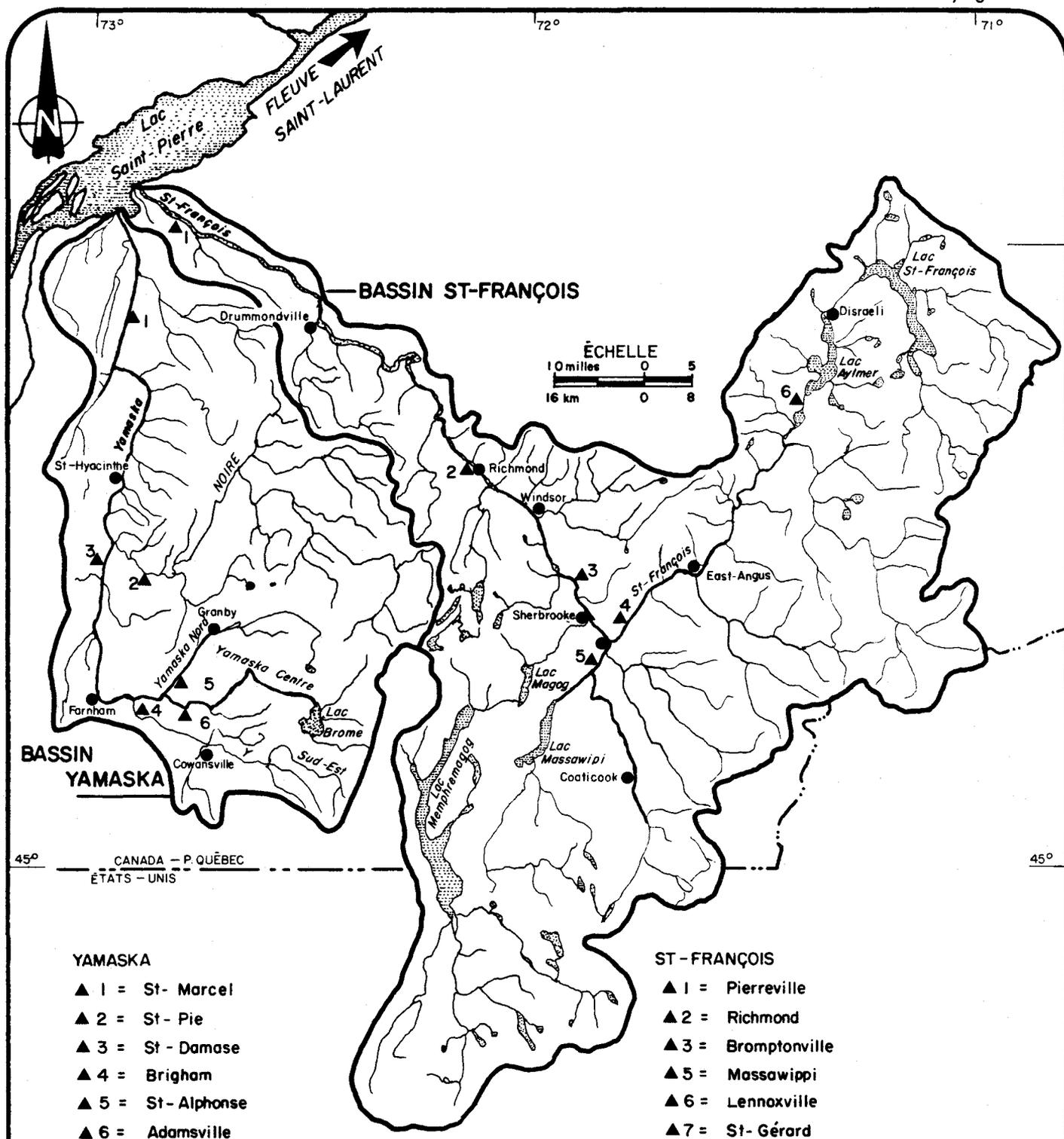


Fig.A.7.1. Bassin versant des rivières Yamaska et St-François : localisation des stations d'échantillonnage .

Dans ces deux derniers tableaux, les stations sont rangées suivant un ordre croissant des valeurs du pourcentage de respiration; les parenthèses dénotent les groupes de stations pour lesquels les valeurs moyennes du pourcentage de respiration peuvent être considérées comme statistiquement égales. L'examen de ces tableaux montre que dans chaque bassin versant l'ordre des stations varie d'un mois à l'autre. Cette observation implique que l'égalité des pourcentages moyens de respiration calculés à chaque station sur l'ensemble des mois, mise en évidence par la première analyse de variance (à deux critères), ne peut être attribuée seulement à la grande variabilité temporelle du pourcentage de respiration; le classement variable des stations d'une campagne à l'autre contribue aussi à l'égalité des moyennes annuelles.

Dans le but de mieux discriminer les diverses stations d'échantillonnage, on leur a attribué des rangs. Pour chaque campagne de mesures, les stations furent rangées par ordre croissant du pourcentage de respiration (voir les Tableaux A.7.3 et A.7.4); par la suite, on a donné à chaque station un rang variant de 1 (% R le plus faible) à 5 (% R le plus élevé). Pour chaque station, un *rang moyen* fut calculé à partir de l'ensemble des rangs mensuels. Les résultats de ce calcul se trouvent dans le Tableau A.7.5. Si le classement des stations avait varié de façon aléatoire d'un mois à l'autre, chaque station aurait eu un rang moyen voisin de 3.5 (c'est-à-dire  $\{1+2+3+4+5+6\} \div 6$ ). En effet, les rangs moyens varient de 2.5 à 4.7 pour les stations dans le bassin de la rivière Yamaska, et de 3.0 à 3.9 pour celles dans le bassin de la rivière Saint-François.

Dans un second temps le calcul des rangs a été amélioré en tenant compte des regroupements de stations ayant des pourcentages de respiration statistiquement égaux (c'est-à-dire les regroupements indiqués dans les Tableaux A.7.3 et A.7.4). Lorsque le test de Scheffe indiquant que le pourcentage moyen de respiration n'était pas significativement différent pour un groupe de stations (ex.: rivière Saint-François, mois de mars 1974), on donnait à chaque station le même rang (3.5). Par contre, lorsque le test de Scheffe faisait ressortir des différences entre stations (ex.: rivière Saint-François, mois d'avril 1974), on tenait compte de tous les regroupements possibles de stations. Un exemple du calcul est donné ci-dessous.

TABLEAU A.7.5: POURCENTAGE DE GLUCOSE RESPIRE - RANGS MOYENS ET RANGS MOYENS PONDERES POUR LES STATIONS SPECIALES DANS LES BASSINS VERSANTS DES RIVIERES YAMASKA ET SAINT-FRANCOIS

Bassin versant	Station d'échantillonnage	Rang moyen <sup>1</sup>	Rang pondéré moyen <sup>1</sup>
Rivière Yamaska	Adamsville	3.5	3.2
	Saint-Alphonse (aval)	4.7	4.4
	Brigham (aval)	3.7	3.7
	Saint-Damase	3.3	3.2
	Saint-Pie	2.5	3.5
	Saint-Marcel	3.4	3.0
Rivière Saint-François	Saint-Gérard	3.0	3.1
	Lennoxville	3.1	3.4
	Massawippi	3.7	3.8
	Bromptonville	3.7	3.7
	Richmond	3.9	3.5
	Pierreville	3.5	3.6

<sup>1</sup> Pour le calcul des rangs moyens, voir le texte.

bassin: rivière Saint-François (avril 1974)						
regroupements de stations:	5 = 7 = 6 = 3 = 2					
(voir le Tableau A.7.3)	7 = 6 = 3 = 2 = 1					
calcul du rang pondéré:						
station	1	2	3	5	6	7
classement no 1, rangs individuels	6	15/5	15/5	15/5	15/5	15/5
classement no 2, rangs individuels	20/5	20/5	20/5	1	20/5	20/5
$\Sigma$	10	7	7	4	7	7
$\div 2$	5	3.5	3.5	2	3.5	3.5

Pour chaque station, un *rang pondéré moyen* fut calculé à partir de l'ensemble des rangs pondérés mensuels. Selon les résultats de ce calcul, présentés dans le Tableau A.7.5, les rangs pondérés moyens varient de 3.0 à 4.4 pour les stations dans le bassin de la rivière Yamaska, et de 3.1 à 3.8 pour celles dans le bassin de la rivière Saint-François. Cependant, d'après les résultats du test de Friedman, les différences entre stations ne sont pas significatives à un niveau de confiance de 5%.

REFERENCES:

KEENEY, J.F. et KEEPING, E.S. (1951).

Mathematics of statistics. Part 2, Chap. 11, p. 238. VAN NOSTRAND, New-York, 425 p.

MORISSON, D.D. (1967).

Multivariate Statistical Methods. Chap. 1, p. 32. McGraw Hill, New-York, 338 p.

KEEPING, E.S. (1966).

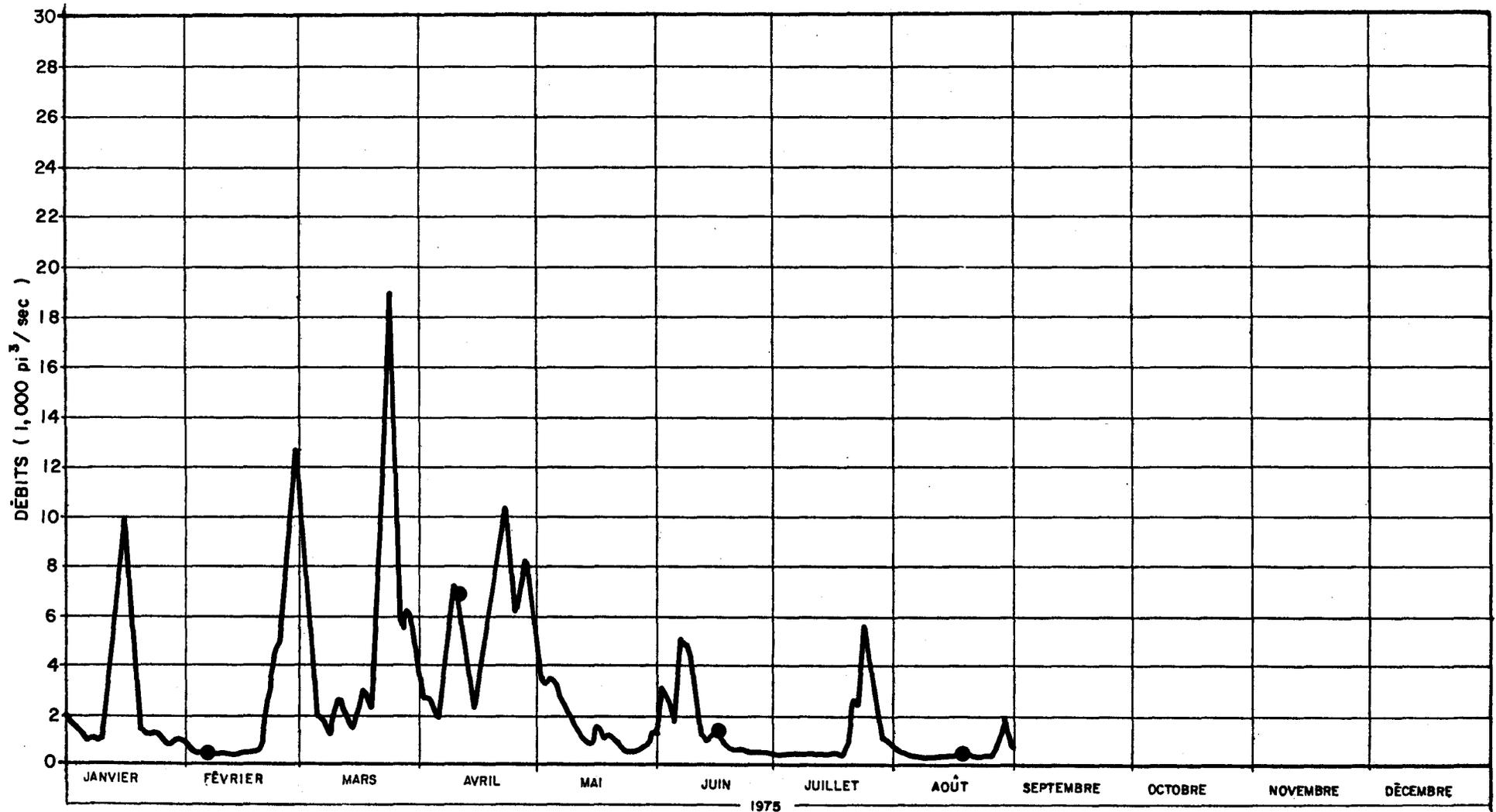
Distribution free methods in statistics.

