

3609110A

Caractérisation de la récupération de l'état d'acidité au bassin du lac Laflamme entre juin 1992 et mai 1993

QH
545
, A17
C682
1994

Suzanne Couture
Contamination du milieu aquatique
Centre Saint-Laurent

AVIS DE RÉVISION

Le présent rapport a été examiné par le Centre Saint-Laurent, Direction de la conservation de l'environnement, Environnement Canada - région de Québec, qui en a autorisé la publication. Cette autorisation ne signifie pas nécessairement que le contenu du rapport reflète les opinions et les politiques du Ministère.

COMMENTAIRES DES LECTEURS

Veillez adresser vos commentaires sur le contenu du présent rapport au Centre Saint-Laurent, Direction de la conservation de l'environnement, Environnement Canada - région du Québec, 1141 Route de l'Église, Sainte-Foy (Québec) G1V 4H5.

Perspective de gestion

Le projet du bilan ionique du lac Laflamme a été réalisé dans le cadre du Programme sur le transport à distance des polluants aéroportés (TADPA) du Plan vert du Canada. L'étude documente et vérifie l'efficacité des programmes canadien et américain de réduction des émissions d'anhydride sulfureux (SO₂) et d'oxyde d'azote (NO_x) sur la récupération de l'acidification d'un écosystème aquatique en forêt boréale. Les résultats des programmes de surveillance, dont celui-ci, en place depuis 1981, sont requis pour répondre aux exigences techniques découlant des obligations du Canada en vertu de l'*Accord Canada-États-Unis sur la qualité de l'air* et des protocoles des Nations Unies sur le dioxyde de soufre et les oxydes d'azote.

Management perspective

The project to determine ion budget for the Lake Laflamme Watershed was carried out under the Long-Range Transport of Airborne Pollutants (LRTAP) program of Canada's Green Plan. This study documents and verifies the effectiveness of Canadian and American sulphur dioxide (SO₂) and nitrogen oxides (NO_x) emission reduction programs on the reversal of the acidification of a boreal forest aquatic ecosystem. Monitoring programs such as this one, set up in 1981, are required in order to meet the technical demands stemming from Canada's obligations under the *Canada/United States Air Quality Agreement*, as well as those related to United Nations protocols on sulphur dioxide and nitrogen oxides.

Résumé

Dans le bassin du lac Laflamme, les dépôts atmosphériques de sulfates, principal polluant intervenant dans l'acidification, ont diminué entre 1981 et 1992, suivant en cela le mouvement observé dans l'Est de l'Amérique du nord. Pour les eaux de surface (lac et exutoire), ceci s'est traduit par une baisse de 16 p. 100 des concentrations de sulfates entre juin 1986 et mai 1993. La baisse des concentrations de sulfates était accompagnée d'une baisse des concentrations des cations basiques (Ca+Mg). Les eaux souterraines montrent aussi des diminutions significatives des concentrations de sulfates et de potassium depuis 1988. On constate également des baisses de l'alcalinité, la conductivité et les concentrations de calcium dans l'eau du lac et de l'exutoire entre juin 1981 et mai 1993. Au cours de la dernière année hydrologique (1992-1993), la baisse de l'alcalinité des eaux de surface s'expliquait, en partie, par l'effet de dilution dû aux fortes pluies reçues au cours de l'été 1992.

Les signes d'acidification par les nitrates se sont atténués au bassin du lac Laflamme en 1992-1993. En effet, les concentrations de nitrates dans les précipitations montrent une tendance à la baisse débutant en 1988; les tendances à la hausse des concentrations de nitrates dans les eaux souterraines n'étaient plus détectées pour la période de juillet 1988 à mai 1993; finalement, les concentrations moyennes annuelles des nitrates dans l'eau du lac et de l'exutoire ont diminué considérablement de 1991-1992 à 1992-1993.

Une étude de comparaison entre les résultats (moyennes annuelles, écarts types et tendances temporelles) obtenus par échantillonnage hebdomadaire et aux deux semaines de l'eau du lac et de l'exutoire a montré qu'une réduction de moitié de la fréquence d'échantillonnage n'entraînerait pas de différences significatives des résultats pour les concentrations. Toutefois, pour éviter des différences significatives des charges exportées à l'exutoire, la fréquence devra être hebdomadaire au cours de la fonte printanière.

Abstract

Atmospheric sulphate loading, a major acidification agent, decreased in the Lake Laflamme Watershed between 1981 and 1992, following the pattern observed throughout eastern North America. Surface waters (lake and outlet) saw a 16 % decrease in sulphate concentrations between June 1986 and May 1993. Sulphate reduction were accompanied by a drop in base cation (Ca+Mg) concentrations. Significant decreases in sulphate and potassium concentrations in groundwater were also noted since 1988. Alkalinity, conductivity and calcium concentrations in the lake and outlet also decreased from June 1981 to May 1993. Over the course of the last hydrological year (1992-1993), the decreased level of alkalinity in surface waters was partly due to a dilution effect resulting from the heavy rainfall in the summer of 1992.

Signs of nitrogen-based acidification were attenuated at Lake Laflamme in 1992-1993. In fact, nitrate concentrations in precipitation show a decreasing trend as of 1988; the increasing trend in nitrate concentrations in groundwater could no longer be detected for the period of July 1988 to May 1993; and lastly, the mean annual nitrate concentrations in lake and outlet water dropped considerably from 1991-1992 to 1992-1993.

A comparative study of the results (yearly average, standard deviation and temporal trends) obtained from weekly or bi-weekly sampling of lake and outlet water showed that a 50 % reduction in sampling frequency would not lead to any significant differences in results in terms of concentrations. However, to avoid significant differences in loads exported by the outlet, sampling should be carried out on a weekly basis during the springmelt.

REMERCIEMENTS

L'auteur tient à remercier le personnel de la section de la contamination du milieu aquatique du Centre Saint-Laurent ainsi que le personnel du laboratoire régional du Centre Saint-Laurent et du laboratoire national de Burlington en Ontario pour leur contribution dans l'acquisition des données. La révision du texte a été assurée par Monique Simond de la section Gestion et diffusion de l'information.

Table des matières

PERSPECTIVE DE GESTION/MANAGEMENT PERSPECTIVE	iii
RÉSUMÉ	iv
ABSTRACT	v
REMERCIEMENTS	vi
LISTE DES FIGURES	ix
LISTE DES TABLEAUX	x
1 INTRODUCTION	1
2 MATÉRIEL ET MÉTHODES	3
3 STATISTIQUES DESCRIPTIVES DES PARAMÈTRES PHYSICO-CHIMIQUES	5
3.1 Précipitations	5
3.2 Eaux de surface	10
3.2.1 Hydrologie	10
3.2.2 Qualité de l'eau	10
3.3 Eaux souterraines	18
3.4 Bilan massique	21
4 DISCUSSION	25
5 CHANGEMENT DE FRÉQUENCE D'ÉCHANTILLONNAGE AU LAC LAFLAMME	28
6 CONCLUSION	44
RÉFÉRENCES	45

ANNEXES

1	Moyennes annuelles pondérées et dépôts annuels des paramètres analysés pour les précipitations	47
2	Données de laboratoire sur les paramètres chimiques de l'eau du lac, de l'exutoire et des eaux souterraines du bassin versant du lac Laflamme en 1992 et 1993	49
3	Caractéristiques des séries chronologiques des paramètres chimiques au centre et à l'exutoire du lac Laflamme	54
4	Exportation (kg/ha/an) des paramètres chimiques à l'exutoire du lac Laflamme par année hydrologique	55
5	Bilan massique annuel du magnésium et des chlorures au bassin versant du lac Laflamme	56
6	Études comparatives des statistiques descriptives pour l'eau du lac et de l'exutoire entre 1982 et 1992 selon deux fréquences d'échantillonnage	57
7	Études comparatives des tendances temporelles des charges à l'exutoire entre juin 1981 et mai 1992 et juin 1986 et mai 1992 selon deux fréquences d'échantillonnage	60

Liste des figures

1	Précipitations (pluies et neige) et écoulement à l'exutoire du lac Laflamme pour l'année hydrologique 1992-1993 et pour une année hydrologique moyenne	6
2	Moyennes annuelles (1981-1992) pour le pH et les concentrations de sulfates, de nitrates de calcium, de sodium et de chlorures dans les précipitations au bassin du lac Laflamme	7
3	Mesures hebdomadaires (1992-1993) et mesures moyennes (1981-1993) de l'alcalinité et des concentrations de nitrates au lac Laflamme	13
4	Moyennes annuelles de l'alcalinité, du pH et des concentrations de Ca+Mg et de sulfates au lac Laflamme entre juin 1981 et mai 1993	16
5	Mesures bimestrielles des concentrations de sulfates et de nitrates dans les eaux souterraines du bassin du lac Laflamme entre juillet 1988 et mai 1993	20
6	Bilan massique annuel des sulfates et des nitrates au bassin versant du lac Laflamme entre juin 1981 et mai 1993	23
7	Bilan massique annuel du calcium et de l'ion hydrogène au bassin versant du lac Laflamme entre juin 1981 et mai 1993	24
8	Différences entre les charges mensuelles pour l'alcalinité et le calcium à l'exutoire du lac Laflamme calculées à partir d'une fréquence d'échantillonnage hebdomadaire et aux deux semaines	41
9	Différences entre les charges mensuelles des sulfates et des nitrates à l'exutoire du lac Laflamme calculées à partir d'une fréquence d'échantillonnage hebdomadaire et aux deux semaines	42

Liste des tableaux

1	Caractéristiques des séries chronologiques des précipitations au bassin versant du lac Laflamme	8
2	Moyennes par année hydrologique (de juin à mai) et moyenne globale (juin 1981 à mai 1993) des paramètres chimiques à la station au centre du lac Laflamme	11
3	Moyennes par année hydrologique (de juin à mai) et moyenne globale (juin 1981 à mai 1992) des paramètres chimiques à la station de l'exutoire du lac Laflamme	12
4	Caractéristiques des séries chronologiques des paramètres chimiques au centre et à l'exutoire du lac Laflamme	15
5	Concentrations moyennes dans les eaux souterraines de juillet 1988 à mai 1993	19
6	Caractéristiques des séries chronologiques des paramètres chimiques pour les eaux souterraines du bassin versant du lac Laflamme entre juillet 1988 et mai 1993	21
7	Étude comparative des moyennes annuelles et des écarts type au lac calculés à partir de deux fréquences d'échantillonnage	31
8	Études comparatives des tendances temporelles au lac entre juin 1981 et mai 1993 selon deux fréquences d'échantillonnage	36
9	Études comparatives des tendances temporelles au lac entre juin 1986 et mai 1993 selon deux fréquences d'échantillonnage	37
10	Étude comparative des charges annuelles à l'exutoire du lac Laflamme calculées à partir de deux fréquences d'échantillonnage	39

1 Introduction

En 1991, le programme de lutte contre les pluies acides dans l'est du Canada avait permis de réduire de 1371 kilotonnes les émissions de dioxyde de soufre (SO₂) comparativement à 1980, année de référence. Cette baisse correspondait à 90 p. 100 de l'objectif devant être atteint en 1994 (Environnement Canada, 1991). Aux États-Unis, les règlements de l'agence de protection environnementale (EPA) stipulent qu'à partir de 1995, certaines industries déjà identifiées se verront attribuer annuellement le droit d'émettre seulement 50 p. 100 des émissions de SO₂ par rapport à 1980. Le programme américain de lutte contre les pluies acides repose sur un système d'allocation d'émissions de SO₂ et les industries américaines devaient présenter à l'EPA des demandes de permis et des plans de conformité aux limites d'émissions qui leur sont fixées. En 1993, les États-Unis ont procédé à la vente d'allocation d'émissions de SO₂ pour 1995 à l'intention des 110 plus grandes industries émettrices (U.S., Environmental Protection Agency, 1993).

Dans plusieurs régions d'Amérique du Nord, les impacts des réductions d'émission de SO₂ au cours des dernières années étaient évidents tant pour les dépôts atmosphériques que les concentrations de sulfates dans les eaux de surface (Dillon et Lazerte, 1992; Dupont, 1992; Driscoll et Van Dreason, 1993; Bouchard, 1994). On note un mouvement semblable au bassin versant du lac Laflamme depuis juin 1986. Toutefois, entre juin 1986 et mai 1992, le bassin du lac Laflamme n'a montré aucune récupération de l'alcalinité des eaux de surface suite à la réduction des concentrations lacustres de sulfates; l'alcalinité tendait plutôt à diminuer graduellement depuis 1981 (Couture, 1994).

Le premier objectif de ce travail est de caractériser les précipitations, les eaux de surface et les eaux souterraines du bassin versant du lac Laflamme entre juin 1992 et mai 1993 et plus particulièrement de vérifier si la réduction des concentrations lacustres de sulfates se poursuivait et si en retour, il y avait récupération de l'état d'acidité des eaux de surface.

Le deuxième objectif de ce travail était de vérifier les conséquences d'une fréquence d'échantillonnage réduite et de proposer un plan d'échantillonnage qui les minimiseraient. Une étude de comparaison entre une fréquence hebdomadaire d'échantillonnage de la qualité de l'eau et une fréquence aux deux semaines a été entreprise pour identifier les

différences significatives en ce qui concerne les statistiques descriptives et les résultats des tendances temporelles.

2 Matériel et méthodes

Une description détaillée du bassin calibré du lac Laflamme a été présentée dans Couture (1990). Les méthodes d'analyse et de validation des données sur la qualité et le volume des précipitations ont été traitées en détail par Vet *et al.* (1989). Les méthodes analytiques et le protocole de validation des données pour l'eau prélevée au centre du lac, à l'exutoire et pour les eaux souterraines sont détaillées dans Couture (1990, 1992).

Les tests statistiques utilisés pour la détection de tendances dans le temps ont été effectués avec le logiciel DETECT (Cluis *et al.*, 1988). Une tendance est considérée significative lorsque sa probabilité d'être détectée par chance n'est que de 5 p. 100 ($\alpha=0,05$). Lorsqu'une tendance était détectée pour une série, les valeurs initiales et finales étaient obtenues par une droite de régression. Les tests statistiques et les critères de sélection des tests sont expliqués dans Couture (1994). Pour les précipitations, les séries utilisées pour la détection de tendance étaient composées des concentrations moyennes mensuelles et des dépôts mensuels. Pour le centre du lac et l'exutoire, les concentrations mesurées chaque semaine ainsi que les charges hebdomadaires (à l'exutoire) composaient les séries. Plusieurs périodes ont été utilisées pour l'étude des tendances temporelles mais toutes étaient comprises entre 1981 et 1992 pour les précipitations, et entre juin 1981 et mai 1993 pour la station du lac et de l'exutoire. Les séries de la couleur débutaient en juin 1982, les séries du manganèse en juin 1984 et les séries du phosphore total en juillet 1988. Pour les eaux souterraines, les séries chronologiques s'étendaient de juillet 1988 à mai 1993 avec une mesure tous les deux mois, excepté l'hiver. Il y avait 21 données pour le puits de 0,80 m, 23 pour le puits de 13 m et 24 pour les puits de 2,8 et 2,9 m. Pour certaines séries des eaux souterraines, la régression linéaire a été utilisée pour déterminer une tendance vu le nombre restreint de données. Si la pente de la droite de régression des concentrations en fonction du temps était significativement différente de zéro (test de Student bilatéral, $\alpha=0,05$), une tendance à la hausse ou à la baisse, selon le signe de la pente, était déclarée.

Dans la deuxième partie, des statistiques descriptives des concentrations (moyennes annuelles et écart type) et des charges (charges mensuelles et annuelles) ont été calculées selon deux fréquences d'échantillonnage (hebdomadaire et aux deux semaines). Dans

le cas des moyennes annuelles, des écarts types et des charges annuelles ($n=11$), les résultats des deux distributions ont été comparés entre eux par un test de Wilcoxon pour échantillons appariés ($\alpha=0,05$) pour vérifier l'existence de différences significatives. Dans le cas des charges mensuelles ($n=139$), un test t pour valeurs appariées a été utilisé pour vérifier si la différence moyenne entre les observations des deux séries est significativement différente de zéro. Les charges étaient obtenues par la multiplication d'une concentrations moyenne et de l'écoulement d'une semaine ou de deux semaines selon la fréquence d'échantillonnage. Les tests statistiques pour la détection de tendances ont été utilisés sur les séries hebdomadaires et les séries aux deux semaines pour deux périodes spécifiques (juin 1981 à mai 1993 et juin 1986 et mai 1993) en vue de vérifier la similitude des résultats (concentrations dans le lac et concentrations et charges à l'exutoire).

3 Statistiques descriptives des paramètres physico-chimiques

3.1 PRÉCIPITATIONS

En 1992, il est tombé 129,2 cm de précipitations (29 p. 100 en neige) au bassin du lac Laflamme, ce qui était inférieur d'à peine 2,3 p. 100 à la moyenne générale de 1981 à 1992 (132 cm) (annexe 1). Les mois de juillet, août et septembre 1992 ont été particulièrement humides avec des accumulations de 20 cm, 14 cm et 16 cm de précipitations, soit une hauteur d'eau de 24 p. 100 supérieure à la moyenne pour cette période de trois mois (figure 1). En avril 1993, on a enregistré 17,8 cm de précipitations alors que la moyenne pour ce mois est de 9,6 cm.

Les concentrations moyennes annuelles de 1992 pour les cations majeurs étaient semblables aux moyennes générales dans le cas du magnésium et du potassium mais étaient inférieures de 20 p. 100 pour le sodium et de 45 p. 100 dans le cas du calcium (figure 2). La faible concentration moyenne annuelle (1992) de calcium s'expliquait par de faibles concentrations de calcium dans les précipitations enregistrées en été et en hiver de cette année. En 1992, les concentrations moyennes annuelles de l'ion hydrogène, des sulfates, des nitrates et des chlorures étaient d'environ 10 p. 100 inférieures aux moyennes générales (figure 2 et annexe 1). Au cours de cette même année, la concentration moyenne annuelle de l'ion ammonium était supérieure à la moyenne générale (annexe 1). L'augmentation de la moyenne annuelle pour ce paramètre s'expliquait par de fortes concentrations (2,25 mgN/L et 2,12 mgN/L) au cours de certains événements pluviaux en septembre 1992.

De 1982 à 1992, les concentrations moyennes annuelles de sulfates sont passées de 1,77 mg/L à 1,30 mg/L, une différence de 9,8 $\mu\text{éq/L}$ (figure 2). Les tests statistiques ont détecté une tendance significativement à la baisse pour la série de 1981 à 1992 (tableau 1). Entre 1981 et 1989, les concentrations moyennes annuelles de nitrates sont passées de 0,20 mgN/L à 0,29 mgN/L pour ensuite diminuer à 0,24 mgN/L en 1992. Les tests statistiques montraient que la pente de la tendance à la hausse des concentrations de nitrates était à son maximum entre 1981 et 1989, après 1989, la tendance à la hausse était toujours significative mais la pente de la tendance diminuait. Entre 1981 et 1992, la tendance à la hausse était détectée à un niveau de

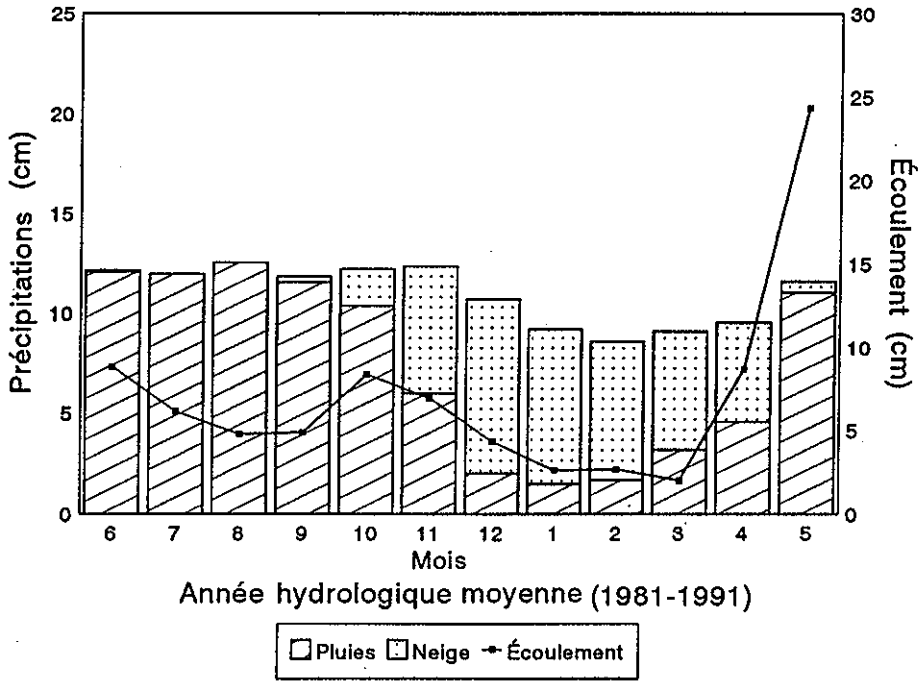
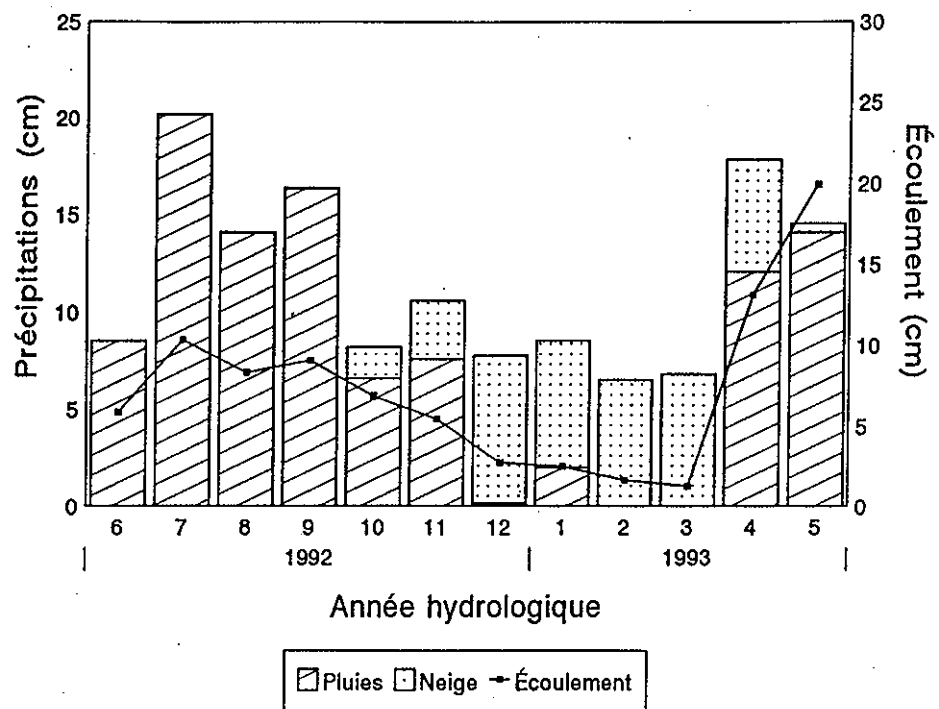


Figure 1 Précipitations (pluies et neige) et écoulement à l'exutoire du lac Laflamme pour l'année hydrologique 1992-1993 et pour une année hydrologique moyenne

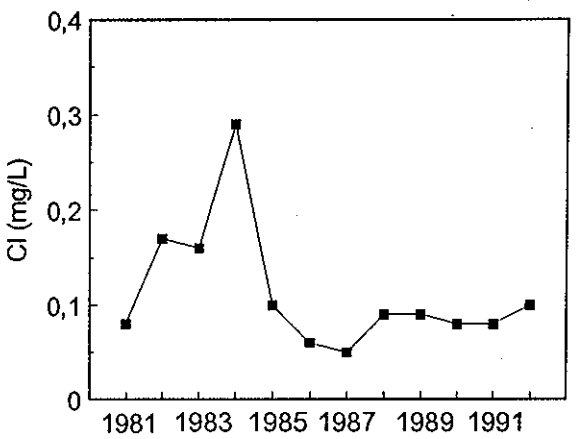
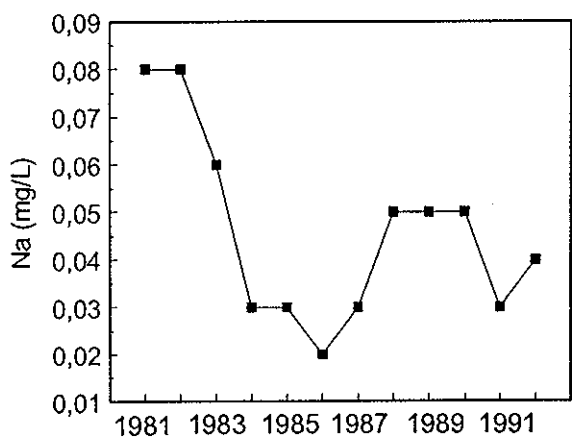
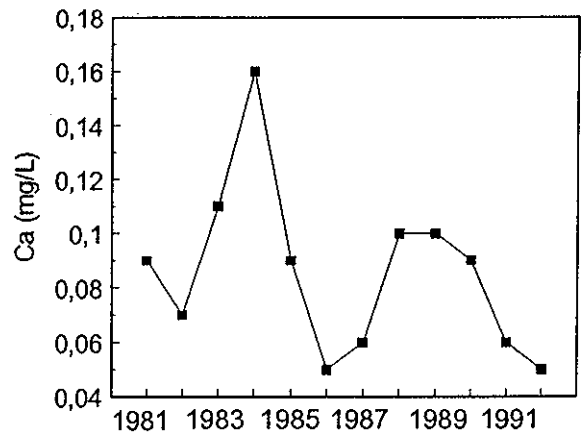
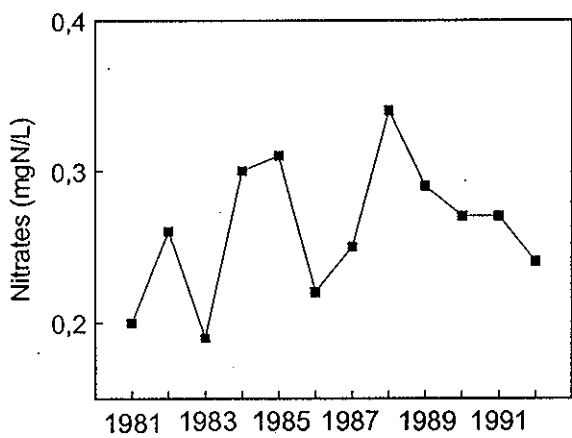
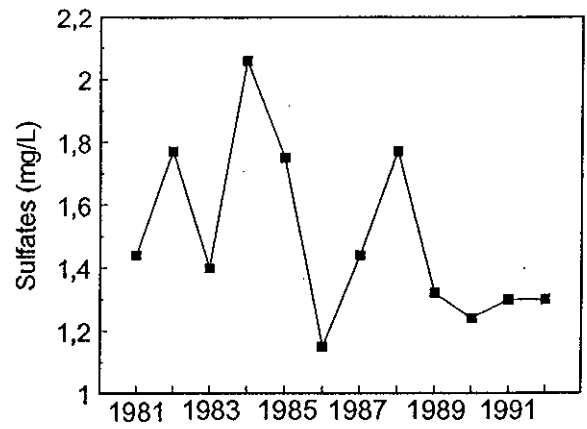
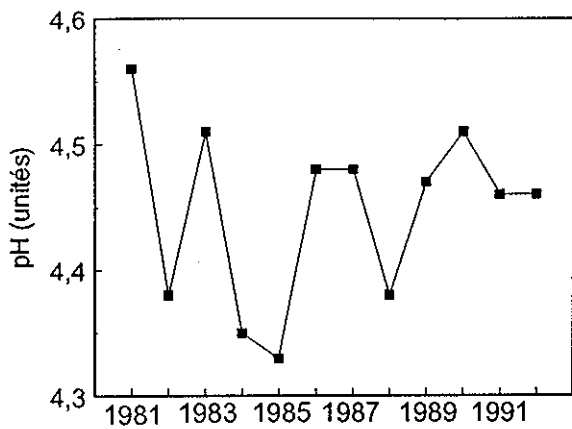


Figure 2 Moyennes annuelles (1981-1992) pour le pH et les concentrations de sulfates, de nitrates, de calcium, de sodium et de chlorures dans les précipitations au bassin du lac Laflamme

Tableau 1
Caractéristiques des séries chronologiques des précipitations
au bassin versant du lac Laflamme

Période	Paramètre	Saisonnalité	Persistence	Tendance	Test	Valeur initiale	Valeur finale	Pente de la tendance (variation/an)
1981-1992	SO ₄ (mg/L)	Oui	Non	B	KS	1,71	1,24	-0,040
1988-1992	SO ₄ (mg/L)	Oui	Non	B	KS	1,541	1,323	-0,080
1981-1992	NO ₃ (mg/L)	Oui	Non	H*	KS	0,26	0,30	0,003
1988-1992	NO ₃ (mg/L)	Oui	Non	B	KS	0,367	0,239	-0,027
1988-1992	Ca (mg/L)	Non	Mark.	B	SL	0,119	0,048	-0,014
1988-1992	Mg (mg/L)	Non	Non	B	K	0,031	0,011	-0,004
1988-1992	K (mg/L)	Non	Non	B	K	0,027	0,014	-0,003
1981-1992	Cl (mg/L)	Non	Mark.	B	SL	0,185	0,055	-0,011
1981-1992	Na (mg/L)	Non	Non	B	K	0,098	0,018	-0,007
1985-1992	Na (mg/L)	Oui	Non	H	KS	0,033	0,040	0,001
1981-1992	SO ₄ (kg/ha/mois)	Oui	Non	B	KS	1,874	1,372	-0,043
1988-1992	SO ₄ (kg/ha/mois)	Oui	Non	B	KS	1,618	1,323	-0,062
1988-1992	NO ₃ (kg/ha/mois)	Oui	Non	B	KS	0,363	0,257	-0,022
1988-1992	Ca (kg/ha/mois)	Non	Non	B	K	0,118	0,052	-0,013
1988-1992	Mg (kg/ha/mois)	Non	Non	B	K	0,030	0,013	-0,004
1981-1992	Cl (kg/ha/mois)	Non	Mark.	B	SL	0,162	0,066	-0,008
1981-1992	Na (kg/ha/mois)	Non	Non	B	K	0,080	0,023	-0,005

* $\alpha = 0,10$

Mark. = markovienne; B=baisse; H=hausse; SL=Spearman/Lettenmaier; KS=Kendall saisonnier; K=Kendall.

signification moins restrictif ($\alpha=0,10$). Le pH des précipitations était à la baisse entre 1981 et 1985 et se stabilisait après cette période pour atteindre 4,47 en 1992. Dans le cas des concentrations de chlorures et de sodium, les séries ont été perturbées lors du changement du réseau APN (Air and Precipitation Network) au réseau RCEPA (Réseau canadien d'échantillonnage des précipitations et de l'air) en 1983. Les procédures de validation des données semblaient être la cause des perturbations puisque la méthode analytique est demeurée inchangée. Les résultats des tests de tendances étaient donc influencés par ce changement dans les procédures et l'interprétation des tendances à la baisse des concentrations et des charges de chlorures et de sodium entre 1981 et 1992 doit s'effectuer avec précautions. Lorsque les séries ont été testées pour la période de 1985 à 1992, la série des concentrations de sodium montrait une tendance à la hausse.

En 1992, les dépôts atmosphériques de tous les paramètres, sauf NH_4 , étaient inférieurs aux moyennes annuelles générales. Depuis 1989, les dépôts annuels de sulfates étaient sous le seuil critique de 20 kg/ha/an et ceux de l'ion hydrogène étaient sous la moyenne générale. Bien que les dépôts atmosphériques de sulfates en 1992 aient été les plus élevés des quatre dernières années (annexe 1), une tendance à la baisse entre 1981 et 1992 était toujours présente à un niveau de signification de 5 p. 100 (tableau 1). Après une augmentation significative entre juin 1981 et mai 1990 (Couture, 1992), les dépôts de l'ion ammonium ne présentaient pas de tendance par la suite, même si les dépôts enregistrés en 1992 étaient les deuxièmes plus élevés depuis 1981 (principalement à cause des fortes concentrations de ce paramètre enregistrées au mois de septembre 1992).