In: Proceedings of hydrology symposium No 5, held at McGill University, National Research Council of Canada, p. 211-253.

ANNEXE 8

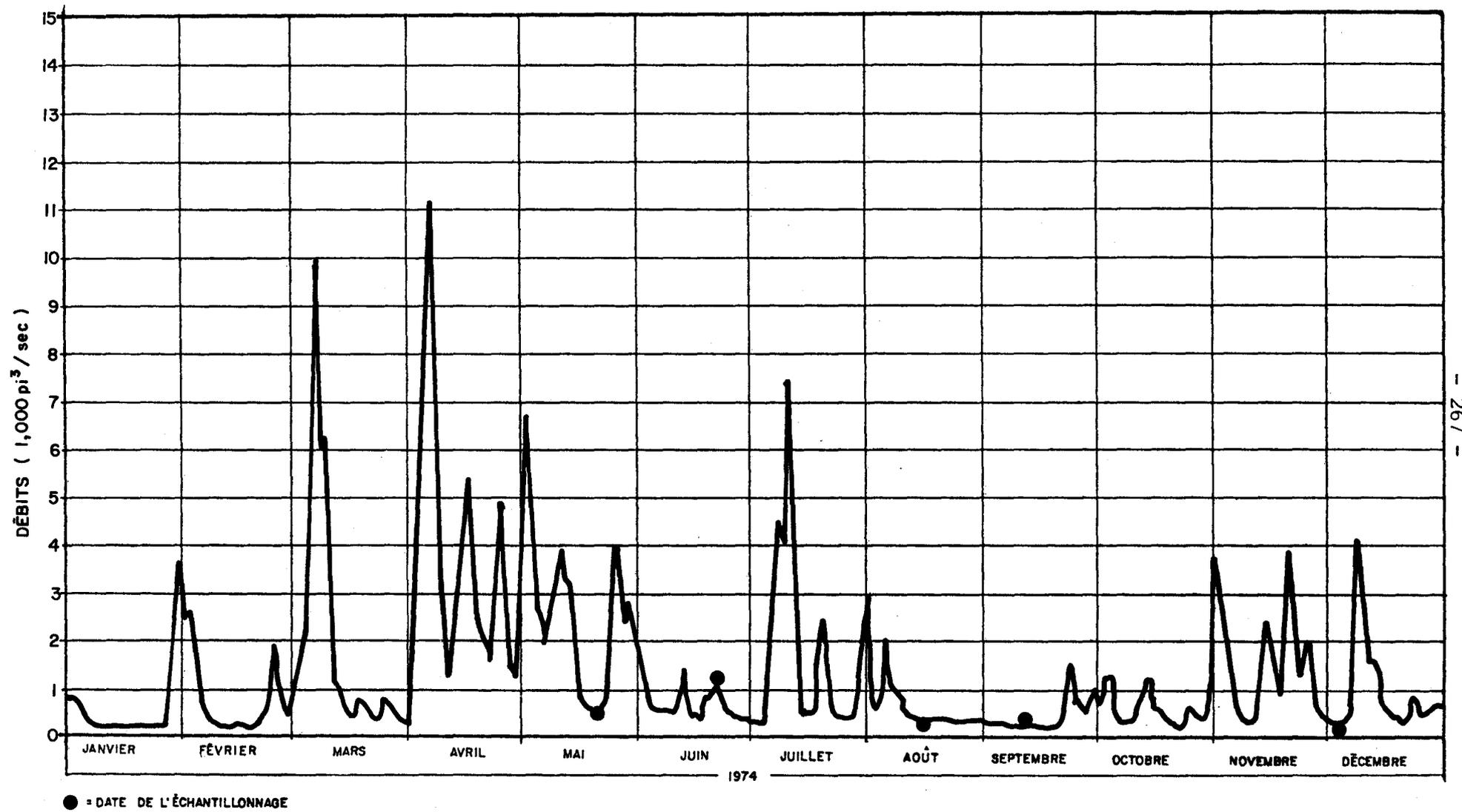
Débits journaliers simulés pour les stations d'échantillonnage spéciales dans les bassins versants des rivières Yamaska et Saint-François; hydrogrammes annuels pour les années 1974 et 1975 (INRS-MRN, 1976)





● = DATE DE L'ÉCHANTILLONNAGE

Fig. A.8.2. Débits journaliers de la rivière Yamaska à la station de Saint-Marcel (1975).



- 267 -

Fig. A.8.3. Débits journaliers de la rivière Yamaska à la station de Saint-Pie (1974).

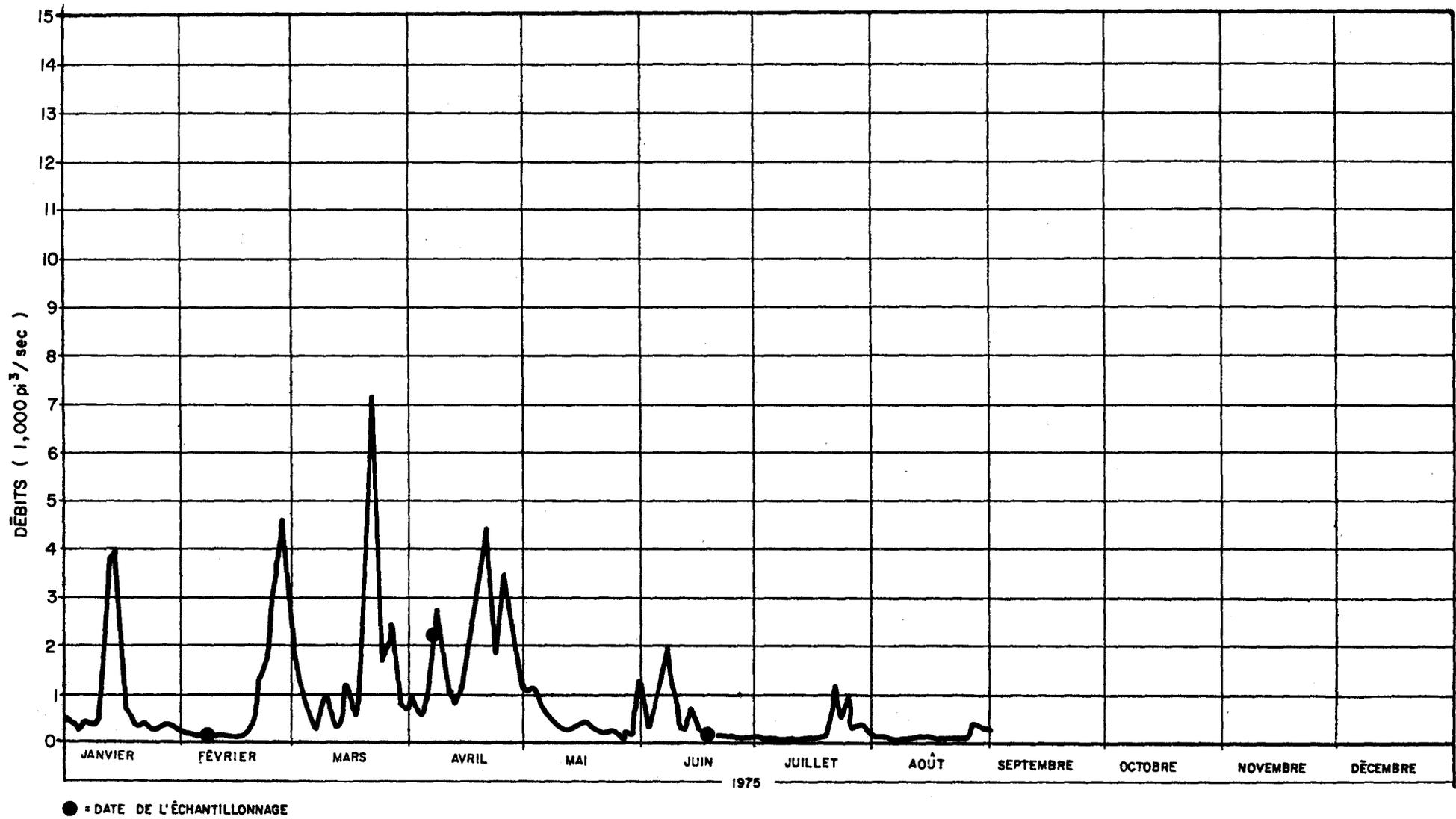


Fig. A.8.4. Débits journaliers de la rivière Yamaska à la station de Saint-Pie (1975).

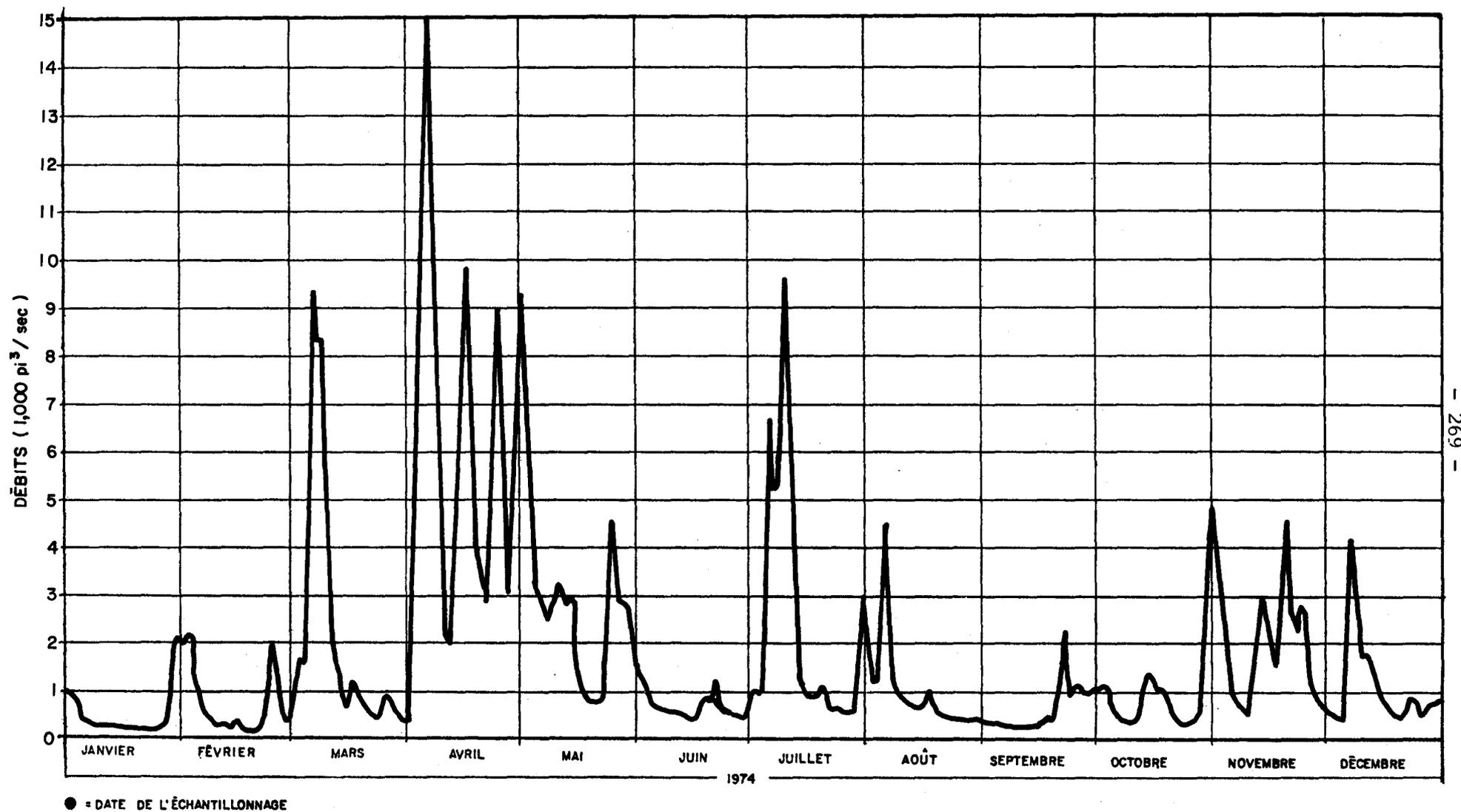


Fig. A.8.5. Débits journaliers de la rivière Yamaska à la station de Saint-Damase (1974).

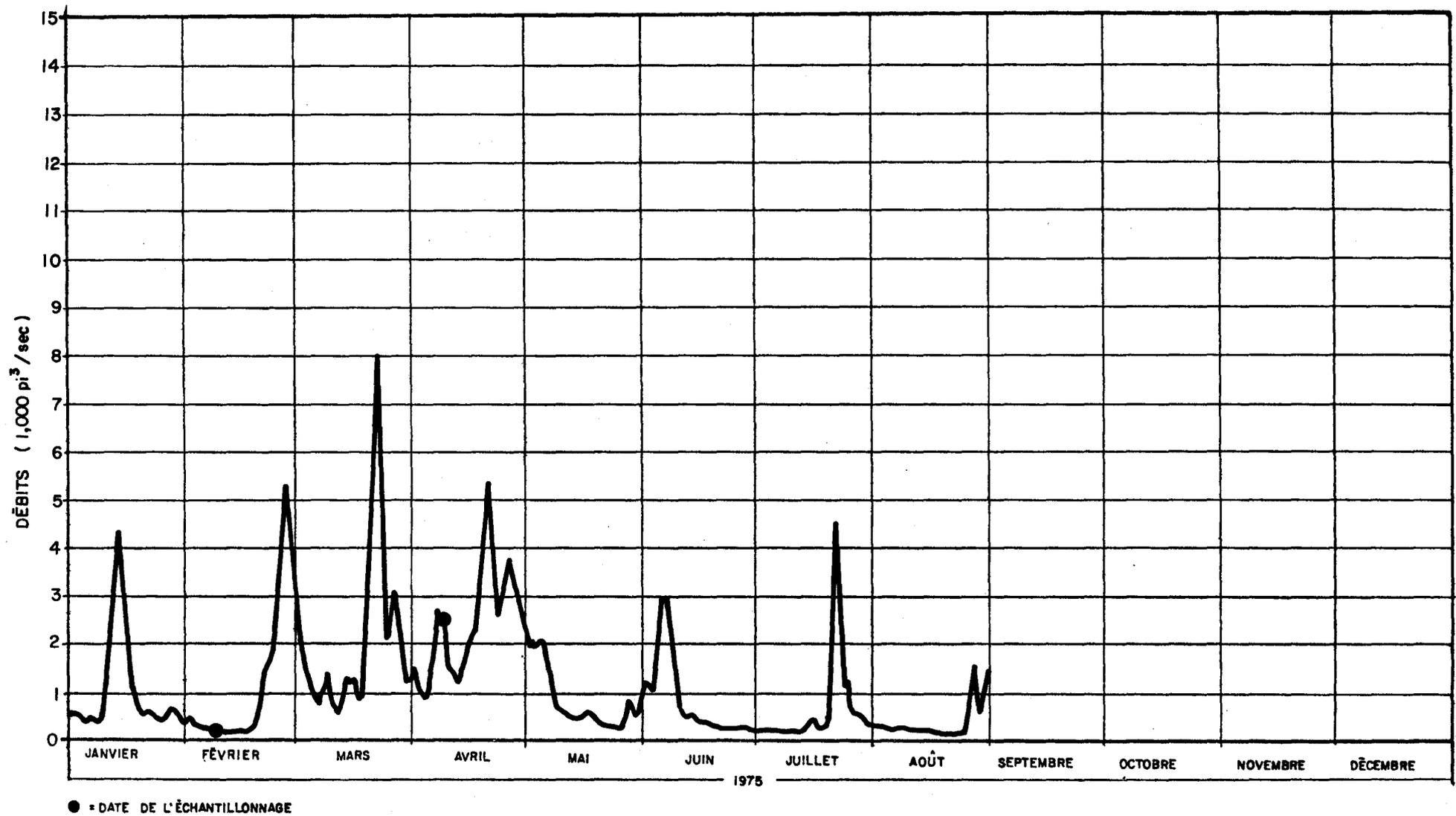
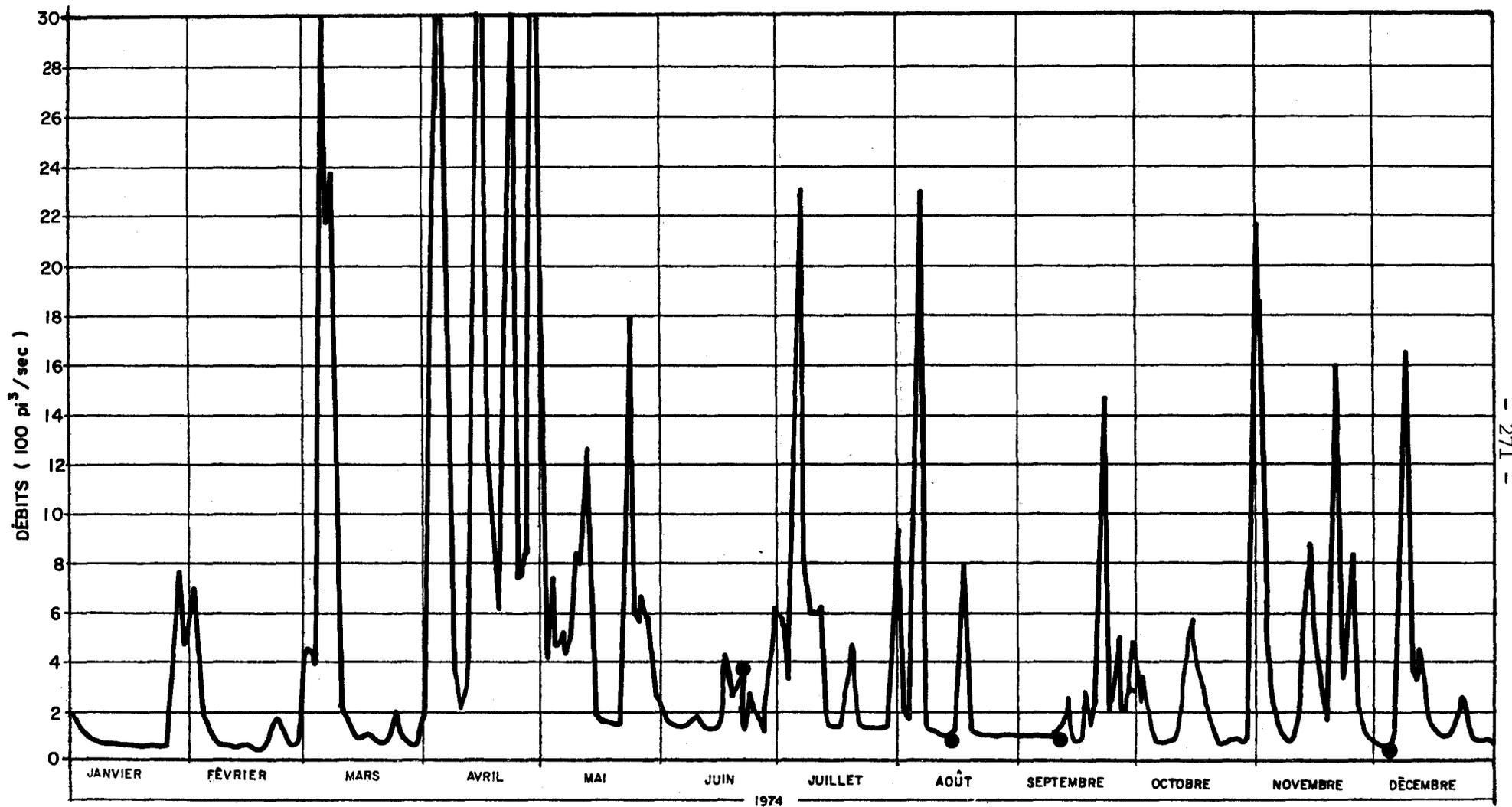


Fig. A.8.6. Débits journaliers de la rivière Yamaska à la station de Saint-Damase (1975).



● = DATE DE L'ÉCHANTILLONNAGE

Fig. A.8.7. Débits journaliers de la rivière Yamaska à la station de Brigham (aval) (1974).