Plus récemment, c'est-à-dire entre 1988 à 1992, un mouvement à la baisse des concentrations et des dépôts de calcium, de magnésium, de sulfates, de nitrates et de potassium (concentration seulement), a été constaté (tableau 1 et figure 2). Les résultats des tests de tendances des séries de concentrations et de dépôts de tous ces paramètres ont montré que ce mouvement était significatif ($\alpha=0,05$).

3.2 EAUX DE SURFACE

3.2.1 Hydrologie

En 1992-1993, l'écoulement à l'exutoire était de 86,8 cm. Au cours des mois de juillet, août et septembre 1992, l'écoulement à l'exutoire du lac Laflamme était supérieur de 43 p. 100 à l'écoulement moyen pour cette période (figure 1). L'écoulement printanier d'avril 1993 était supérieur de 34 p. 100 à l'écoulement moyen pour ce mois, sans doute à cause des pluies importantes enregistrées. En mai 1993, l'écoulement était de 18 p. 100 inférieur à la moyenne pour ce mois. Pour ce qui est du volume d'eau, l'écoulement printanier de 1993 était semblable à un écoulement printanier moyen au lac Laflamme. L'écoulement à l'exutoire ne montre aucune tendance dans le temps.

3.2.2 Qualité de l'eau

Au lac et à l'exutoire, les moyennes annuelles de juin 1992 à mai 1993 pour la couleur et les concentrations de potassium et d'aluminium étaient plus élevées que les moyennes générales (juin 1981 à mai 1993) (tableaux 2 et 3). Il semble que la fonte printanière de 1993 soit principalement responsable des moyennes élevées de ces paramètres; l'écoulement dû aux pluies durant l'été 1992 aurait aussi joué un rôle, moindre cependant (annexe 2). Au cours des mois de mars à mai 1993, les concentrations de phosphore dans l'eau du lac étaient élevées (0,030 mg/L) et ont ainsi contribué à une moyenne annuelle élevée en 1992-1993. Ces concentrations élevées de phosphore entre mars et mai 1993 n'ont pas été constatées à l'exutoire. Les concentrations moyennes pour le sodium et les chlorures entre juin 1992 et mai 1993 étaient semblables aux moyennes générales dans le lac et un peu plus faibles à l'exutoire.

Par rapport aux moyennes générales, les concentrations moyennes annuelles de juin 1992 à mai 1993 pour le calcium, le magnésium, les sulfates, les nitrates, l'alcalinité et la conductivité pour l'eau du lac et de l'exutoire étaient plus faibles. Dans le cas de l'alcalinité, de la conductivité et des concentrations de calcium et de magnésium, les pluies de l'été 1992 étaient responsables des moyennes annuelles basses (phénomène de dilution). En effet, l'augmentation de l'alcalinité des eaux de surface du lac Laflamme (et à un moindre degré, les concentrations de cations basiques et la conductivité) qui débute habituellement à la fin de juillet et qui s'explique par un phénomène de concentration, n'a pas eu lieu en 1992 en raison des pluies importantes de juillet, août et septembre (figure 3). De plus, la fonte printanière de 1993 a été

Tableau 2

Moyennes par année hydrologique (de juin à mai) et moyenne globale (juin 1981 à mai 1993) des paramètres chimiques à la station au centre du lac Laflamme

Paramètre	1981-1982	1982-1983	1983-1984	1984-1985	1985-1986	1986-1987	1987-1988	1988-1989	1989-1990	1990-1991	1991-1992	1992-1993	Moyenne	Écart type
pH ^a	6,27	6,21	6,31	6,29	6,43	6,59	6,61	6,39	6,34	6,22 ^b	6,42	6,47	6,36	—
H (µg/L)	0,534	0,620	0,495	0,518	0,369	0,260	0,243	0,411	0,462	0,596 ^b	0,381	0,342	0,432	0,274
Ca (mg/L)	2,53	2,51	2,41	2,44	2,39	2,33	2,38	2,34	2,33	2,28	2,41	2,30	2,39	0,44
Mg (mg/L)	0,53	0,53	0,55	0,53	0,51	0,54	0,55	0,50	0,50	0,52	0,52	0,52	0,53	0,09
Ca+Mg (µéq/L)	168,6	168,6	165,3	163,6	162,0	159,4	165,3	156,2	156,2	157,8	162,8	157,8	162,0	28,6
Na (mg/L)	1,0	1,0	0,9	1,0	0,9	0,9	1,0	0,9	0,9	1,0	1,0	0,9	0,9	0,2
K (mg/L)	0,19	0,23	0,32	0,20	0,24	0,22	0,18	0,17	0,21	0,23	0,24	0,26	0,22	0,09
Cl (mg/L)	0,4	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5 ^c	0,4	0,4	0,4	0,1
SO ₄ (mg/L)	3,6 ^d	4,0	4,0	4,3	4,4	4,3	4,3	4,4	4,2	4,0 ^a	3,7	3,6	4,1	0,5
P total (mg/L)	—	—	—	—	—	—	—	0,012	0,013	0,011	0,013	0,016	0,013	0,008
NO ₃ (mgN/L)	0,12	0,14	0,12	0,10	0,06	0,06	0,07	0,09	0,09	0,08 ^f	0,10	0,06	0,09	0,10
Alcalinité (mg/L)	5,88	5,87	5,64	5,80	5,15	5,07	5,51	4,81	4,88	4,79	5,11	4,65	5,26	1,68
Cond. (µS/cm)	22	27	21	26	25	24	25	23	23	23 ^f	23	23	24	5
Couleur ^e	21	26	25	22	23	28	25	28	25	25 ^c	24	26	25	7
Al (mg/L)	0,082	0,121	0,061	0,077	0,127	0,097	0,088	0,083	0,090 ^a	0,117	0,087 ^f	0,100	0,095	0,036
Mn (mg/L)	0,020	—	—	0,017	0,017	0,022	0,015	0,023	0,018 ^a	0,020	0,019 ^f	0,015	0,018	0,013
Zn (mg/L)	0,006	0,004	0,003	0,005	0,006	0,006	0,005	0,005	0,006 ^a	0,006	0,006 ^f	0,006	0,005	0,002
Fe (mg/L)	0,097	0,134	0,117	0,163	0,129	0,143	0,136	0,143	0,162 ^a	0,167	0,165 ^f	0,139	0,141	0,065

^a moyennes de pH calculées à partir des moyennes de H⁺^b n = 40.^c n = 34.^d n = 39.^e n = 39.^f n = 41.^g La couleur est exprimée en unités Hazen.^h Un changement de méthode analytique est survenu le 22 mai 1990 pour Al, Mn, Zn et Fe.

Tableau 3

Moyennes par année hydrologique (de juin à mai) et moyenne globale (juin 1981 à mai 1992) des paramètres chimiques à la station de l'exutoire du lac Laflamme

Paramètre	1981-1982	1982-1983	1983-1984	1984-1985	1985-1986	1986-1987	1987-1988	1988-1989	1989-1990	1990-1991	1991-1992	1992-1993	Moyenne	Écart type
pH ^a	6,14	6,00	6,19	6,15	6,31	6,50	6,52	6,19	6,11	6,09 ^b	6,23	6,18	6,20	—
H ($\mu\text{g/L}$)	0,726	0,991	0,641	0,713	0,491	0,318	0,304	0,652	0,771	0,806 ^b	0,583	0,647	0,635	1,17
Ca (mg/L)	2,45	2,28	2,25	2,38	2,28	2,14	2,20	2,16	2,17	2,08	2,29	2,13	2,23	0,49
Mg (mg/L)	0,49	0,46	0,50	0,51	0,48	0,48	0,49	0,45	0,45	0,46	0,47	0,46	0,48	0,10
Ca+Mg ($\mu\text{éq/L}$)	162,8	156,9	153,7	161,0	153,5	146,5	150,3	145,0	145,5	141,9	153,2	144,4	151,2	31,3
Na (mg/L)	1,0	0,9	0,9	0,9	0,8	0,8	0,9	0,8	0,9	0,9	0,9	0,8	0,9	0,2
K (mg/L)	0,18	0,24	0,24	0,18	0,24	0,18	0,15	0,15	0,17	0,15	0,18	0,21	0,19	0,10
Cl (mg/L)	0,3	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0,4	0,3 ^c	0,3	0,3	0,4	0,1
SO ₄ (mg/L)	3,6	4,1	4,0	4,6	4,6	4,3	4,4	4,4	4,3	4,0 ^d	3,8	3,6	4,2	0,6
P total (mg/L)	—	—	—	—	—	—	—	0,009	0,007	0,008	0,007	0,007	0,007	0,004
NO ₃ (mgN/L)	0,12	0,14	0,10	0,10	0,07	0,06	0,07	0,08	0,07	0,08 ^e	0,07	0,05	0,08	0,09
Alcalinité (mg/L)	5,51	4,75	5,05	5,18	4,51	4,29	4,61	4,02	4,17	3,82	4,57	4,19	4,56	1,92
Cond. ($\mu\text{S/cm}$)	21	25	20	25	23	22	23	22	21	21 ^e	22	21	22	5
Couleur ^f	22	26	24	23	22	28	25	27	25	25 ^e	24	27	25	7
Al (mg/L)	0,091	0,132	0,066	0,092	0,139	0,105	0,094	0,089	0,094 ^g	0,130	0,094 ^h	0,113	0,103	0,044
Mn (mg/L)	0,023	—	—	0,023	0,020	0,022	0,016	0,022	0,016 ^g	0,019	0,024 ^h	0,019	0,021	0,016
Zn (mg/L)	0,004	0,004	0,003	0,004	0,005	0,004	0,004	0,004	0,003 ^g	0,004	0,004 ^h	0,004	0,004	0,002
Fe (mg/L)	0,104	0,112	0,125	0,148	0,117	0,134	0,124	0,139	0,138 ^g	0,158	0,217 ^h	0,161	0,138	0,090
Écoulement (cm)	70,6	98,5	85,7	74,1	95,3	89,4	69,8	90,9	69,1	95,7	68,6	86,7	82,9	11,1

^a pH calculé à partir de H⁺.^b n = 40.^c n = 34.^d n = 39.^e n = 42.^f Un changement de méthode analytique est survenu le 22 mai 1990 pour Al, Mn, Zn et Fe.^g couleur exprimée en unités Hazen.^h couleur exprimée en unités Hazen.

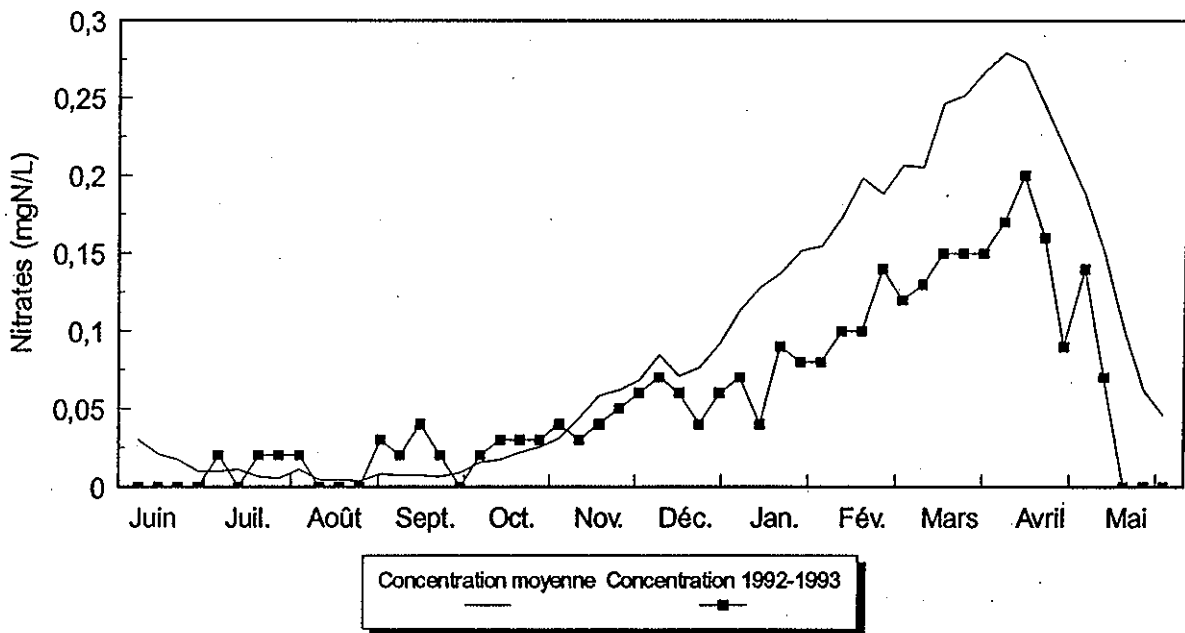
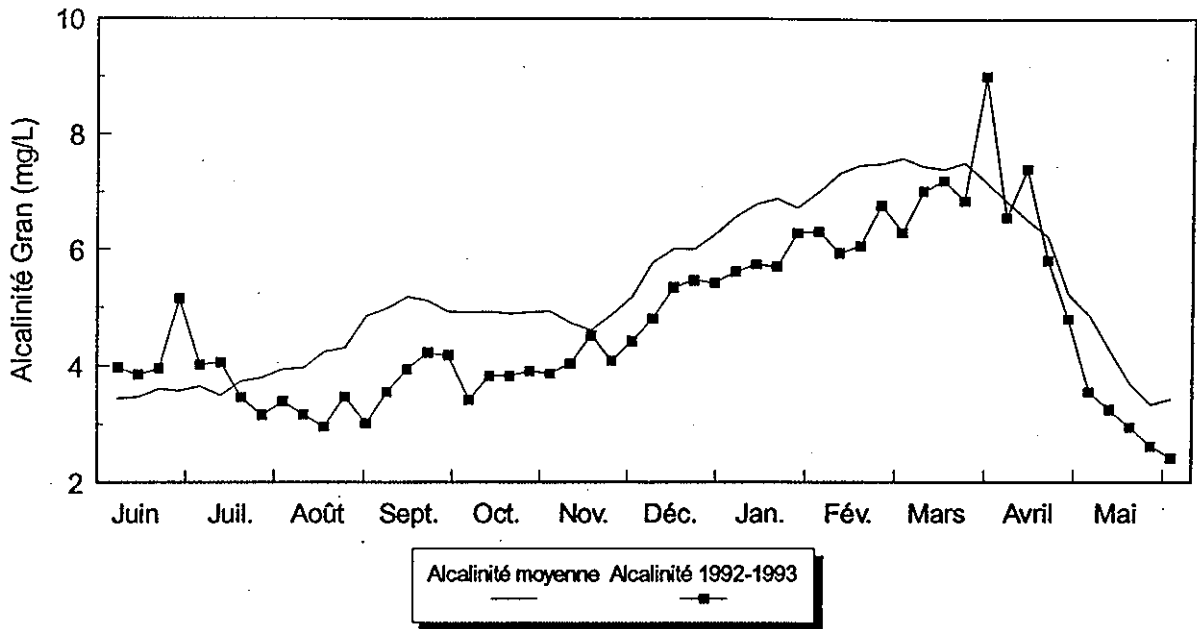


Figure 3 Mesures hebdomadaires (1992-1993) et mesures moyennes (1981-1993) de l'alcalinité et des concentrations de nitrates au lac Laflamme

combinée à de fortes pluies en avril 1993 et ces deux phénomènes ont entraîné des valeurs faibles pendant plusieurs semaines pour l'alcalinité et les concentrations de calcium et de magnésium et ont aussi contribué à diminuer les moyennes annuelles de 1992-1993.

Les concentrations maximales de nitrates dans les eaux de surface, qui sont habituellement atteintes au tout début de la fonte printanière, ont été plutôt faibles en 1993 (0,20 mgN/L) si on les compare aux valeurs printanières des trois années précédentes (0,33 mg/L) (figure 3). Comparativement aux autres années, les concentrations de sulfates étaient faibles tout au long de l'année hydrologique, avec des concentrations minimum au printemps de 2,4 mg/L aux stations du lac et de l'exutoire. En 1992-1993, le pH du lac (6,47) était plus élevé que la moyenne générale; à l'exutoire toutefois, le pH de 1992-1993 (6,18) se comparait à la moyenne générale.