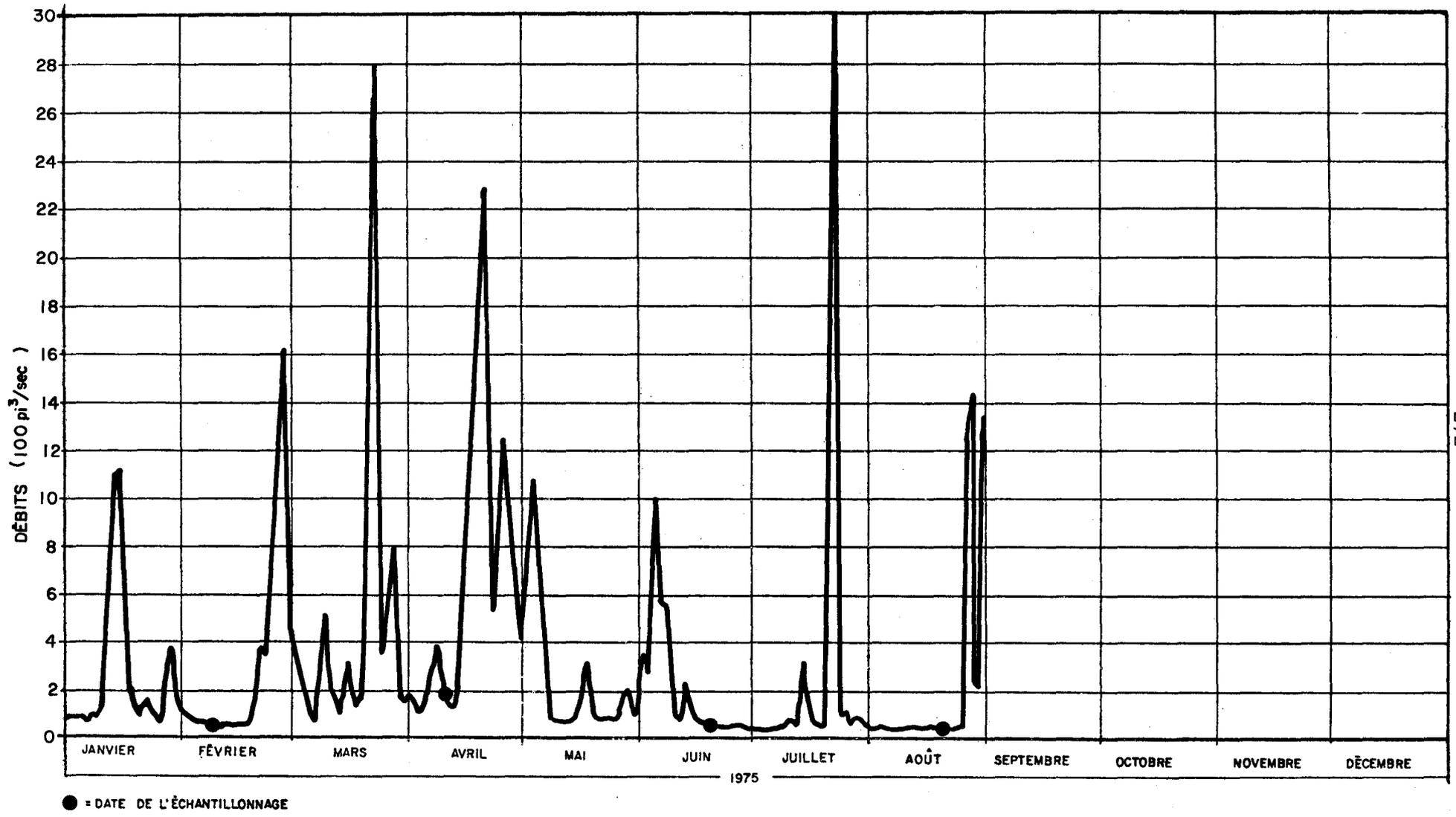


Fig. A.8.8. Débits journaliers de la rivière Yamaska à la station de Brigham (aval) (1975).

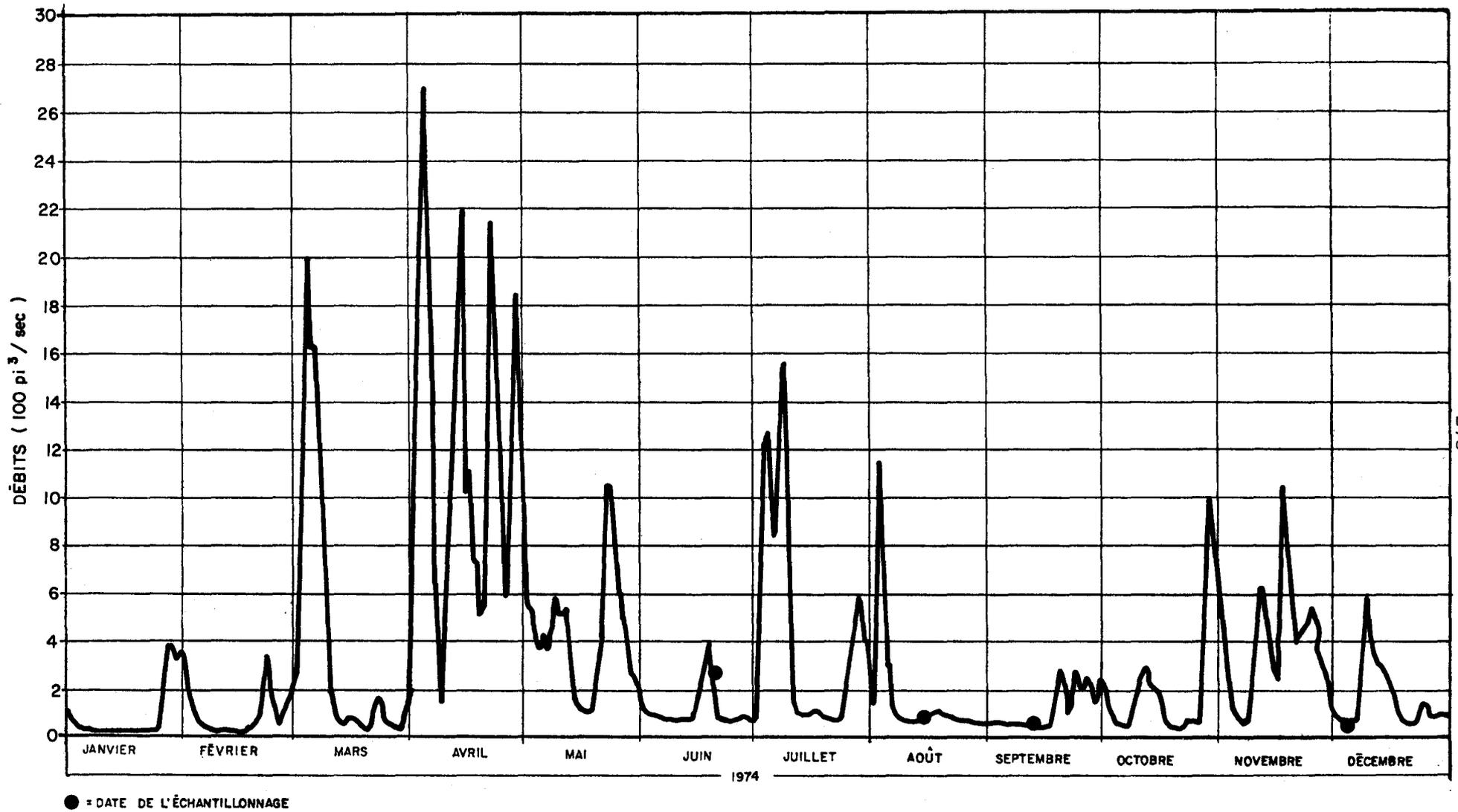


Fig. A.8.9. Débits journaliers de la rivière Yamaska à Saint-Alphonse (aval) (1974).

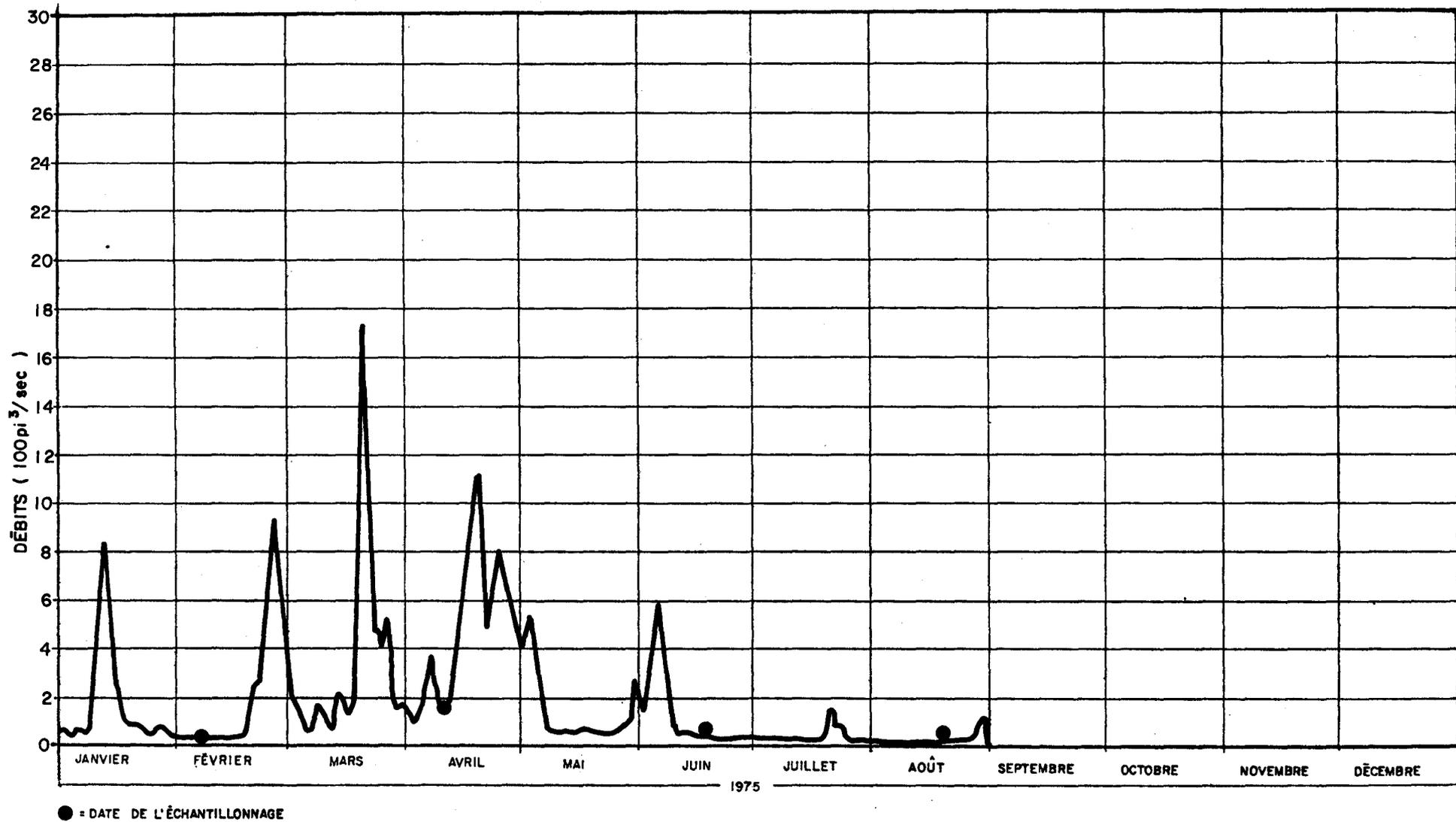


Fig. A.8.10. Débits journaliers de la rivière Yamaska à Saint-Alphonse (aval) (1975).