Les concentrations moyennes annuelles des sulfates ont diminué depuis 1988-1989 pour atteindre, en 1992-1993, le même niveau qu'en 1981-1982; d'ailleurs, les tests statistiques montraient une tendance à la baisse pour la série des concentrations de sulfates entre juin 1986 et mai 1993 pour les eaux du lac et de l'exutoire (tableau 4 et figure 4). Pour les deux stations, la diminution était d'environ 16 $\mu\text{éq/L}$ entre juin 1986 et mai 1993. L'alcalinité du lac et de l'exutoire diminuaient de façon significative ($\alpha=0,05$) depuis 1981. En 1992-1993, l'alcalinité moyenne du lac était à son plus bas niveau depuis le début de l'étude (figure 4). Entre juin 1986 et mai 1993, on notait une baisse légère quoique significative de l'alcalinité du lac de 3,2 $\mu\text{éq/L}$.

Les concentrations moyennes annuelles du calcium étaient stables depuis 1988-1989; cependant, de légères tendances décroissantes significatives ($<0,1$ mg/L) étaient notées entre juin 1981 et mai 1993 pour les séries du lac et de l'exutoire. Des concentrations élevées de calcium entre 1981 et 1985 ont influencé la détection d'une tendance à la baisse pour la période de juin 1981 à mai 1993. Des diminutions significatives d'environ 11 $\mu\text{éq/L}$ étaient détectées pour la somme des deux principaux cations basiques (Ca+Mg) entre 1986 et 1993 dans l'eau du lac (figure 4) et de l'exutoire.

Les pH moyens annuels pour l'eau du lac et de l'exutoire ont augmenté entre 1981-1982 et 1987-1988 pour ensuite diminuer entre 1987-1988 et 1990-1991 et augmenter à nouveau jusqu'en mai 1993 (figure 4). En ce qui concerne les séries du pH ou de l'ion hydrogène, seule une tendance à la hausse des concentrations de l'ion hydrogène, à l'exutoire,

Tableau 4
Caractéristiques des séries chronologiques des paramètres chimiques
au centre et à l'exutoire du lac Laflamme

A. Lac

Période	Paramètre	Saisonnalité	Persistance	Tendance	Test	Valeur initiale	Valeur finale	Pente de la tendance (variation/an)
Juin 1981 à mai 1993	Alc. (mg/L)	Oui	Non	B	KS	5,72	4,70	-0,088
Juin 1986 à mai 1993	Alc. (mg/L)	Oui	Non	B	KS	5,005	4,843	-0,024
Juin 1981 à mai 1993	Conductivité (µS/cm)	Oui	Non	B	KS	23,71	23,17	-0,046
Juin 1981 à mai 1993	Ca (mg/L)	Oui	Non	B	KS	2,41	2,34	-0,006
Juin 1986 à mai 1993	SO ₄ (mg/L)	Oui	Mark.	B	HS	4,52	3,79	-0,108
Juin 1986 à mai 1993	NO ₃ (mgN/L)	Oui	Non	H	KS	0,045	0,084	0,006
Juillet 1988 à mai 1993	P total (mg/L)	Oui	Non	H	KS	0,008	0,015	0,002
1986 à 1993	Ca+Mg (µéq/L)	Oui	Non	B	KS	166,7	153,9	-2,22

B. Exutoire

Juin 1981 à mai 1993	Alc. (mg/L)	Oui	Non	B	KS	4,91	4,04	-0,074
Juin 1981 à mai 1993	Conductivité (µS/cm)	Oui	Non	B	KS	22,36	21,77	-0,050
Juin 1981 à mai 1993	Ca (mg/L)	Oui	Non	B	KS	2,28	2,20	-0,007
Juin 1986 à mai 1993	SO ₄ (mg/L)	Oui	Mark.	B	HS	4,64	3,83	-0,119
Juin 1986 à mai 1993	NO ₃ (mgN/L)	Oui	Non	H	KS	0,048	0,071	0,003
Juin 1981 à mai 1993	Alc. (kg/ha/sem.)	Oui	Non	B	KS	0,561	0,458	-0,009
Juin 1986 à mai 1993	SO ₄ (kg/ha/sem.)	Oui	Non	B	KS	0,660	0,465	-0,029
1986 à 1993	Ca+Mg (µéq/L)	Oui	Non	B	KS	151,8	141,6	-1,79

Légende. - Alc. : Alcalinité Gran. Mark. : markovienne de premier ordre. B : baisse. H : hausse. KS : Kendall saisonnier. HS : Hirsh et Slack.

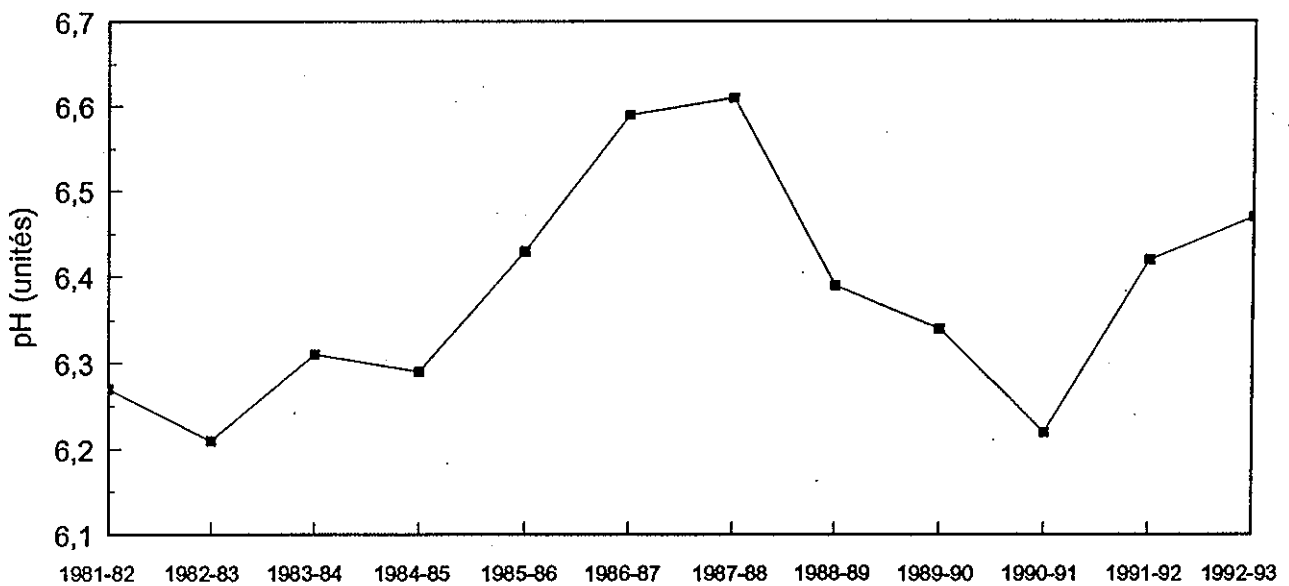
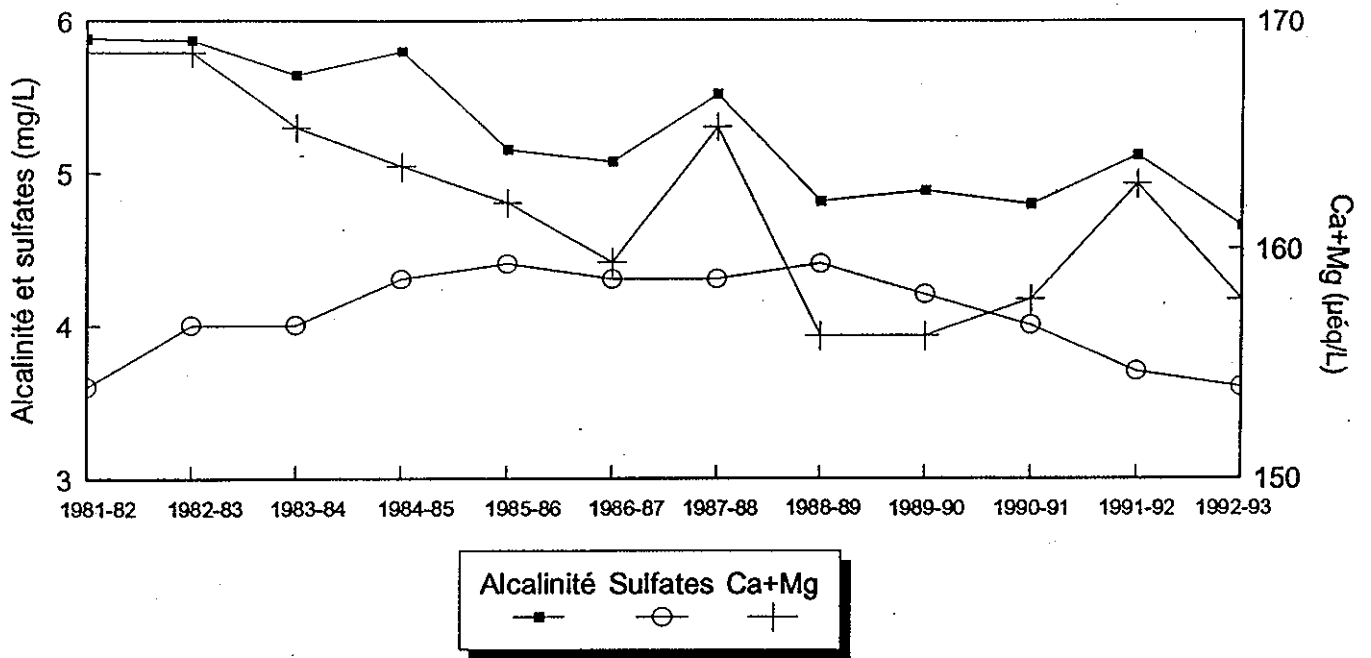


Figure 4 Moyennes annuelles de l'alcalinité, du pH et des concentrations de Ca+Mg et de sulfates au lac Laflamme entre juin 1981 et mai 1993

a été détectée après 1986, (annexe 3). Les concentrations moyennes annuelles de nitrates dans le lac et à l'exutoire augmentaient depuis 1986-1987 mais ont chuté considérablement lors de la dernière année hydrologique (1992-1993). Malgré cette diminution, les tests statistiques ont détecté des tendances à la hausse dans la série des concentrations de nitrates entre juin 1986 et mai 1993.

Des diminutions significatives de la conductivité dans le lac et à l'exutoire ont été notés entre juin 1981 et mai 1993 (tableau 4) et entre juin 1986 et mai 1993 (annexe 3). La conductivité est influencée par les concentrations de sulfates, de calcium et de magnésium qui étaient elles aussi à la baisse pour une et/ou l'autre de ces périodes. On notait une augmentation significative des concentrations de phosphore total dans l'eau du lac entre juillet 1988 et mai 1993 (tableau 4); cette tendance doit toutefois être interprétée en sachant que des concentrations élevées de phosphore total ont été enregistrées dans le lac entre mars et mai 1993. Les concentrations de fer dans le lac et à l'exutoire étaient à la hausse entre juin 1981 et mai 1993, et entre juin 1986 et mai 1993 à l'exutoire seulement (annexe 3). Il n'y avait pas de tendance significatives pour la couleur et les concentrations de sodium, de potassium, de magnésium, de chlorures, d'aluminium, de manganèse et de zinc au lac et à l'exutoire entre juin 1981 et mai 1993 et après 1986.

3.3 EAUX SOUTERRAINES

Le pH, l'alcalinité et les concentrations de calcium et d'aluminium des eaux souterraines augmentaient avec la profondeur à laquelle l'échantillon était prélevé, alors que les concentrations de sulfates diminuaient au contraire (tableau 5). Les concentrations moyennes de nitrates des puits de 2,8 et 2,9 m (0,80 mgN/L et 1,01 mgN/L respectivement) étaient plus élevées que celles mesurées dans les précipitations (0,26 mgN/L), dans l'eau du lac (0,09 mgN/L) et dans les puits de 0,8 m et 13 m. Les eaux des puits de 0,8 m, 2,8 m, 2,9 m étaient plus acides que celles du lac. Dans le cas du puits de 0,8 m, les concentrations de sulfates expliquaient cette acidité plus élevée; pour les puits de 2,8 m et 2,9 m, l'acidité semblait être liée aux concentrations élevées de nitrates. Entre 1991-1992 et 1992-1993, les concentrations de nitrates ont connu une baisse de l'ordre de 36 $\mu\text{eq/L}$ dans l'eau des puits de 2,8 et 2,9 m

(tableau 5 et figure 5).

Dans la zone de recharge (puits de 0,8, 2,8 et 2,9 m), pour la période de juillet 1988 à mai 1993, des baisses significatives des concentrations de sulfates (de 15 à 25 $\mu\text{éq/L}$), de potassium (de 6 à 9 $\mu\text{éq/L}$), de chlorures (8 et 17 $\mu\text{éq/L}$) et de sodium (15 $\mu\text{éq/L}$ pour le puits de 2,9 m seulement), étaient détectées (tableau 6). Les valeurs finales des séries de concentrations de sulfates des puits de la zone de recharge (3,57 mg/L pour le puits de 2,9 m et 3,73 mg/L pour le puits de 2,8) se rapprochaient de la moyenne annuelle des concentrations de sulfates de 1992-1993 dans le lac (3,6 mg/L) (figure 5).

Pour le puits de 13 m, qui est dans la zone de décharge et qui ne présentait aucune tendance pour la période de juillet 1988 à mai 1992, on relève une tendance à la hausse pour les concentrations de sodium et une tendance à la baisse pour les concentrations de sulfates (tableau 6).

Entre juillet 1988 et mai 1993, certains changements sont survenus dans les tendances des séries chronologiques des eaux souterraines par rapport à la période de juillet 1988 à mai 1992. Parmi ces changements, notons la disparition des tendances à la hausse des concentrations de nitrates pour les puits de 2,8 m et 2,9 m ainsi que des concentrations de calcium pour les puits de 0,80 m et de 2,8 m. Aucune tendance n'a été détectée pour le pH, l'alcalinité et les concentrations de magnésium et d'aluminium.

3.4 BILAN MASSIQUE

Les bilans massiques annuels permettent d'identifier les paramètres qui s'accumulent dans le bassin et ceux qui au contraire sont exportés du bassin. Ainsi, les bilans de l'année hydrologique de juin 1991 à mai 1992 (les données n'étaient que partiellement disponibles pour l'année hydrologique de juin 1992 à mai 1993) étaient au-dessous de la moyenne générale (annexes 1 et 4) que ce soit pour les paramètres qui s'accumulent dans le bassin (NO_3 et H^+) ou ceux généralement exportés du bassin (SO_4 , Ca, Mg, Na, K, Cl). Les bilans nets annuel des sulfates étaient toujours négatifs, c'est-à-dire qu'outre les dépôts atmosphériques humides, il existait d'autres sources de sulfates (dépôts secs, phénomènes de désorption et de minéralisation des sulfates des sols [Houle et Carignan, 1994]). Il faut aussi noter que les concentrations de sulfates dans les précipitations étaient analysées par chromatographie ionique tandis que celles dans les eaux de surface l'étaient par colorimétrie d'où

Tableau 5
Concentrations moyennes dans les eaux souterraines de juillet 1988 à mai 1993

Profondeur du piézomètre (m)	Année hydrologique	pH	Alcalinité (mg/L)	SO ₄ (mg/L)	NO ₃ (mgN/L)	Ca (mg/L)	Al (mg/L)
0,8	1988-1989	5,3	0,77	5,3	0,06	1,1	0,410
	1989-1990	5,2	0,58	5,1	0,03	1,1	0,384
	1990-1991	5,0	0,61	4,7	0,19	1,1	0,307
	1991-1992	5,4	0,90	4,7	0,02	1,3	0,355
	1992-1993	5,3	0,59	4,2	0,03	1,0	0,407
	Moyenne	5,2	0,69	4,8	0,07	1,1	0,373
2,8	1988-1989	6,0	3,7	4,7	0,57	2,9	0,053
	1989-1990	5,9	2,7	4,1	0,84	2,8	0,048
	1990-1991	6,0	3,2	4,0	0,70	2,8	0,047
	1991-1992	5,9	3,0	3,9	1,25	3,1	0,060
	1992-1993	6,0	3,2	4,0	0,78	2,8	0,059
	Moyenne	6,0	3,2	4,1	0,80	2,9	0,053
2,9	1988-1989	5,6	2,5	4,4	0,79	2,7	0,066
	1989-1990	5,9	2,3	4,1	1,12	2,5	0,060
	1990-1991	5,9	3,0	3,8	0,97	2,9	0,060
	1991-1992	5,8	2,7	3,5	1,35	3,0	0,069
	1992-1993	5,8	3,0	3,9	0,81	2,9	0,065
	Moyenne	5,8	2,7	3,9	1,01	2,8	0,065
13	1988-1989	7,0	40,6	3,2	0,01	9,0	0,009
	1989-1990	6,8	45,7	2,3	0,02	8,1	0,015
	1990-1991	6,7	43,6	2,7	0,02	8,5	0,026
	1991-1992	7,0	44,4	2,3	0,02	8,4	0,018
	1992-1993	7,2	45,2	2,4	0,07	8,9	0,018
	Moyenne	6,9	43,9	2,6	0,03	8,6	0,017

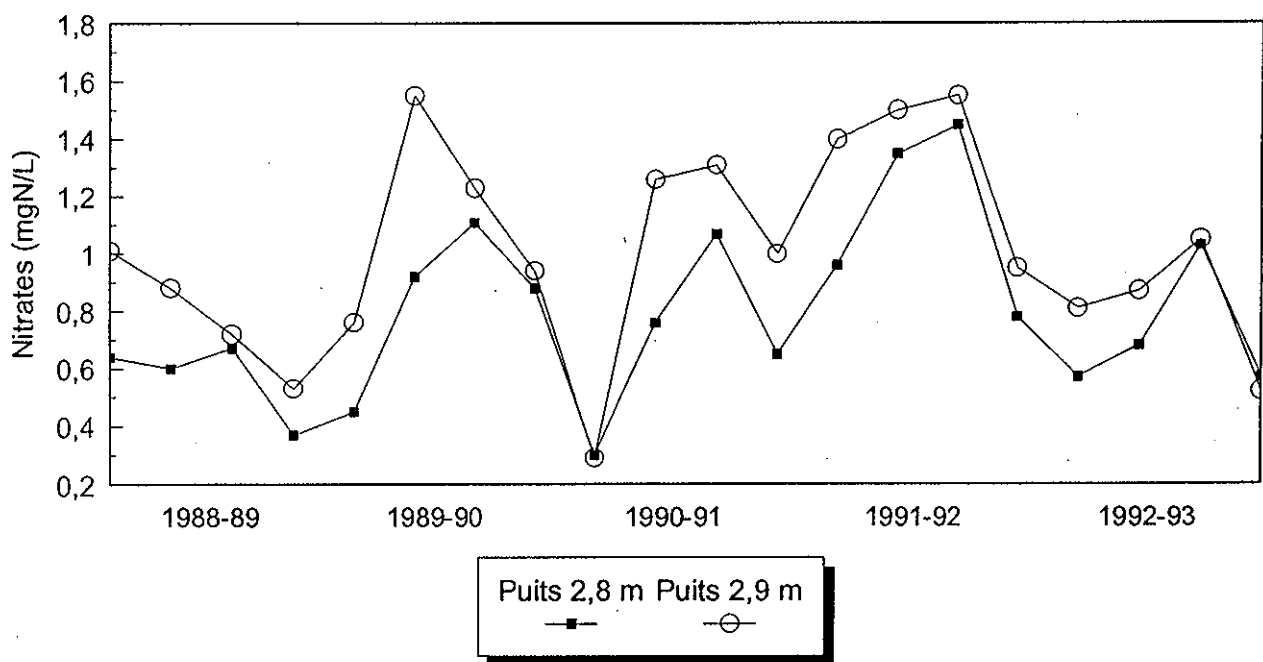
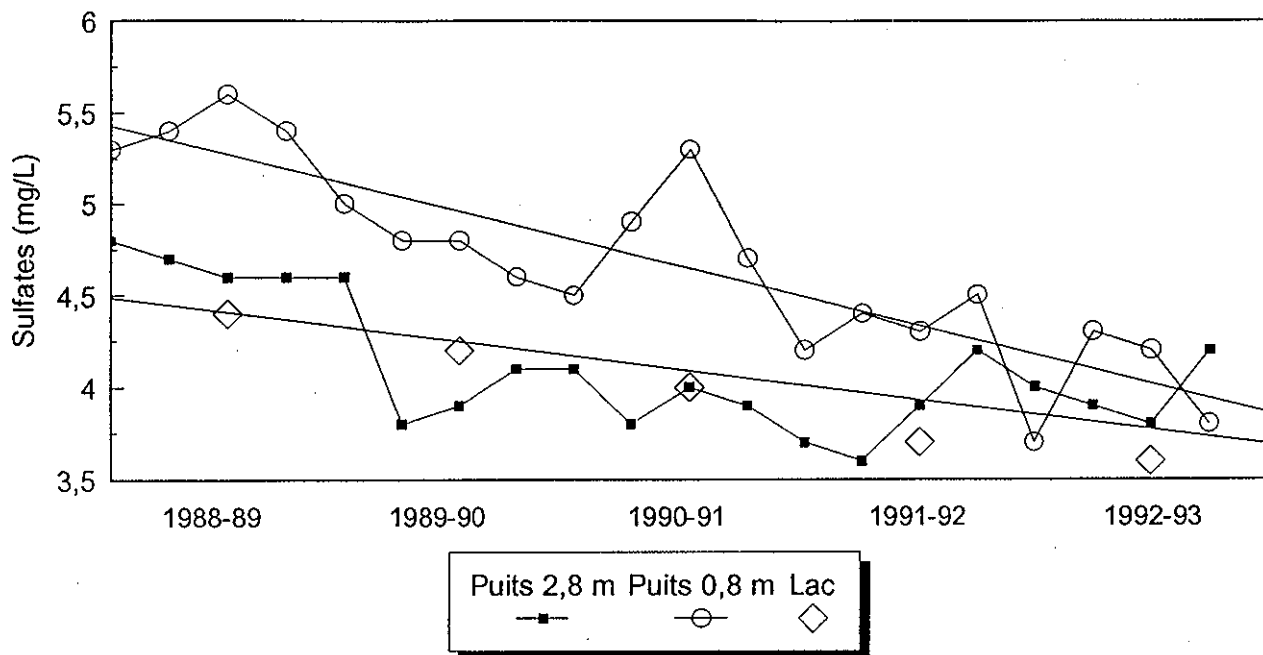


Figure 5 Mesures bimestrielles des concentrations de sulfates et de nitrates dans les eaux souterraines du bassin du lac Laflamme entre juillet 1988 et mai 1993

Tableau 6
Caractéristiques des séries chronologiques des paramètres chimiques pour les eaux souterraines du bassin versant du lac Laflamme entre juillet 1988 et mai 1993

Puits	Paramètre	Test	Tendance	Pente mg/L/an	Valeur initiale mg/L	Valeur finale mg/L
0,80 m	SO ₄	K	B	-0,466	5,39	4,15
	K	Rég.*	B	-0,015	0,38	0,15
2,8 m	SO ₄	K	B	-0,239	4,49	3,73
	K	K	B	-0,108	0,51	0,17
	Cl	K	B	-0,083	0,69	0,42
2,9 m	SO ₄	K	B	-0,231	4,31	3,57
	Na	K	B	-0,107	1,14	0,80
	K	K	B	-0,087	0,46	0,19
	Cl	K	B	-0,187	0,87	0,28
13 m	SO ₄	K	B	-0,284	2,98	2,17
	Na	K	H	0,173	2,90	3,42

* : $\alpha=0,10$

Légende : Rég. : régression. K : Kendall. B : baisse. H : Hausse.

la possibilité d'une différence entre les dépôts atmosphériques et les charges exportées, la méthode colorimétrique pouvant surestimer les concentrations. En 1991-1992, le bilan des sulfates était faible (8,6 kg/ha) par rapport à la moyenne des bilans annuels (13,5 kg/ha) depuis 1981-1982 (figure 6). Les dépôts atmosphériques étant à peu près semblables depuis 1989-1990, il est probable que les apports des sols ont diminué. La rétention des nitrates dans le bassin versant s'est maintenue au-dessus de 80 p. 100 au cours des sept dernières années (figure 6). En 1992-1993, et bien que les dépôts de nitrates de 1992 aient été semblables à ceux de l'année précédente, les exportations de nitrates ont atteint un minimum de 0,3 kg/ha. Ceci démontre que la saturation en nitrates dans le bassin versant ne semble pas être atteinte. Les dépôts atmosphériques annuels de calcium (figure 7), de magnésium et de sodium ne représentaient que 6 p. 100 des exportations annuelles à l'exutoire. La variation des bilans massiques annuels ne dépendait que très peu des variations des dépôts atmosphériques. La rétention de l'ion hydro-

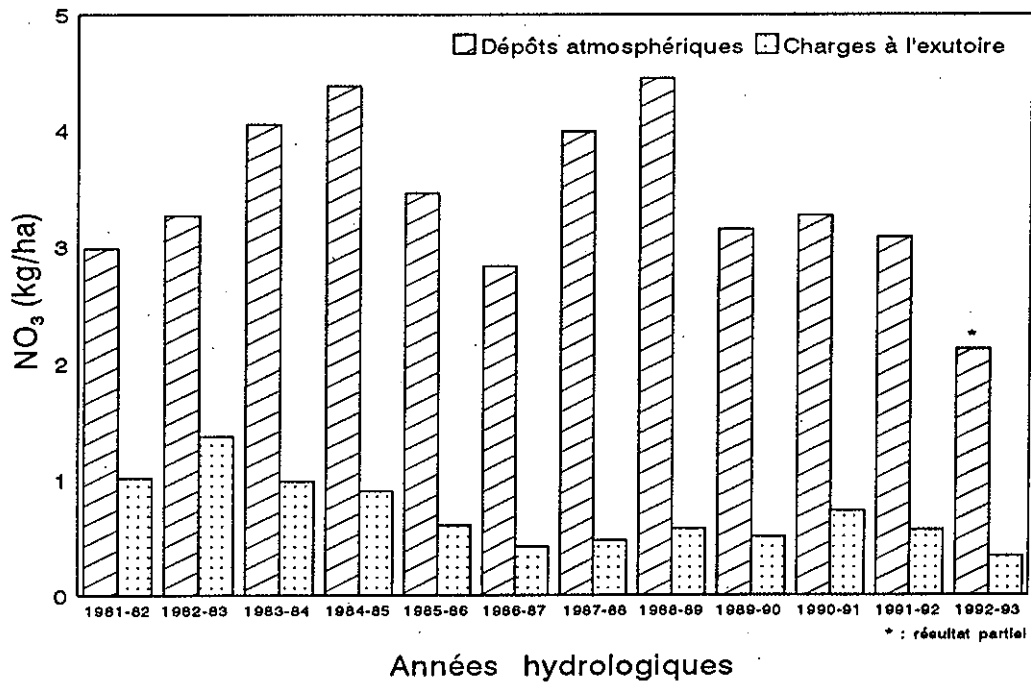
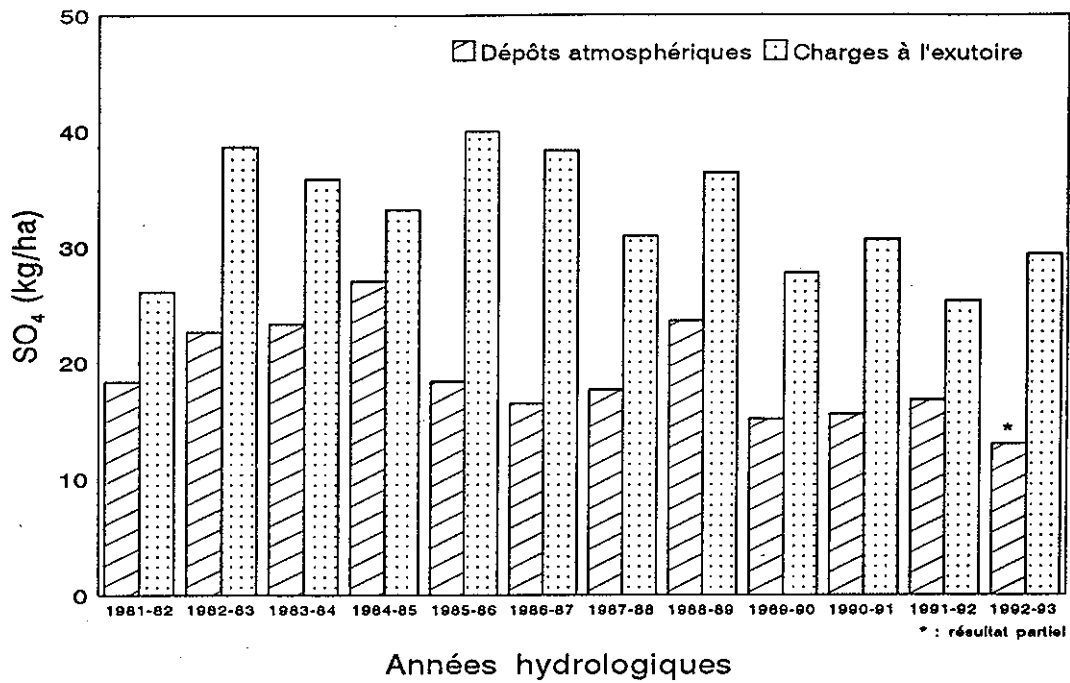


Figure 6 Bilan massique annuel des sulfates et des nitrates au bassin versant du lac Laflamme entre juin 1981 et mai 1993

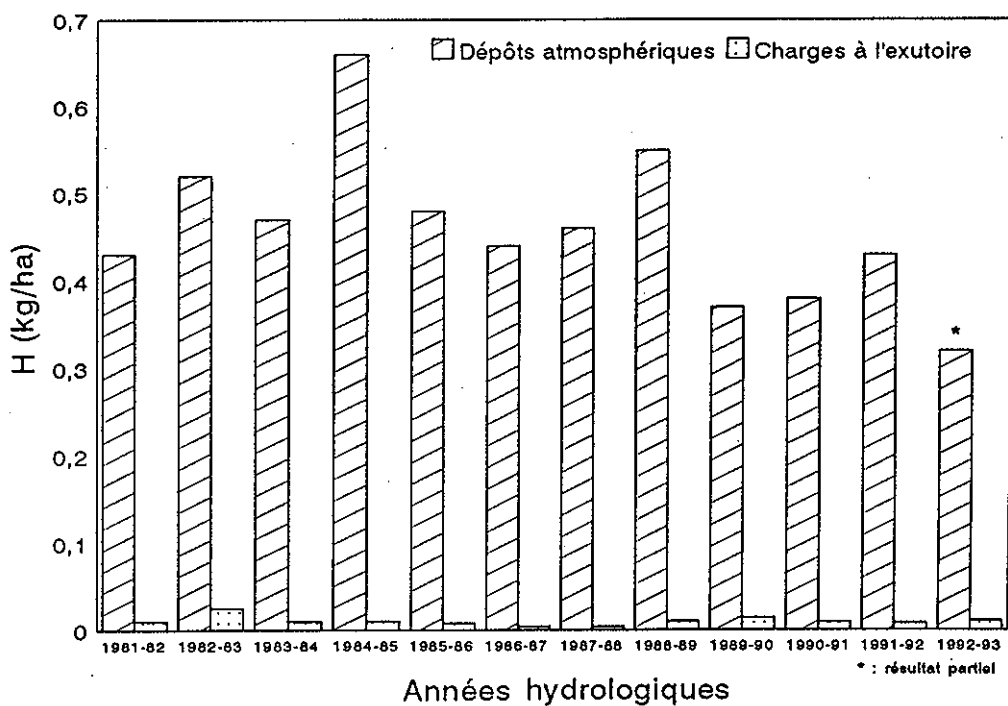
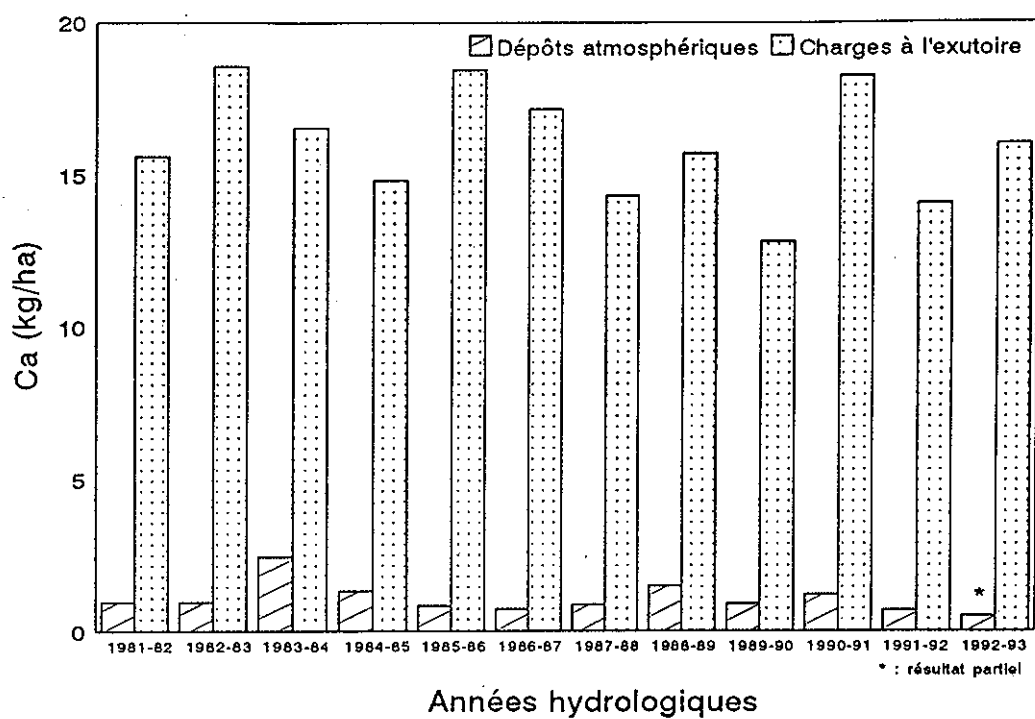