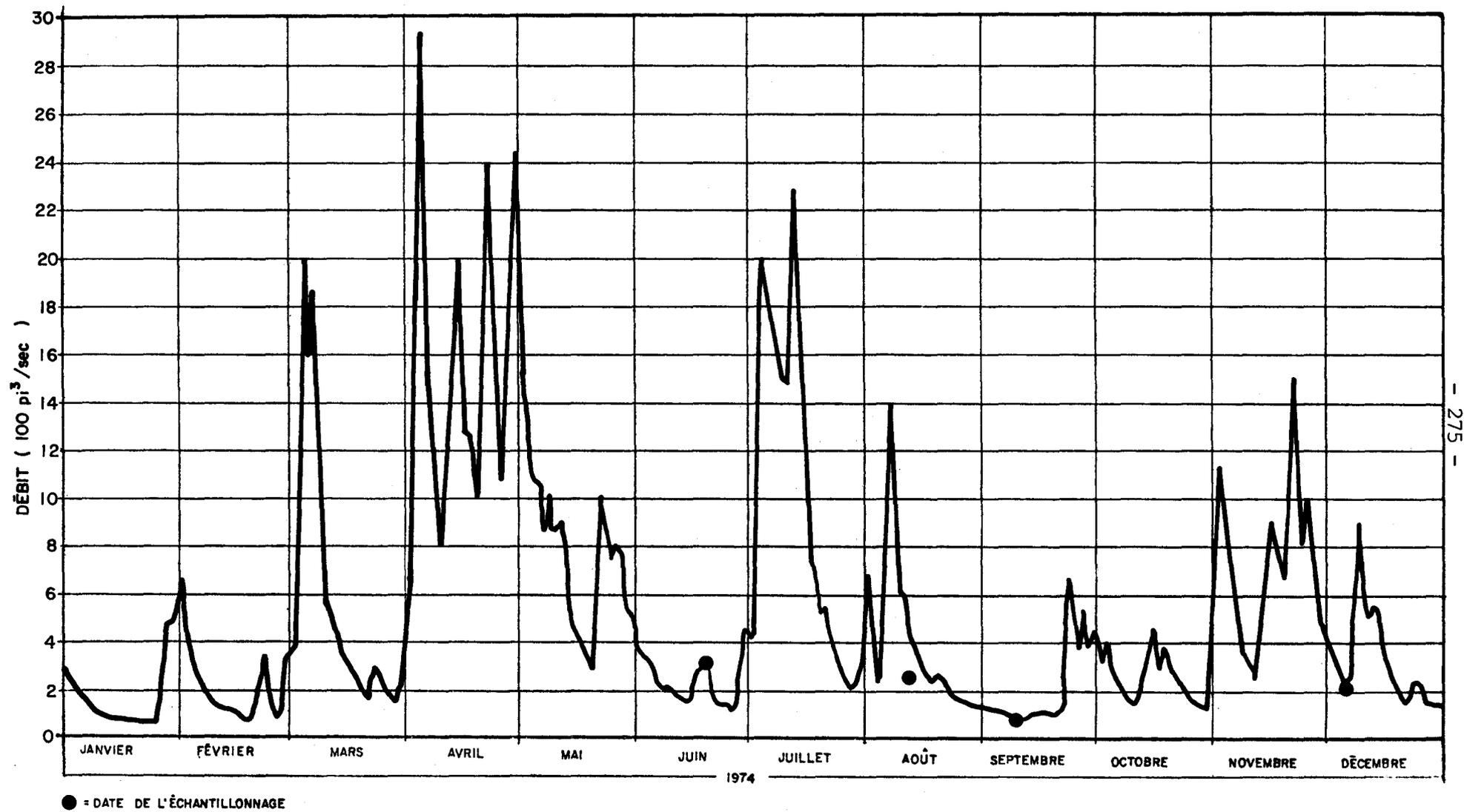


Fig. A.8.11. Débits journaliers de la rivière Yamaska à Adamsville (1974).



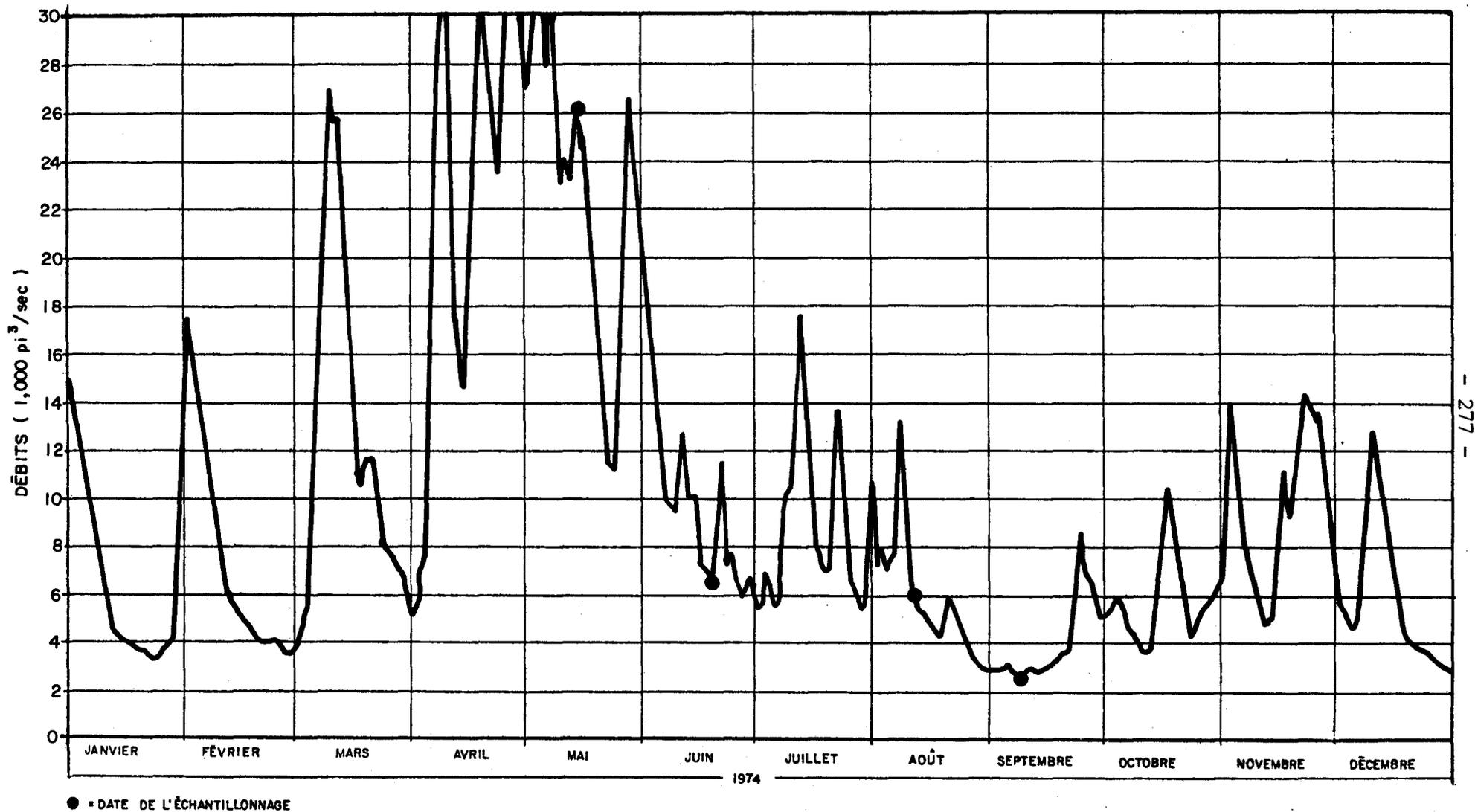


Fig. A.8.13. Débits journaliers de la rivière Saint-François à Pierreville (1974).

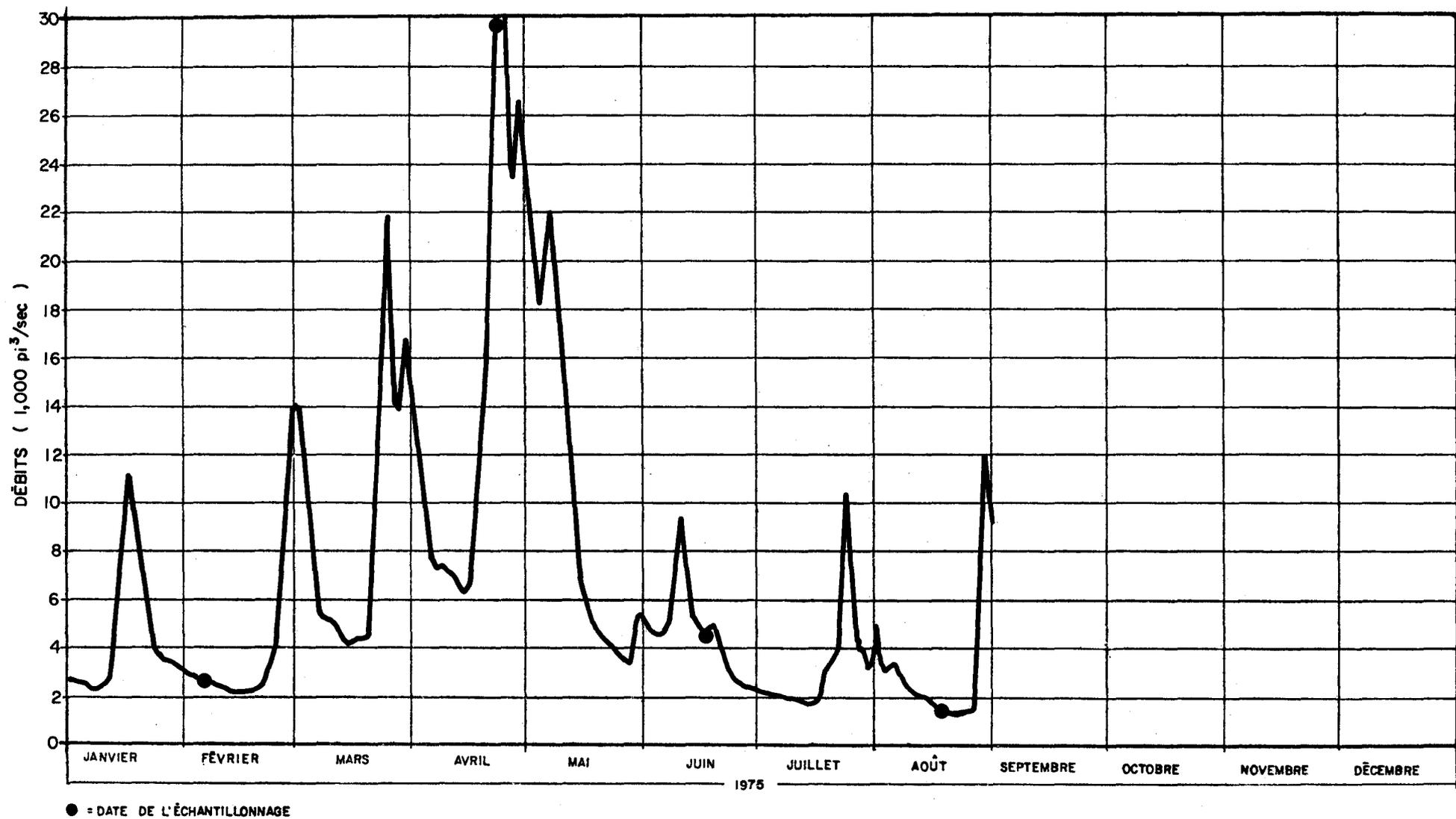


Fig. A.8.14. Débits journaliers de la rivière Saint-François à Pierreville (1975).

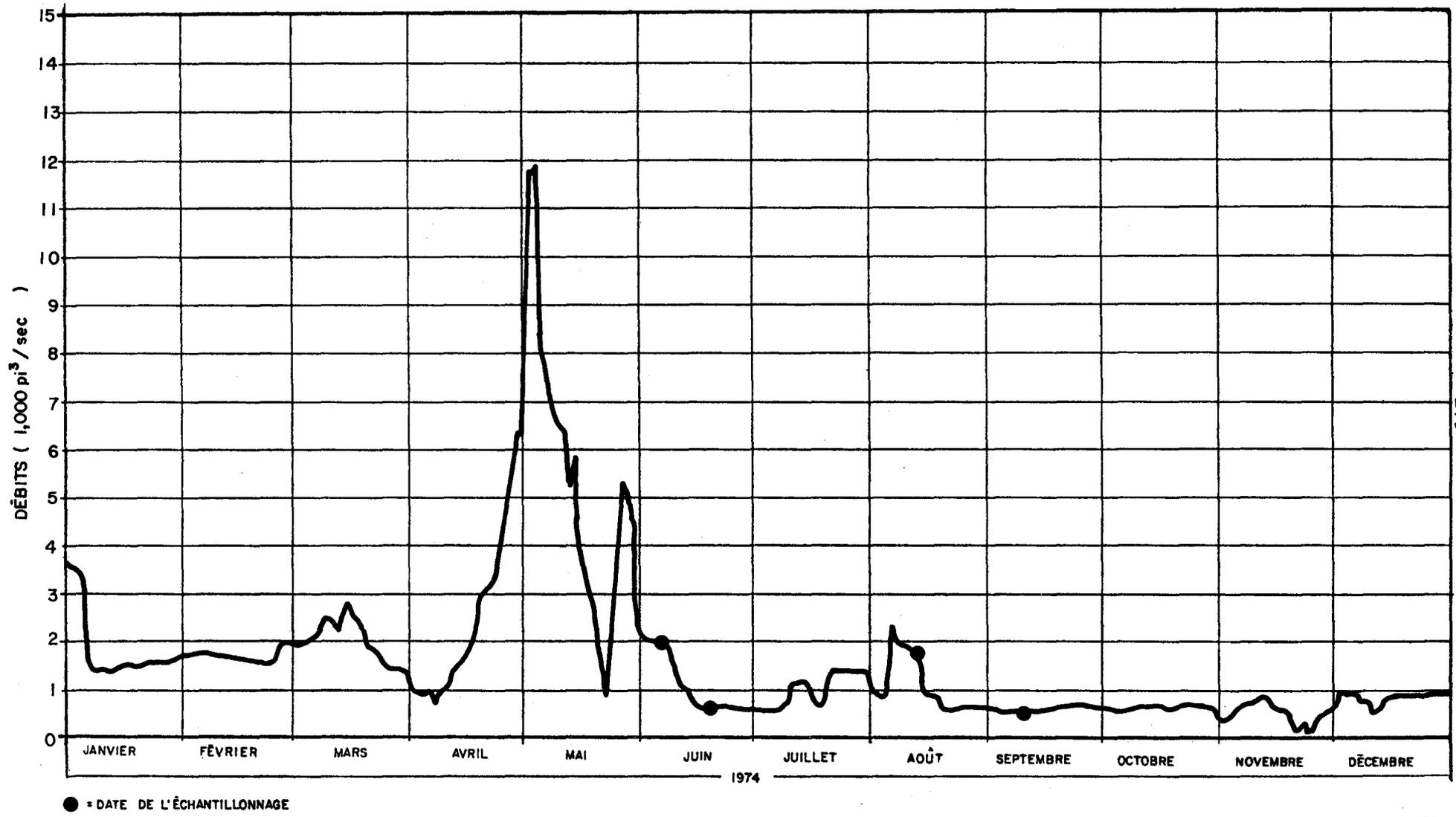


Fig. A.8.15. Débits journaliers de la rivière Saint-François à Saint-Gérard (1974).



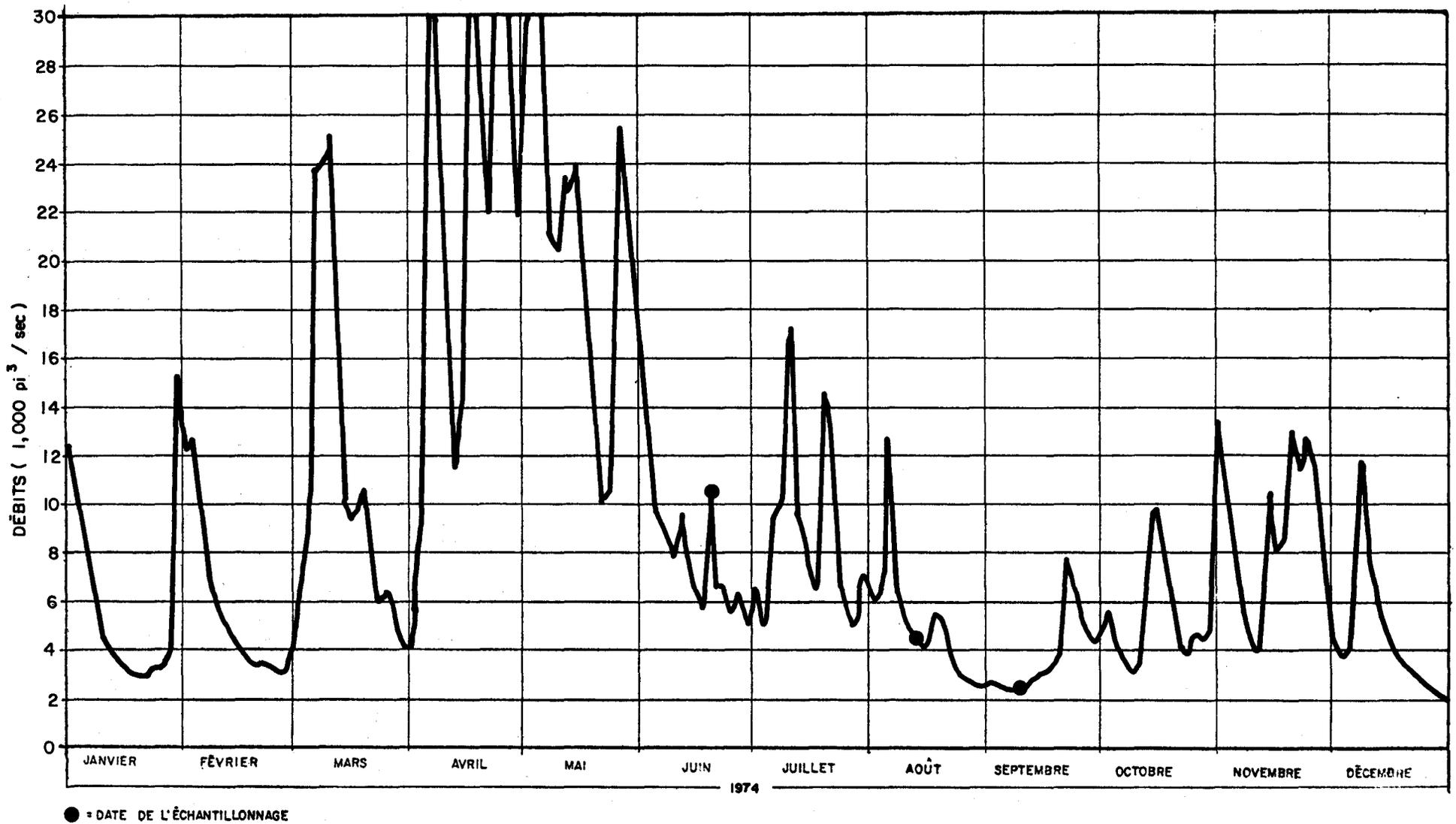


Fig. A.8.17. Débits journaliers de la rivière Saint-François à Richmond (1974).