Figure 7 Bilan massique annuel du calcium et de l'ion hydrogène au bassin versant du lac Laflamme entre juin 1981 et mai 1993

gène dans le bassin versant était grande (98 p. 100) et ne variait pas de façon significative entre 1981 et 1993 (figure 7). Les bilans massiques des chlorures et du potassium étaient stables dans les dernières années avec un bilan négatif net d'environ 1 kg/ha/an (annexes 1, 4 et 5).

Des tendances à la baisse des charges hebdomadaires exportées à l'exutoire étaient détectées pour l'alcalinité (juin 1981 à mai 1993) et pour les sulfates (juin 1986 à mai 1993) (tableau 4). Une tendance à la hausse des charges hebdomadaires de l'ion hydrogène exportées à l'exutoire entre juin 1986 et mai 1993 était détectée (annexe 3).

Depuis 1981, l'évolution des concentrations et des dépôts de sulfates dans les précipitations au bassin du lac Laflamme a résulté en une diminution significative, conforme au mouvement observé pour ce paramètre à la plupart des stations dans l'est de l'Amérique du nord (Newell, 1993; Sirois, 1993). Les baisses des dépôts de sulfates au bassin du lac Laflamme (25 p. 100) étaient comparables à celles observées aux stations de Chalk River (26 p. 100) et d'Algoma (15 p. 100) en Ontario, qui font également partie du réseau RCEPA (Réseau canadien d'échantillonnage des précipitations et de l'air) (Clair *et al.*, 1995).

Les concentrations de nitrates dans les précipitations au bassin du lac Laflamme ont été à la hausse pendant les années 1980, un mouvement qui n'était pas généralisé à l'est de l'Amérique du nord. Depuis 1988, toutefois, les concentrations de nitrates dans les précipitations montrent un mouvement à la baisse. Cette baisse des concentrations de nitrates dans les précipitations pourrait être liée aux efforts de contrôle des oxydes d'azote (NO_x) entrepris par le Canada suite à ses engagements internationaux (*Protocole de Sofia sur les NO_x* signé en 1988) pour geler d'ici 1994 les émissions de NO_x aux niveaux de 1987.

Depuis 1988, en plus des baisses des concentrations de sulfates et de nitrates, un mouvement à la baisse est constaté pour les concentrations et les dépôts de calcium et de magnésium et les concentrations de potassium. Un suivi devrait être maintenu pour vérifier s'il s'agit d'un mouvement régional à long terme.

Dans le cas des eaux de surface, la diminution des concentrations de sulfates constatée depuis plusieurs années s'est poursuivie pour atteindre une concentration moyenne de 3,6 mg/L en 1992-1993, soit une diminution de 14,6 $\mu\text{éq/L}$ par rapport à 1986-1987. Les diminutions des concentrations de sulfates notées entre 1985 et 1993 dans les lacs du réseau de surveillance de l'acidité des lacs au Québec (RTQ), à proximité du lac Laflamme, étaient à peu près du même ordre de grandeur, soit entre 17 et 19 $\mu\text{éq/L}$ (Bouchard, 1994). Toutefois, dans l'ouest de la province de Québec (Rouyn-Noranda), des diminutions plus importantes (40 $\mu\text{éq/L}$) ont été constatées (Dupont, 1992). Les eaux souterraines de la zone de recharge du bassin du lac Laflamme, plus spécifiquement les puits de 2,8 m et 2,9 m, montraient des diminutions des concentrations de sulfates. Les valeurs finales des deux séries (3,73 mg/L et 3,57 mg/L) étaient

similaires à la concentration moyenne des sulfates au lac en 1992-1993 (3,6 mg/L) démontrant ainsi l'influence des apports d'eaux souterraines sur la qualité des eaux de surface.

Les concentrations moyennes de nitrates des eaux de surface ont subi une baisse de 40 p. 100 entre 1991-1992 et 1992-1993, baisse semblable à celle observée entre 1984-1985 et 1985-1986. Des diminutions de cet ordre ont aussi été notées dans plusieurs lacs du réseau de surveillance au Québec (Bouchard, 1994) et dans un bassin versant de l'État du Maine aux États-Unis (Kahl et Norton, 1993). Les concentrations moyennes de nitrates dans les eaux souterraines des puits de 2,8 m et 2,9 m ont aussi diminué de 40 p. 100 entre 1991-1992 et 1992-1993. Bien que les tendances à la hausse des concentrations de nitrates dans le lac et à l'exutoire étaient toujours présentes entre juin 1986 et mai 1993, les pentes de tendances avaient diminué de moitié par rapport à la période allant de juin 1986 à mai 1992. En 1992-1993, le bassin versant semblait soumis à un stress acidifiant moins important par les sulfates et les nitrates, par rapport aux années précédentes.

Des diminutions significatives des concentrations de calcium dans les eaux du lac et de l'exutoire étaient présentes depuis juin 1981 mais elles étaient inférieures à 0,1 mg/L. Rien dans les concentrations de calcium des précipitations reçues entre 1981 et 1992, ou dans celles des eaux souterraines (depuis 1988) n'explique ces tendances dans les eaux de surface. Pour l'eau du lac et de l'exutoire, entre juin 1986 et mai 1993, on note une diminution significative d'environ 12 $\mu\text{éq/L}$ de la somme des principaux cations basiques (Ca+Mg) qui accompagne une diminution d'environ 16 $\mu\text{éq/L}$ des concentrations de sulfates. Une diminution de l'exportation des cations basiques plutôt que l'augmentation de la capacité à neutraliser l'acide, en réponse à une réduction des apports atmosphériques de sulfates, est aussi observée dans la région de Rouyn-Noranda au Québec (Dupont, 1992) et dans la région d'Algoma en Ontario (de 1982 à 1985) (Kelso et Jeffries, 1988). Dans la région de Rouyn-Noranda, on ne notait cependant aucune augmentation du pH ou de l'alcalinité de l'eau des lacs, alors que dans les lacs de la région d'Algoma, les baisses des concentrations de sulfates et de cations basiques s'accompagnaient d'une hausse du pH.

Le cycle annuel de l'alcalinité des eaux de surface au bassin du lac Laflamme observé depuis 1981, a été perturbé par les importantes pluies au cours de l'été 1992, ce qui a entraîné une diminution de la capacité à neutraliser l'acide des eaux de surface du bassin versant.

À l'exception du mois de juin, les mesures d'alcalinité du lac en 1992-1993 étaient, en moyenne, inférieures de $15 \mu\text{éq/L}$ par rapport aux valeurs moyennes (figure 3). Ce phénomène a contribué à maintenir la tendance à la baisse de l'alcalinité de l'eau du lac et de l'exutoire entre juin 1981 et mai 1993. Il a aussi contribué à la détection d'une tendance à la baisse de l'alcalinité de l'eau du lac entre juin 1986 et mai 1993. On a répertorié d'autres sites où l'alcalinité et(ou) le pH de l'eau des lacs diminuaient alors que les concentrations de sulfates étaient à la baisse (McNicol et Mallory, 1994; Dillon et Lazerte, 1992; Driscoll et Van Dreason, 1992). Dans certains cas, les hausses des concentration de nitrates dans les lacs expliquaient en partie le manque de récupération de la capacité à neutraliser l'acide comme cela était observé dans les lacs de la région des Adirondack dans l'État de New York (Driscoll et Van Dreason, 1993). Dans le cas du lac Laflamme, les hausses des concentrations de nitrates dans les eaux de surface, les baisses de concentrations des cations basiques (Ca+Mg), les événements épisodiques comme les pluies au cours de l'été 1992 étaient tous des phénomènes pouvant contribuer au manque de récupération de l'alcalinité des eaux de surface.

5 **Changement dans la fréquence d'échantillonnage au lac Laflamme**

Deux exercices de rationalisation portant sur la fréquence d'analyse des paramètres chimiques de la qualité de l'eau au bassin du lac Laflamme ont été effectués depuis juin 1993. Dans un premier temps, notons que les analyses de la dureté, de l'alcalinité totale et des concentrations de SiO₂ ont été abandonnées depuis mai 1993. La fréquence d'échantillonnage des paramètres échantillonné aux deux mois (NH₄, CID et COD) a été modifiée en fonction du réseau TADPA-Québec (Bouchard, 1994). Les concentrations de NH₄ ne sont plus mesurées en été. Les concentrations du carbone organique et inorganique sont mesurées deux fois par année. Pour les autres paramètres, une étude a été menée pour identifier ceux pour lesquels une réduction de fréquence d'échantillonnage n'altérerait pas de façon significative la qualité des résultats et de l'interprétation. Étaient susceptibles de se qualifier:

- a) Les paramètres non prioritaires dans le contexte de la récupération de l'état d'acidité des eaux de surface.
- b) Les paramètres présentant une faible variabilité des mesures d'une semaine à l'autre.
- c) Les paramètres avec absence de tendance temporelle importante dans la série.
- d) Les paramètres ayant peu d'influence sur le calcul du bilan ionique.
- e) Les paramètres pour lesquels on pouvait obtenir la mesure par le laboratoire national des essais environnementaux.

Parmi les paramètres considérés en a) et qui satisfaisaient le mieux possible les autres exigences, notons que la conductivité, la couleur et les concentrations de potassium et de chlorures ont été retenus.

La variation moyenne de la conductivité d'une semaine à l'autre dans le lac et à l'exutoire était de 1,6 μ S/cm, ce qui représentait 7 p. 100 de la conductivité moyenne. De plus, la conductivité n'entraîne pas dans le calcul du bilan ionique. Il est à noter cependant que de

légères tendances à la baisse (3 p. 100) étaient détectées pour les séries de conductivité dans le lac et à l'exutoire (tableau 4 et annexe 3).

La variation moyenne de la couleur d'une semaine à l'autre était de quatre unités Hazen dans le lac et à l'exutoire, ce qui représentait 16 p. 100 de la couleur moyenne. Aucune tendance n'a été détectée pour les séries de la couleur entre juin 1982 et mai 1992 ou entre juin 1986 et mai 1992. La couleur n'entrait pas non plus dans le calcul du bilan ionique.

La variation moyenne des concentrations de potassium d'une semaine à l'autre était de 0,05 mg/L dans le lac et de 0,03 mg/L à l'exutoire, ce qui représentait 23 p.100 de la concentration moyenne dans le lac et 16 p. 100 pour l'exutoire. Des mesures de concentrations de potassium étaient disponibles au laboratoire national des essais environnementaux à titre de référence puisque la méthode d'analyse (émission atomique au plasma) différait de celle utilisée au laboratoire régional (absorption atomique). La corrélation entre les mesures du laboratoire régional et celles du laboratoire national était bonne ($r^2=62$ p. 100) et la pente de la droite de régression n'était pas significativement différente de un. Aucune tendance n'était détectée pour les périodes de juin 1981 à mai 1992 et de juin 1986 à mai 1992 ni au lac ni à l'exutoire. Les concentrations de potassium n'influençaient pas de façon significative le bilan ionique.

La variation moyenne des concentrations de chlorures d'une semaine à l'autre était de 0,08 mg/L dans le lac et de 0,05 mg/L à l'exutoire, ce qui représentait 20 p.100 de la concentration moyenne dans le lac et 13 p. 100 pour l'exutoire. Le bilan ionique demeurait acceptable malgré l'absence de la mesure des concentrations de chlorures. Une tendance était présente à l'exutoire entre juin 1981 et mai 1992 mais est devenue non significative par la suite.

Le deuxième exercice de rationalisation a été effectué en juin 1994 avant de réduire la fréquence d'échantillonnage des 24 autres paramètres (pH, alcalinité Gran, Ca, Mg, Na, SO₄, NO₂-NO₃, P total et 16 métaux lourds), (échantillonnage aux deux semaines au lieu de chaque semaine). Une étude de comparaison a été effectuée entre les moyennes annuelles, les écarts types et les tendances temporelles calculés à partir d'une fréquence d'échantillonnage hebdomadaire et d'une fréquence aux deux semaines sur les données de l'eau du lac et de l'exutoire entre juin 1981 et mai 1993. Comme les moyennes, les écarts types et les tendances temporelles sont des outils d'interprétation de la qualité de l'eau qui permettent de définir s'il y a ou non une récupération de l'état d'acidité des eaux de surface, il est important que le

changement de fréquence d'échantillonnage n'entraîne pas de différence significative des résultats afin d'éviter des erreurs d'interprétation. Les écarts types ont été pris en considération pour vérifier si la réduction de fréquence n'entraînait pas une réduction de l'étendue de la variation annuelle des séries. Si les écarts types des deux échantillons n'avaient pas été semblables, on aurait pu conclure à la perte d'information sur les cycles naturels des paramètres.

Pour l'eau du lac et de l'exutoire, les moyennes annuelles (1982-1992) et les écarts types du pH et des concentrations de calcium, de magnésium, de sodium, de l'alcalinité, des sulfates, des nitrates et du phosphore total ont été calculés (tableau 7 et annexe 6) à l'aide des deux banques de données de la même station. Par la suite, un test de Wilcoxon pour échantillons appariés ($\alpha=0,05$) a été utilisé pour tester si les moyennes annuelles et les écarts types issus des deux banques de données étaient semblables. Dans tous les cas, le test de Wilcoxon conclut à l'égalité des moyennes annuelles et des écarts types des deux distributions. Les différences entre les moyennes annuelles n'étaient jamais supérieures à 5 p. 100, sauf pour les concentrations de nitrates pour lesquelles on constate des différences de 8 à 13 p. 100 pour deux années en ce qui concerne l'eau du lac et une année pour l'exutoire. En comparant ces différences à l'ampleur des tendances détectées pour l'alcalinité (18 p. 100), les concentrations de sulfates (17 p. 100) et de nitrates (de 32 à 46 p. 100), il semble qu'une différence de 5 p. 100 soit acceptable. Dans le cas des concentrations de calcium, l'ampleur des tendances détectées dans le lac et à l'exutoire étaient seulement de 3 p. 100; toutefois les différences entre les moyennes annuelles des concentrations de calcium des deux distributions ne dépassaient 3 p. 100 qu'en 1985.