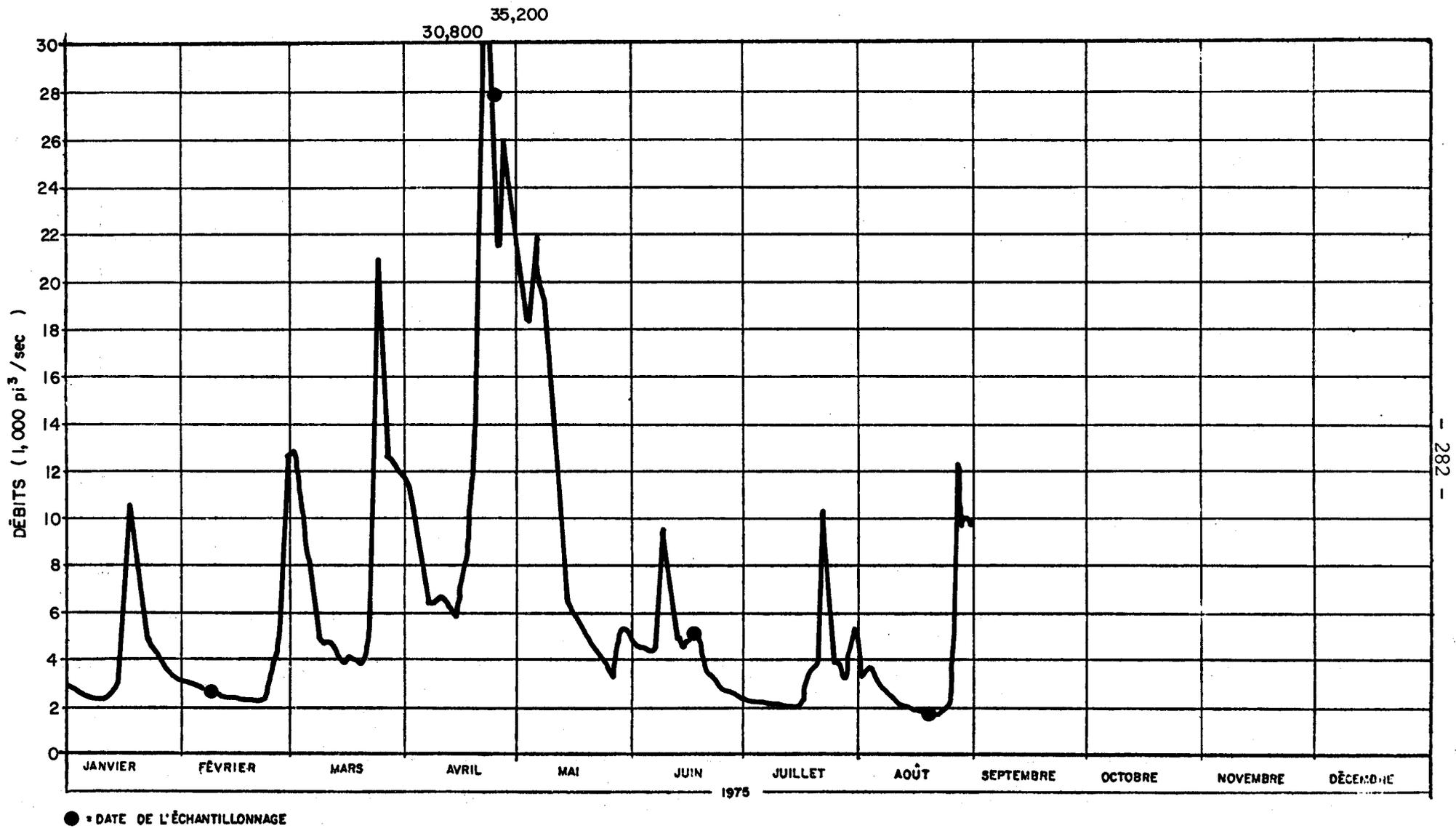
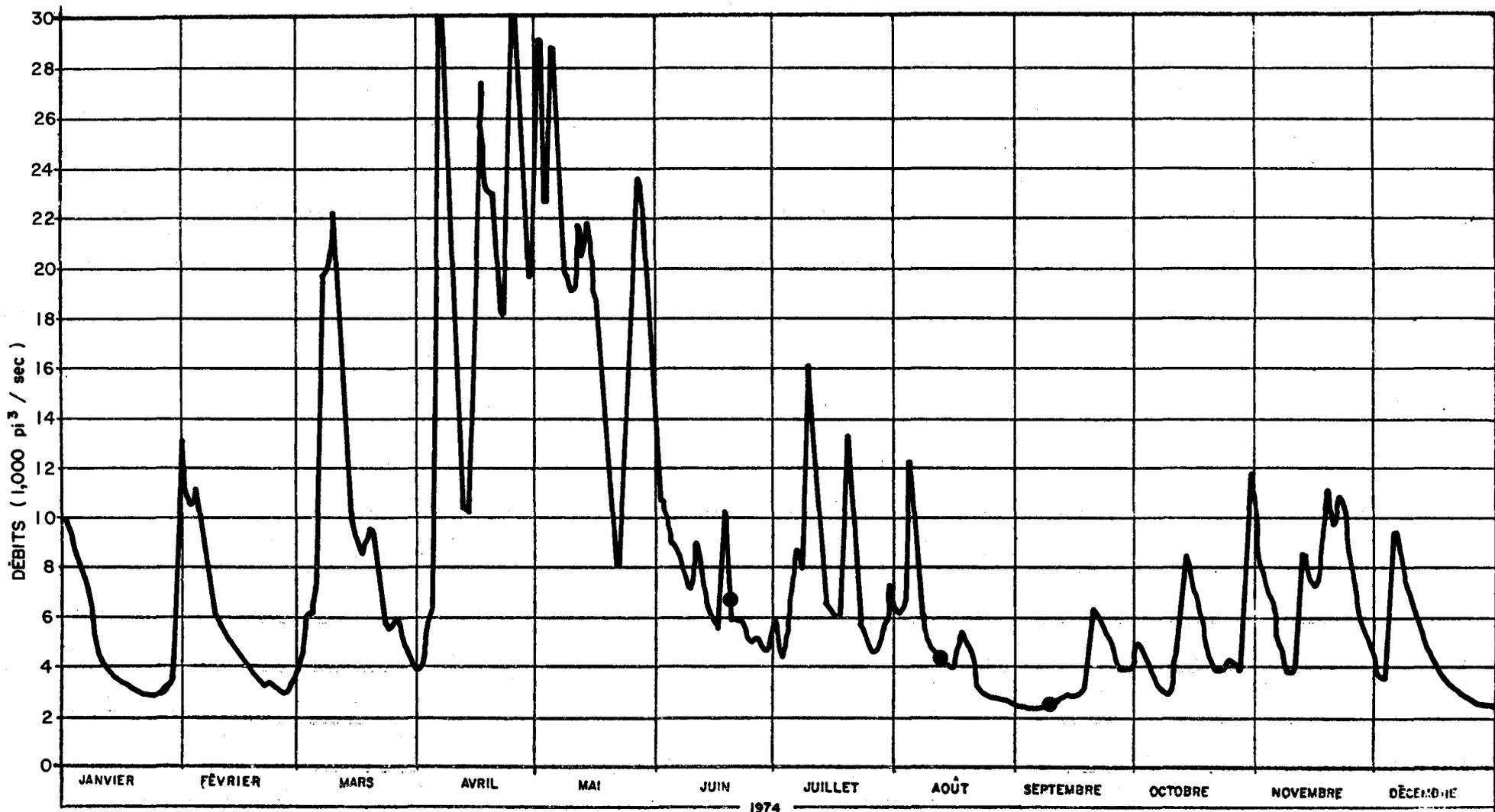
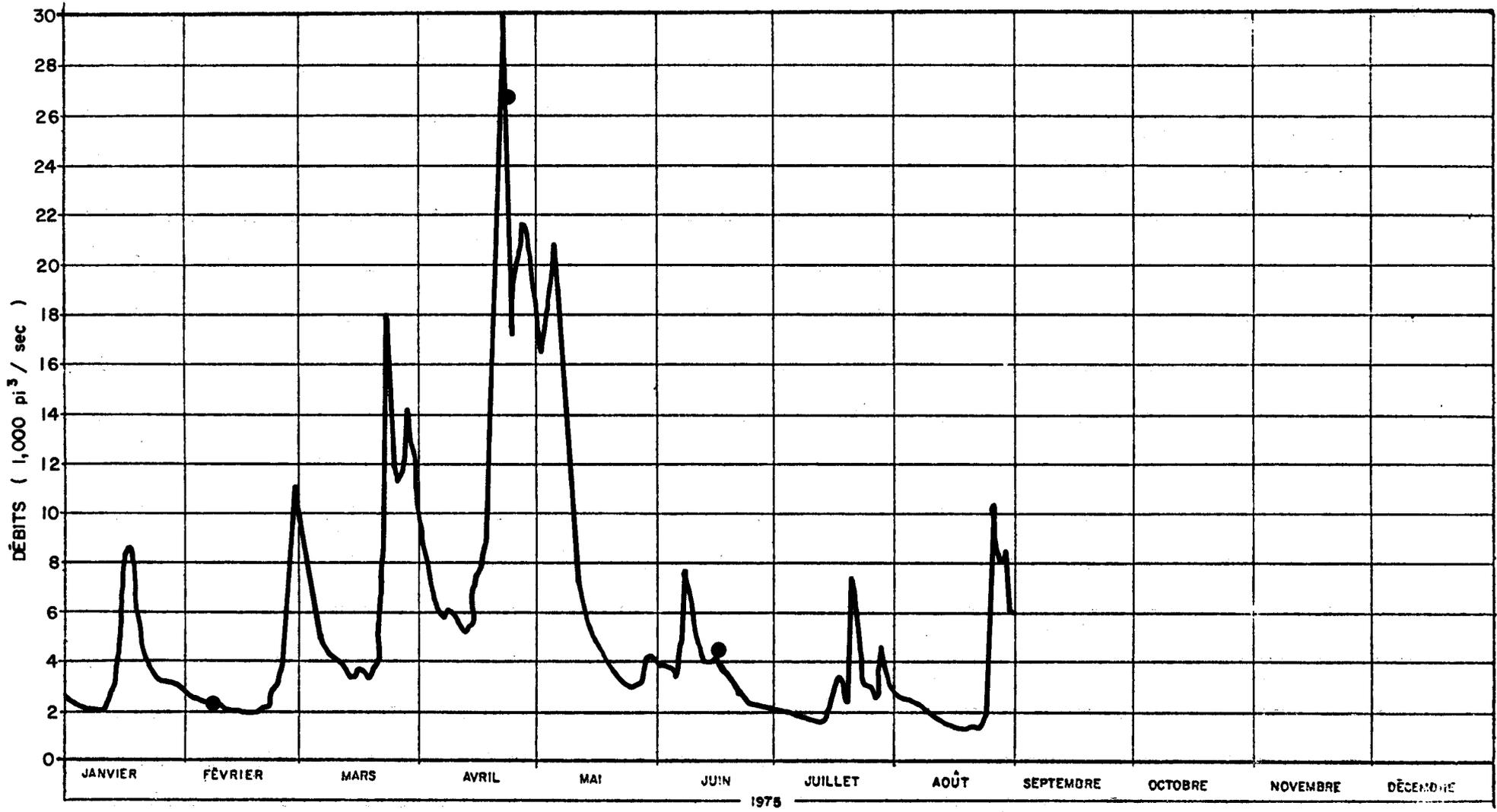


Fig. A.8.18. Débits journaliers de la rivière Saint-François à Richmond (1975).



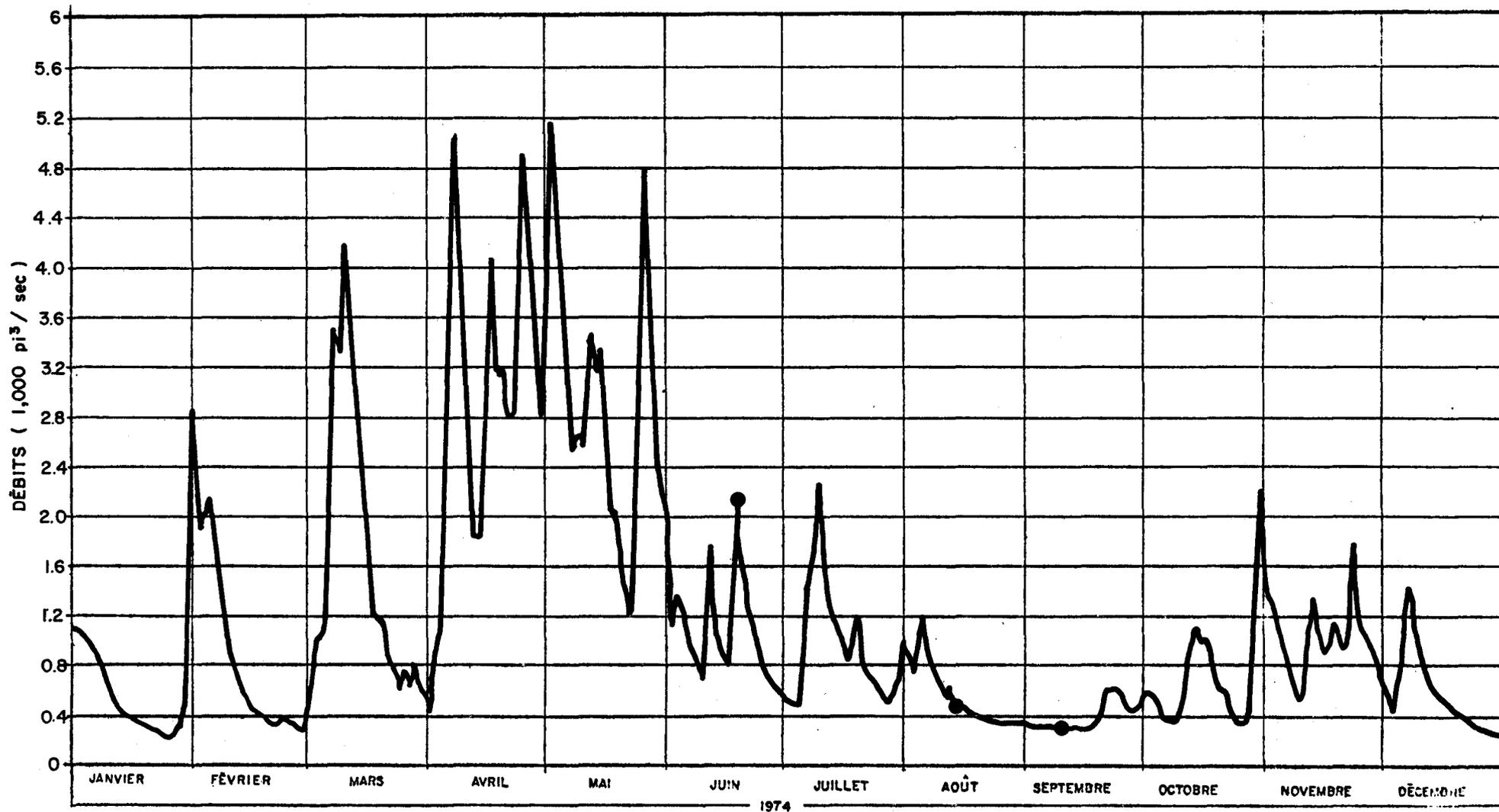
● • DATE DE L'ÉCHANTILLONNAGE

Fig. A.8.19. Débits journaliers de la rivière Saint-François à Bromptonville (1974).



● = DATE DE L'ÉCHANTILLONNAGE

Fig. A.8.20. Débits journaliers de la rivière Saint-François à Bromptonville (1975).



● • DATE DE L'ÉCHANTILLONNAGE

Fig. A.8.21. Débits journaliers de la rivière Saint-François à Massawippi (1974).

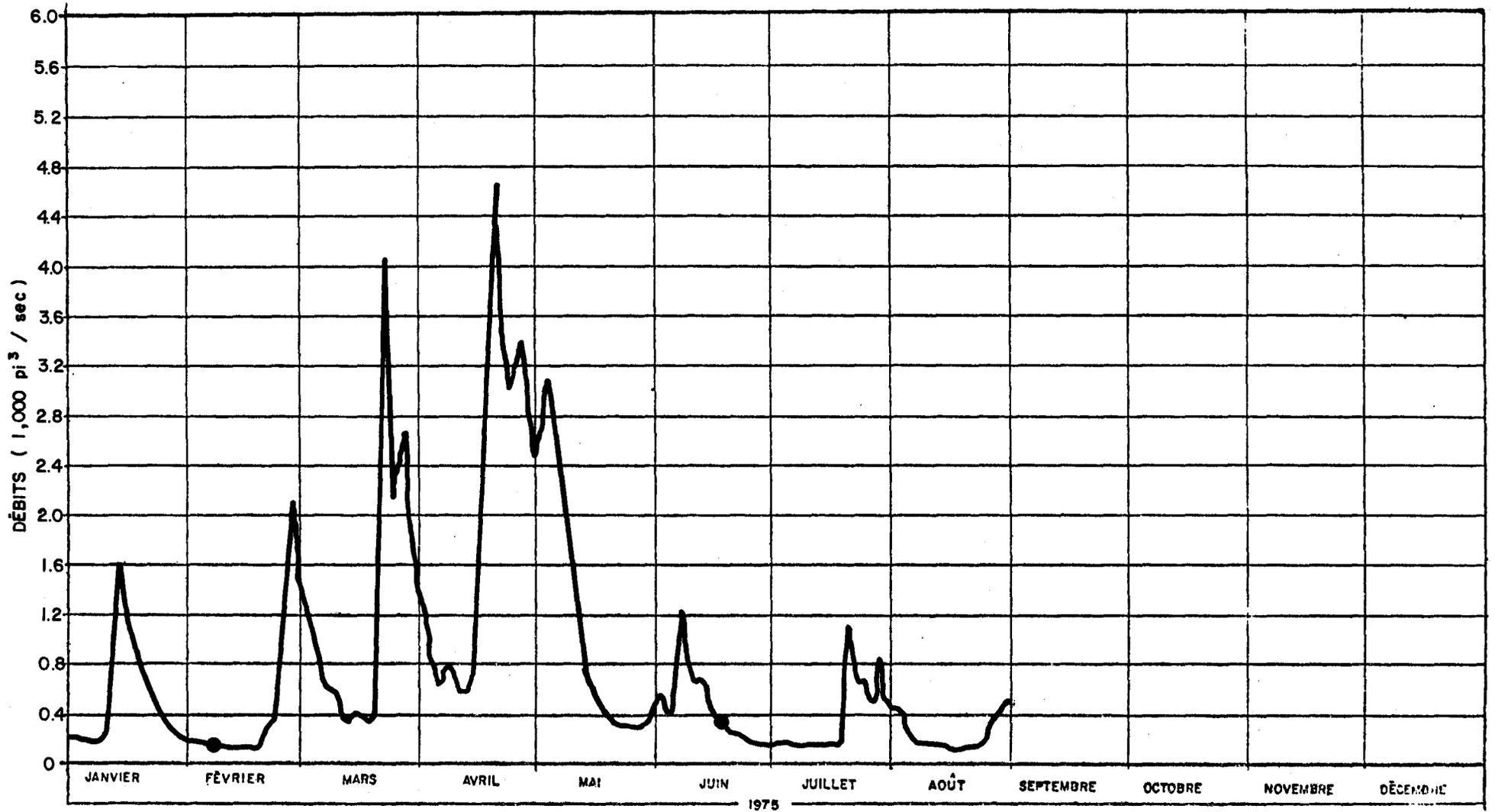
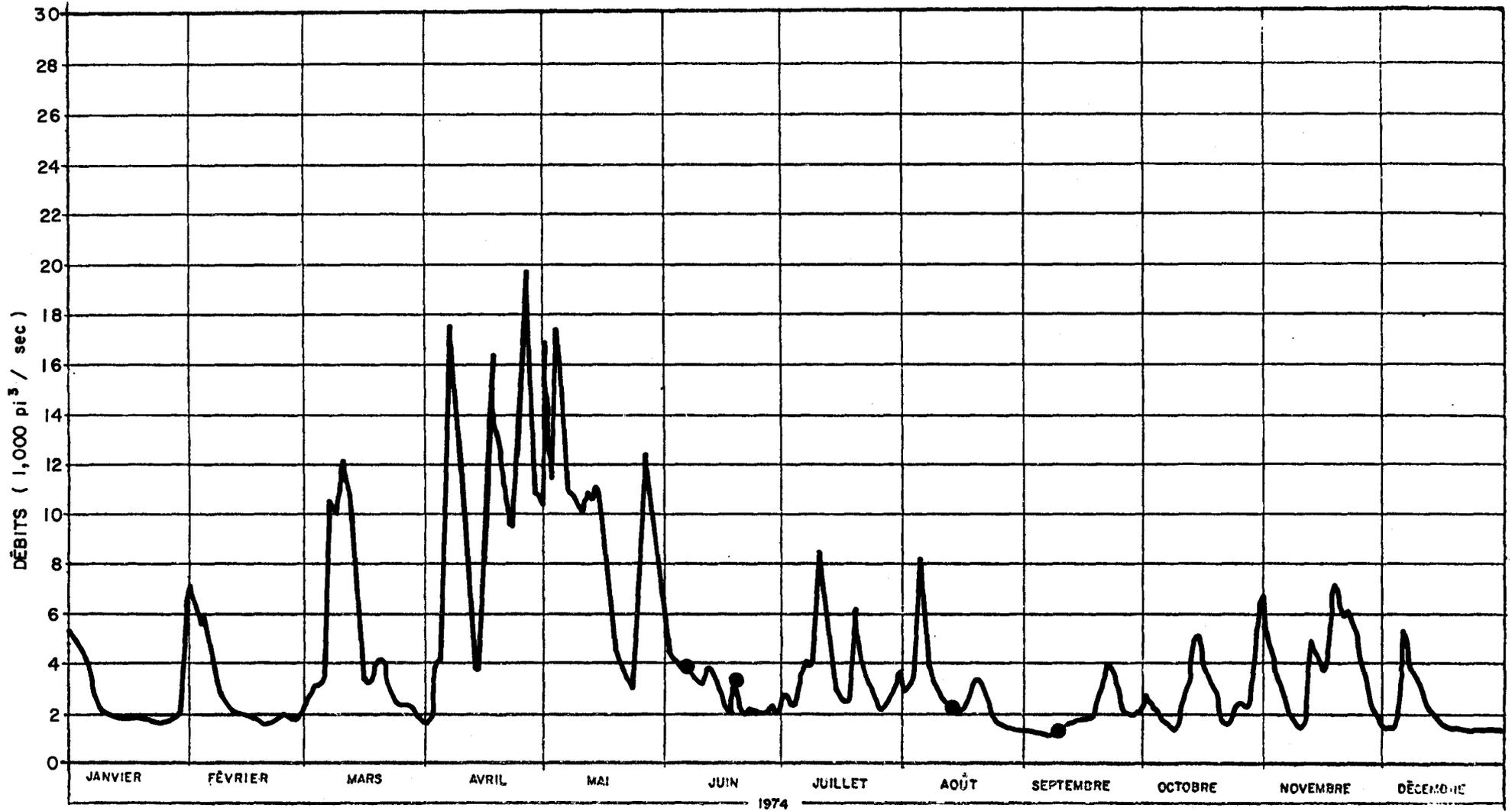
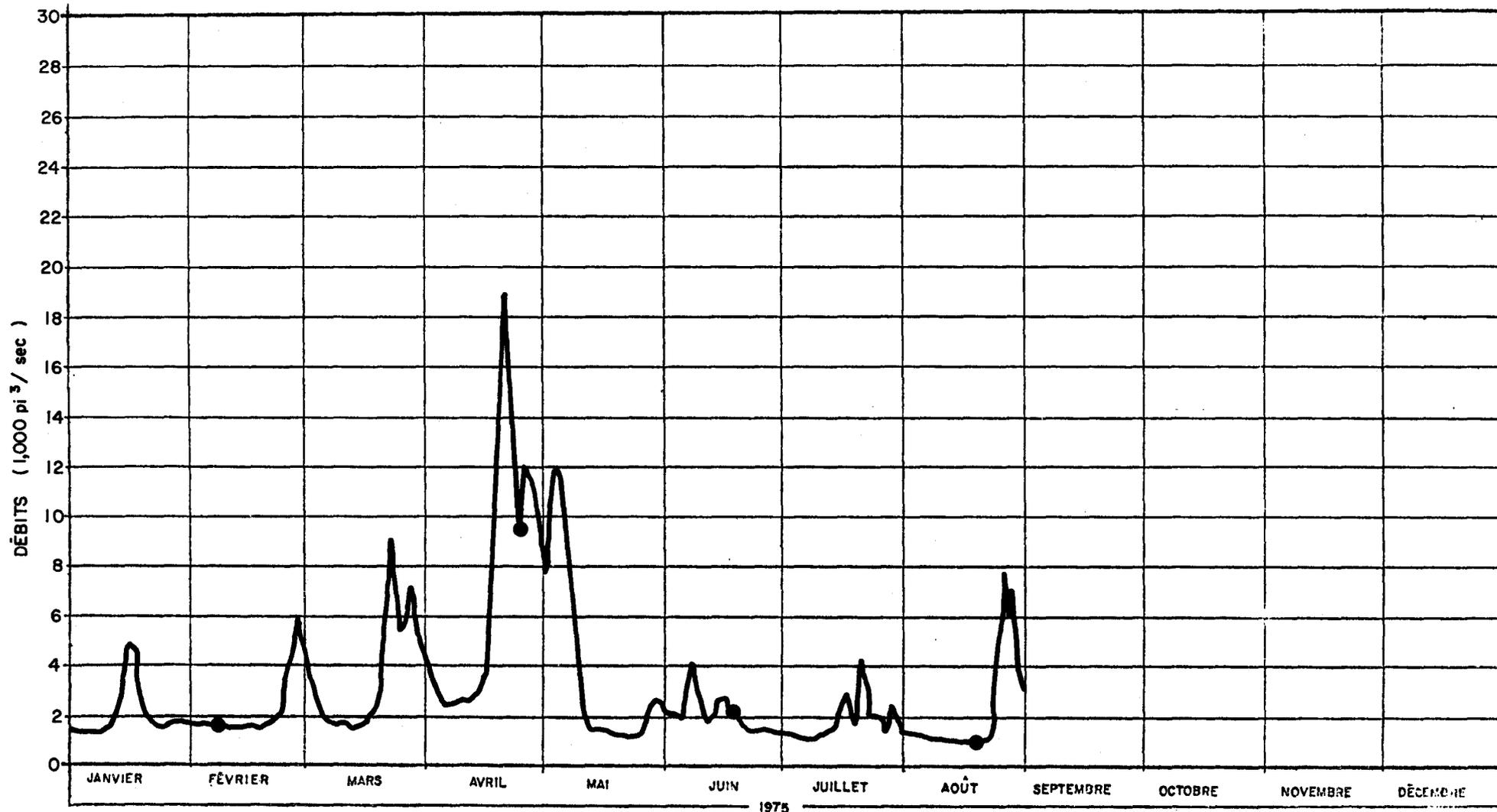


Fig. A.8.22. Débits journaliers de la rivière Saint-François à Massawippi (1975).



● • DATE DE L'ÉCHANTILLONNAGE

Fig. A.8.23. Débits journaliers de la rivière Saint-François à Lennoxville (1974).



● = DATE DE L'ÉCHANTILLONNAGE

Fig. A.8.24. Débits journaliers de la rivière Saint-François à Lennoxville (1975).