Les tests pour la détection de tendances ont permis d'une part de vérifier si les tendances détectées avec les séries hebdomadaires (de juin 1981 à mai 1993 et de juin 1986 à mai 1993) l'étaient aussi avec les séries aux deux semaines et d'autre part, de comparer les caractéristiques des séries (persistance et saisonnalité), les pentes de tendances et les valeurs initiales et finales (tableaux 8 et 9). Les résultats des tendances temporelles concordaient bien d'une banque de données à l'autre que ce soit pour la période de 12 ans ou celle de sept ans. Notons cependant que les tendances à la hausse des concentrations de zinc (juin 1981 à mai 1993) et de phosphore total (juin 1988 à mai 1993) détectées avec une fréquence d'échantillonnage hebdomadaire ne l'étaient pas avec une fréquence aux deux semaines. Entre

Tableau 7
Étude comparative des moyennes annuelles et des écarts type
au lac et à l'exutoire calculés à partir de deux fréquences d'échantillonnage

Lac - pH

Année	Fréquence hebdomadaire		Fréquence aux deux semaines	
	Moyenne pH	Écart type H ⁺ (µg/L)	Moyenne pH	Écart type H ⁺
1982	6,19	4,03·10 ⁻⁷	6,16	5,08·10 ⁻⁷
1983	6,26	3,21·10 ⁻⁷	6,26	2,86·10 ⁻⁷
1984	6,33	2,43·10 ⁻⁷	6,32	2,81·10 ⁻⁷
1985	6,33	2,64·10 ⁻⁷	6,32	2,37·10 ⁻⁷
1986	6,46	1,62·10 ⁻⁷	6,45	1,67·10 ⁻⁷
1987	6,67	1,14·10 ⁻⁷	6,63	1,42·10 ⁻⁷
1988	6,54	1,60·10 ⁻⁷	6,53	1,65·10 ⁻⁷
1989	6,40	2,18·10 ⁻⁷	6,41	1,98·10 ⁻⁷
1990	6,24	2,71·10 ⁻⁷	6,25	2,70·10 ⁻⁷
1991	6,36	2,70·10 ⁻⁷	6,40	2,59·10 ⁻⁷
1992	6,43	2,14·10 ⁻⁷	6,44	2,02·10 ⁻⁷

Test de Wilcoxon ($\alpha=0,05$) : H₀ accepté.

Lac - Ca (mg/L)

Année	Fréquence hebdomadaire		Fréquence aux deux semaines	
	Moyenne	Écart type	Moyenne	Écart type
1982	2,60	0,38	2,59	0,38
1983	2,42	0,52	2,40	0,51
1984	2,40	0,44	2,39	0,46
1985	2,45	0,55	2,52	0,53
1986	2,38	0,45	2,40	0,47
1987	2,37	0,33	2,38	0,35
1988	2,33	0,39	2,30	0,39
1989	2,36	0,41	2,37	0,42
1990	2,28	0,41	2,30	0,41
1991	2,34	0,41	2,33	0,41
1992	2,39	0,43	2,40	0,44

Test de Wilcoxon ($\alpha=0,05$) : H₀ accepté.

H₀ : Égalité des moyennes annuelles des deux distributions.

H₀ : Égalité des écarts types des deux distributions.

H₁ : Inégalité des moyennes annuelles et(ou) des écarts types.

Lac - Alcalinité (mg/L)

Année	Fréquence hebdomadaire		Fréquence aux deux semaines	
	Moyenne	Écart type	Moyenne	Écart type
1982	6,73	1,81	6,60	1,74
1983	5,39	1,31	5,38	1,31
1984	5,50	1,69	5,39	1,74
1985	5,56	2,17	5,75	2,22
1986	5,07	1,84	5,09	1,89
1987	5,50	1,46	5,60	1,65
1988	5,07	1,60	4,91	1,54
1989	5,00	1,35	5,02	1,43
1990	4,58	1,24	4,59	1,19
1991	5,13	1,29	5,11	1,30
1992	4,82	1,24	4,83	1,28

Test de Wilcoxon ($\alpha=0,05$) : H_0 accepté.

Lac - SO_4 (mg/L)

Année	Fréquence hebdomadaire		Fréquence aux deux semaines	
	Moyenne	Écart type	Moyenne	Écart type
1982	3,73	0,45	3,71	0,42
1983	4,05	0,35	4,02	0,35
1984	4,12	0,33	4,14	0,33
1985	4,47	0,41	4,50	0,37
1986	4,26	0,47	4,25	0,50
1987	4,27	0,46	4,30	0,50
1988	4,36	0,38	4,37	0,40
1989	4,30	0,45	4,32	0,48
1990	4,15	0,37	4,15	0,36
1991	3,75	0,42	3,78	0,42
1992	3,75	0,33	3,72	0,31

Test de Wilcoxon ($\alpha=0,05$) : H_0 accepté.

H_0 : Égalité des moyennes annuelles des deux distributions.

H_0 : Égalité des écarts types des deux distributions.

H_1 : Inégalité des moyennes annuelles et(ou) des écarts types.

Lac - NO₃ (mgN/L)

Année	Fréquence hebdomadaire		Fréquence aux deux semaines	
	Moyenne	Écart type	Moyenne	Écart type
1982	0,14	0,11	0,13	0,10
1983	0,12	0,12	0,12	0,12
1984	0,11	0,12	0,11	0,12
1985	0,10	0,12	0,10	0,13
1986	0,06	0,07	0,06	0,07
1987	0,06	0,07	0,06	0,07
1988	0,07	0,08	0,08	0,09
1989	0,10	0,10	0,10	0,10
1990	0,09	0,10	0,09	0,10
1991	0,08	0,08	0,08	0,07
1992	0,09	0,10	0,09	0,09

Test de Wilcoxon ($\alpha=0,05$) : H₀ accepté.

Exutoire - pH

	Fréquence hebdomadaire		Fréquence aux deux semaines	
	Moyenne pH	Écart type H ⁺	Moyenne pH	Écart type H ⁺
1982	6,08	13,40·10 ⁻⁷	6,15	1,47·10 ⁻⁷
1983	6,04	16,89·10 ⁻⁷	6,01	3,94·10 ⁻⁷
1984	6,20	9,72·10 ⁻⁷	6,18	19,00·10 ⁻⁷
1985	6,16	8,50·10 ⁻⁷	6,12	11,80·10 ⁻⁷
1986	6,35	5,44·10 ⁻⁷	6,41	11,28·10 ⁻⁷
1987	6,56	2,92·10 ⁻⁷	6,58	2,19·10 ⁻⁷
1988	6,42	3,57·10 ⁻⁷	6,39	1,85·10 ⁻⁷
1989	6,21	13,47·10 ⁻⁷	6,10	4,70·10 ⁻⁷
1990	6,07	16,66·10 ⁻⁷	6,10	18,86·10 ⁻⁷
1991	6,20	8,35·10 ⁻⁷	6,21	14,70·10 ⁻⁷
1992	6,25	10,88·10 ⁻⁷	6,31	9,22·10 ⁻⁷

Test de Wilcoxon ($\alpha=0,05$) : H₀ accepté.

H₀ : Égalité des moyennes annuelles des deux distributions.

H₀ : Égalité des écarts types des deux distributions.

H₁ : Inégalité des moyennes annuelles et(ou) des écarts types.

Exutoire - Ca (mg/L)

Année	Fréquence hebdomadaire		Fréquence aux deux semaines	
	Moyenne	Écart type	Moyenne	Écart type
1982	2,45	0,44	2,48	0,44
1983	2,21	0,55	2,18	0,59
1984	2,25	0,47	2,26	0,47
1985	2,44	0,65	2,42	0,63
1986	2,20	0,47	2,22	0,44
1987	2,17	0,36	2,17	0,36
1988	2,14	0,35	2,13	0,37
1989	2,20	0,41	2,19	0,43
1990	2,11	0,44	2,12	0,45
1991	2,16	0,44	2,15	0,45
1992	2,30	0,54	2,33	0,52

Test de Wilcoxon ($\alpha=0,05$) : H_0 accepté.

Exutoire - Alcalinité (mg/L)

Année	Fréquence hebdomadaire		Fréquence aux deux semaines	
	Moyenne	Écart type	Moyenne	Écart type
1982	5,97	2,32	5,99	2,28
1983	4,51	1,51	4,58	1,61
1984	4,82	2,01	4,84	2,04
1985	5,15	2,57	5,00	2,69
1986	4,22	2,01	4,29	1,93
1987	4,72	1,63	4,68	1,50
1988	4,03	1,49	3,98	1,63
1989	4,38	1,53	4,32	1,62
1990	3,81	1,34	3,78	1,36
1991	4,21	1,38	4,17	1,36
1992	4,49	1,79	4,58	1,67

Test de Wilcoxon ($\alpha=0,05$) : H_0 accepté.

H_0 : Égalité des moyennes annuelles des deux distributions.

H_0 : Égalité des écarts types des deux distributions.

H_1 : Inégalité des moyennes annuelles et(ou) des écarts types.

Exutoire - SO₄ (mg/L)

Année	Fréquence hebdomadaire		Fréquence aux deux semaines	
	Moyenne	Écart type	Moyenne	Écart type
1982	3,78	0,49	3,75	0,46
1983	4,14	0,45	4,08	0,45
1984	4,22	0,42	4,22	0,46
1985	4,71	0,46	4,73	0,42
1986	4,36	0,41	4,38	0,42
1987	4,32	0,52	4,31	0,52
1988	4,50	0,33	4,48	0,33
1989	4,36	0,42	4,36	0,30
1990	4,20	0,38	4,21	0,41
1991	3,82	0,48	3,85	0,51
1992	3,83	0,43	3,81	0,45

Test de Wilcoxon ($\alpha=0,05$) : H₀ accepté.

Exutoire - NO₃ (mgN/L)

Année	Fréquence hebdomadaire		Fréquence aux deux semaines	
	Moyenne	Écart type	Moyenne	Écart type
1982	0,14	0,11	0,14	0,11
1983	0,12	0,12	0,12	0,12
1984	0,10	0,11	0,10	0,12
1985	0,09	0,11	0,09	0,11
1986	0,07	0,10	0,07	0,10
1987	0,06	0,06	0,06	0,06
1988	0,07	0,08	0,07	0,09
1989	0,08	0,09	0,08	0,08
1990	0,07	0,07	0,07	0,07
1991	0,07	0,08	0,08	0,08
1992	0,07	0,07	0,07	0,07

Test de Wilcoxon ($\alpha=0,05$) : H₀ accepté.

H₀ : Égalité des moyennes annuelles des deux distributions.

H₀ : Égalité des écarts types des deux distributions.

H₁ : Inégalité des moyennes annuelles et(ou) des écarts types.

Tableau 8
Études comparatives des tendances temporelles au lac entre juin 1981 et mai 1993
selon deux fréquences d'échantillonnage

Paramètre	Fréquence hebdomadaire				Fréquence aux deux semaines			
	Tendance (test)	Pente	Valeur initiale	Valeur finale	Tendance (test)	Pente	Valeur initiale	Valeur finale
Alcalinité (mg/L)	B (KS)	-0,087	5,72	4,70	B (KS)	- 0,088	5,74	4,71
Ca (mg/L)	B (KS)	-0,006	2,41	2,34	B (KS)	- 0,005	2,41	2,35
Conductivité (μ S/cm)	B (KS)	-0,046	23,71	23,17	B (KS)	- 0,031	23,64	23,28
Cl (mg/L)	---	---	---	---	---	---	---	---
Couleur* (unité Hazen)	---	---	---	---	---	---	---	---
Fe (mg/L)	H (KS)	0,004	0,109	0,156	H (KS)	0,004	0,108	0,159
H (μ g/L)	B (HS)	-0,016	0,499	0,310	B (KS)	- 0,017	0,509	0,309
K (mg/L)	---	---	---	---	---	---	---	---
Mg (mg/L)	---	---	---	---	---	---	---	---
Mn ^{***} (mg/L)	---	---	---	---	---	---	---	---
Na (mg/L)	---	---	---	---	---	---	---	---
NO ₃ (mgN/L)	B (KS)	-0,002	0,085	0,063	B (KS)	- 0,002	0,087	0,060
P total**** (mg/L)	H (KS)	0,002	0,008	0,015	---	---	---	---
pH	H (HS)	0,013	6,37	6,52	H (HS)	0,015	6,36	6,53
SO ₄ (mg/L)	---	---	---	---	---	---	---	---
Zn (mg/L)	H (HS)	0,000 1	0,004	0,006	---	---	---	---

* Série qui commence en juin 1982. ** Série qui commence en juin 1984. *** Série qui commence en juillet 1988.
 B : Baisse. H : Hausse. KS : Kendall saisonnier. HS : Hirsch et Slack. SL : Spearman et Lettenmaier.

Tableau 9
Études comparatives des tendances temporelles au lac entre juin 1986 et mai 1993
selon deux fréquences d'échantillonnage

Paramètre	Fréquence hebdomadaire				Fréquence aux deux semaines			
	Tendance (test)	Pente	Valeur initiale	Valeur finale	Tendance (test)	Pente	Valeur initiale	Valeur finale
Al (mg/L)	--- (SL)	---	---	---	--- (SL)	---	---	---
Alcalinité (mg/L)	B (KS)	-0,024	5,01	4,84	B (KS)	-0,027	5,03	4,84
Ca (mg/L)	--- (KS)	---	---	---	--- (KS)	---	---	---
Conductivité (μ S/cm)	B (KS)	-0,125	23,58	22,74	B (KS)	-0,079	23,45	22,92
Cl (mg/L)	--- (KS)	---	---	---	--- (KS)	---	---	---
Couleur (unité Hazen)	--- (KS)	---	---	---	--- (SL)	---	---	---
Fe (mg/L)	--- (KS)	---	---	---	H (KS)	0,006	0,119	0,162
H (μ g/L)	--- (KS)	---	---	---	--- (KS)	---	---	---
K (mg/L)	H (KS)	0,008	0,177	0,229	H (KS)	0,007	0,177	0,224
Mg (mg/L)	--- (KS)	---	---	---	--- (KS)	---	---	---
Mn (mg/L)	--- (KS)	---	---	---	--- (KS)	---	---	---
Na (mg/L)	--- (KS)	---	---	---	--- (KS)	---	---	---
NO ₃ (mgN/L)	H (KS)	0,006	0,045	0,084	H (KS)	0,005	0,046	0,081
pH	--- (HS)	---	---	---	--- (HS)	---	---	---
SO ₄ (mg/L)	B (HS)	-0,108	4,52	3,79	B (HS)	-0,114	4,55	3,78
Zn (mg/L)	--- (KS)	---	---	---	H (KS)	0,0001	0,005	0,006

B : Baisse. H : Hausse. KS : Kendall saisonnier. HS : Hirsch et Slack. SL : Spearman et Lettenmaier.

juin 1986 et mai 1993, des tendances à la hausse des concentrations de fer et de zinc étaient détectées avec un échantillonnage aux deux semaines et ne l'étaient pas à une fréquence hebdomadaire.

Un échantillonnage aux deux semaines entraînait une modification dans le calcul des charges exportées à l'exutoire, qui à son tour pouvait entraîner des différences dans les charges totales exportées mensuellement ou annuellement à l'exutoire ainsi que dans les tendances temporelles des charges exportées. Initialement, les charges étaient obtenues en multipliant une concentration moyenne (mesures de deux semaines consécutives) par le volume d'eau écoulé à l'exutoire au cours de cette semaine. Pour des fins de comparaison, les charges ont aussi été calculées en multipliant une concentration moyenne (deux mesures à deux semaines d'intervalle) par le volume d'eau écoulé au cours de ces deux semaines. Les charges annuelles du calcium, des sulfates, de l'alcalinité et des nitrates calculées selon les deux fréquences ont été soumises à des tests statistiques de comparaison. Pour les charges annuelles des quatre paramètres, le test de Wilcoxon a démontré qu'il n'y avait aucune différence significative entre les deux distributions (tableau 10). Des différences importantes sont toutefois notées pour certaines années. Pour les sulfates, une différence de 16,9 p. 100 est notée entre les charges annuelles de 1990 des deux distributions. Pour l'alcalinité, une différence de 13,3 p. 100 est notée en 1986 et de 10,5 p. 100 en 1992. Dans le cas des nitrates, une différence de plus de 20 p. 100 est notée en 1990. Pour les charges mensuelles ($n=139$), le test t ($\alpha=0,05$) pour échantillons appariés a permis de conclure que les deux fréquences pour calculer les charges mensuelles donnaient des résultats semblables pour les quatre paramètres. Les plus grandes différences dans les charges mensuelles des deux distributions sont notées au printemps (figures 8 et 9).

Les résultats des tendances temporelles des charges mensuelles exportées à l'exutoire (juin 1981 à mai 1992 et juin 1986 et mai 1992) ont été comparés pour les deux fréquences (annexe 7). Les résultats montraient des différences notables dans la présence de tendance. En effet, pour les nitrates, une tendance était détectée entre juin 1981 et mai 1992 pour la série des charges mensuelles calculées à partir d'une fréquence hebdomadaire, mais ne l'était pas pour la série aux deux semaines (annexe 7). Le contraire se présentait entre juin 1986 et mai 1992 où une tendance était présente pour la série des charges mensuelles de nitrates cal-

Tableau 10
Étude comparative des charges annuelles à l'exutoire
du lac Laflamme calculées à partir de deux fréquences d'échantillonnage

Calcium (kg/ha)

Année	Fréquence hebdomadaire	Fréquence aux deux semaines
	Charge annuelle	Charge annuelle
1982	15,74	16,51
1983	18,07	17,99
1984	15,03	15,40
1985	16,72	16,56
1986	20,23	21,41
1987	14,04	13,58
1988	16,49	16,37
1989	12,18	13,27
1990	16,61	16,83
1991	16,31	15,83
1992	14,99	15,81

Test de Wilcoxon ($\alpha=0,05$) : H_0 accepté.

Sulfates (kg/ha)

Année	Fréquence hebdomadaire	Fréquence aux deux semaines
	Charge annuelle	Charge annuelle
1982	26,80	26,53
1983	38,82	38,06
1984	34,18	33,97
1985	38,21	37,92
1986	43,59	44,48
1987	30,64	29,50
1988	37,23	37,33
1989	27,45	30,36
1990	30,35	35,48
1991	28,74	29,78
1992	27,98	28,40

Test de Wilcoxon ($\alpha=0,05$) : H_0 accepté.

H_0 : Égalité des charges annuelles des deux distributions.

H_1 : Inégalité des charges annuelles des deux distributions.

Alcalinité (kg/ha)

Année	Fréquence hebdomadaire	Fréquence aux deux semaines
	Charge annuelle	Charge annuelle
1982	31,37	33,22
1983	33,44	34,23
1984	25,45	25,93
1985	29,87	27,94
1986	31,29	35,45
1987	27,03	26,80
1988	27,47	26,52
1989	20,40	21,35
1990	27,01	27,56
1991	28,54	27,93
1992	25,48	28,16

Test de Wilcoxon ($\alpha=0,05$) : H_0 accepté.

Nitrates (kg/ha)

Année	Fréquence hebdomadaire	Fréquence aux deux semaines
	Charge annuelle	Charge annuelle
1982	1,21	1,14
1983	1,14	1,12
1984	0,92	0,96
1985	0,90	0,85
1986	0,59	0,59
1987	0,43	0,38
1988	0,48	0,49
1989	0,58	0,62
1990	0,49	0,60
1991	0,75	0,76
1992	0,55	0,56

Test de Wilcoxon ($\alpha=0,05$) : H_0 refusé.

H_0 : Égalité des charges annuelles des deux distributions.

H_1 : Inégalité des charges annuelles des deux distributions.

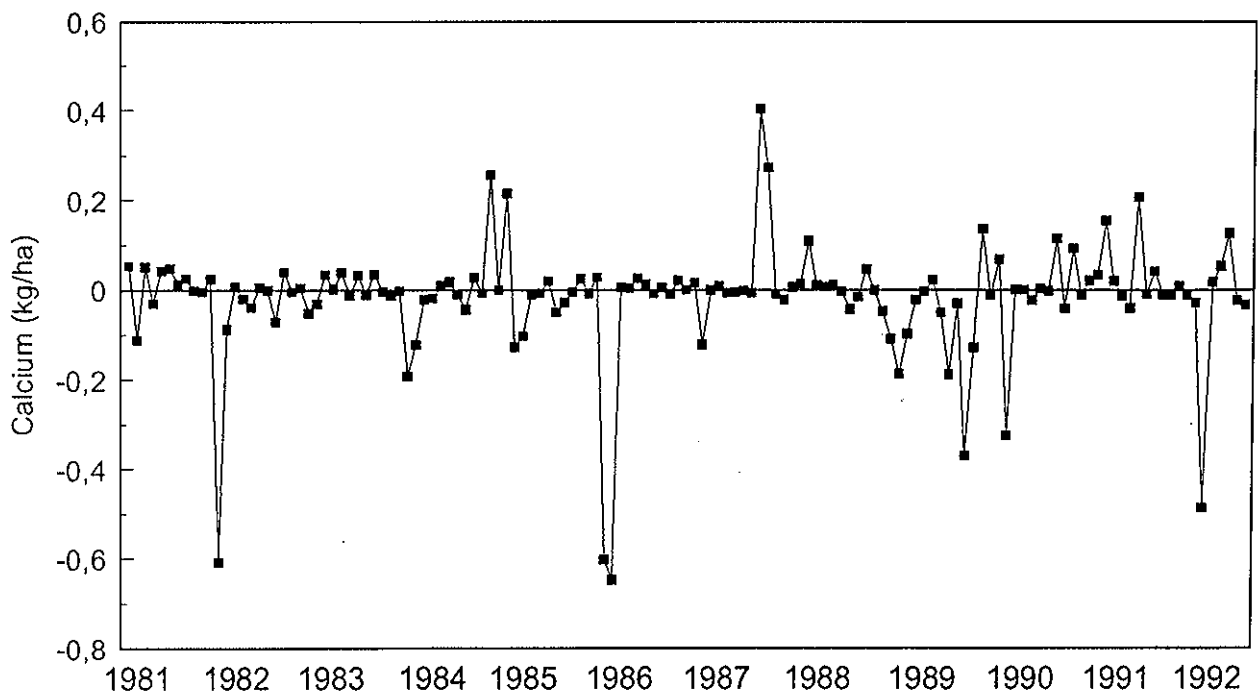
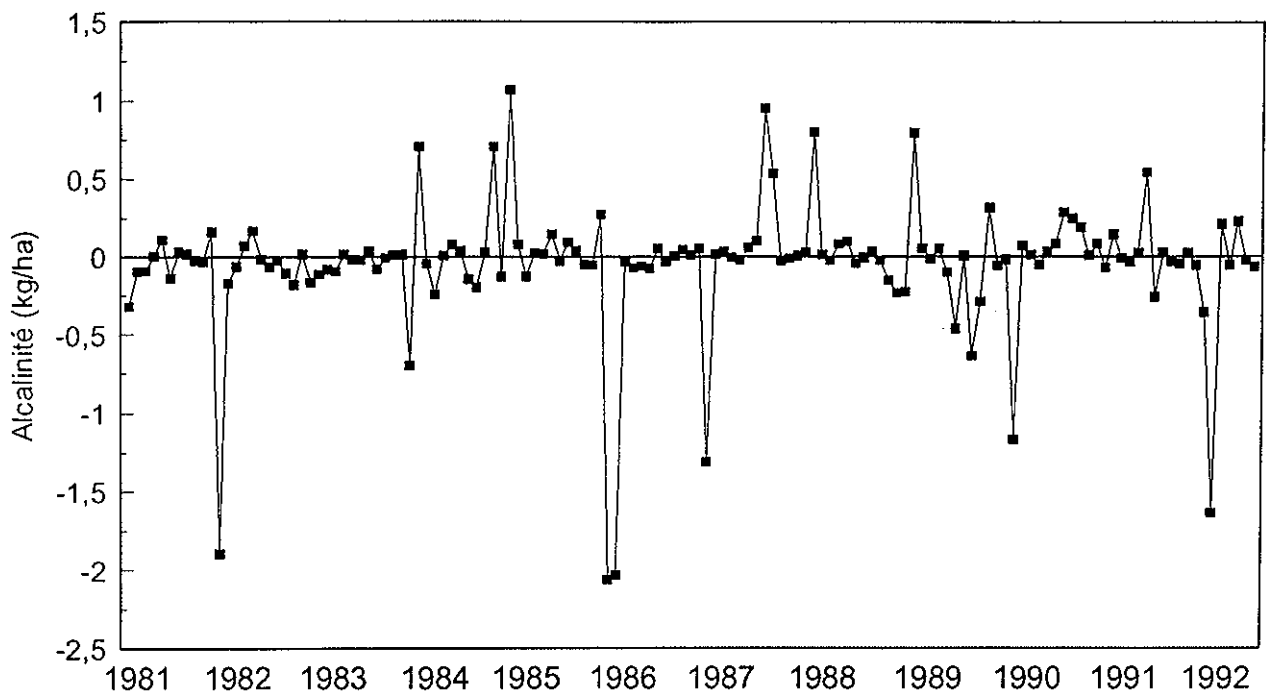


Figure 8 Différences entre les charges mensuelles pour l'alcalinité et le calcium à l'exutoire du lac Laflamme calculées à partir d'une fréquence d'échantillonnage hebdomadaire et aux deux semaines

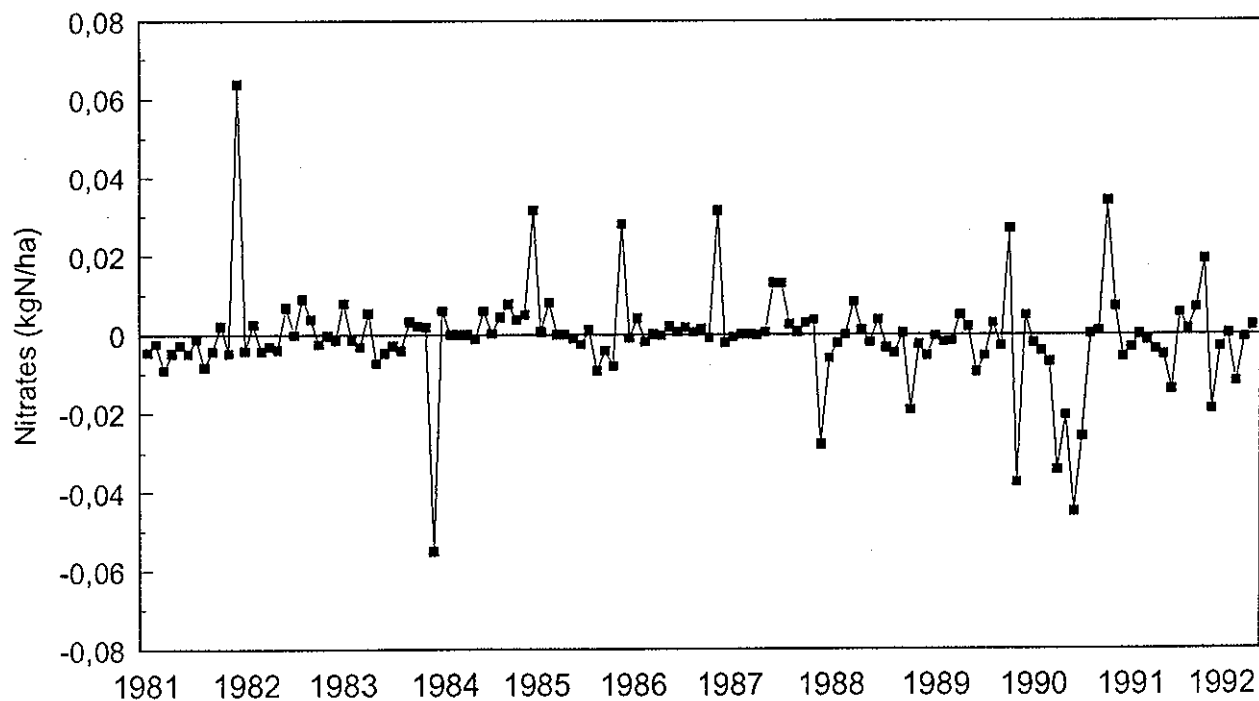
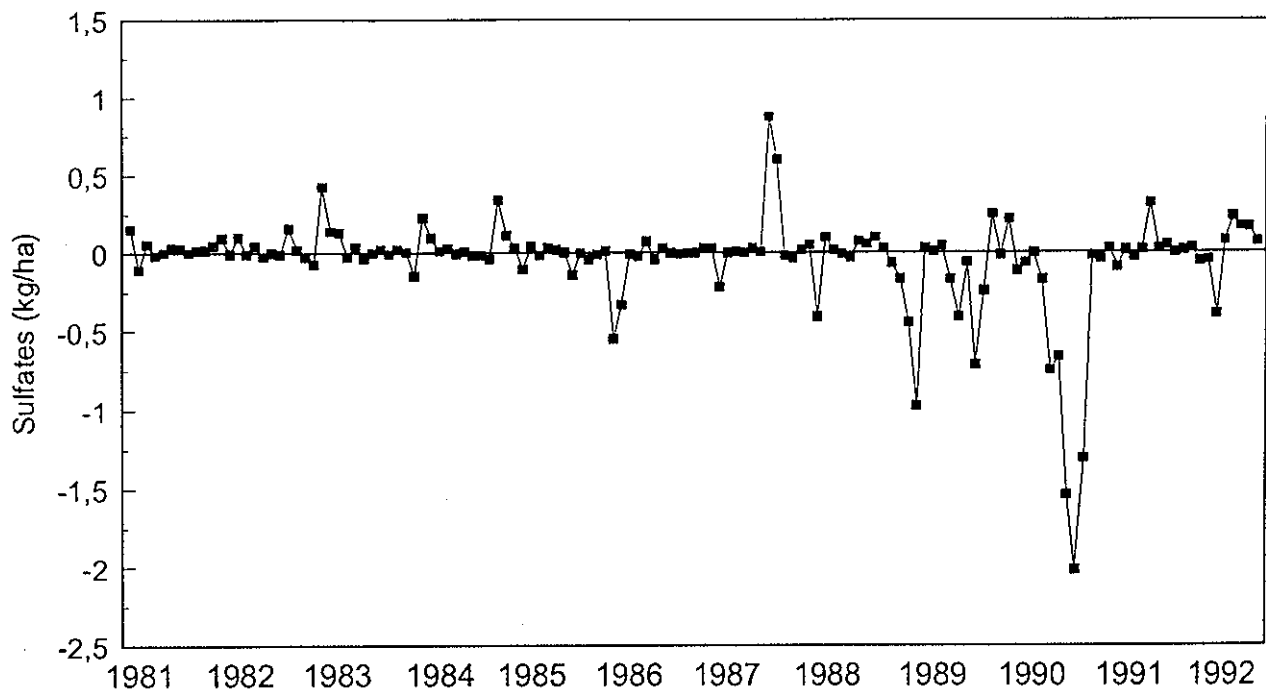


Figure 9 Différences entre les charges mensuelles des sulfates et des nitrates à l'exutoire du lac Laflamme calculées à partir d'une fréquence d'échantillonnage hebdomadaire et aux deux semaines

culées à partir d'un échantillonnage aux deux semaines sans qu'elle ne soit détectée pour la fréquence hebdomadaire. Entre juin 1986 et mai 1992, une tendance était détectée pour les charges mensuelles de sulfates calculées à partir d'une fréquence d'échantillonnage hebdomadaire et ne l'était pas pour la fréquence aux deux semaines.

Une réduction de moitié de la fréquence d'échantillonnage avait des conséquences importantes au niveau des charges mais influençait moins les concentrations. Pour pallier à ces différences, une fréquence d'échantillonnage aux deux semaines pouvait être concevable au cours de l'année sauf au printemps où une fréquence plus serrée permettrait de cerner les phénomènes de la fonte qui se produisent dans un court laps de temps. En incluant les données de la fonte printanière, les différences significatives identifiées dans l'étude comparative en ce qui a trait aux charges diminueraient sans doute.

6 Conclusion

Le lac Laflamme, tout comme plusieurs autres sites en Amérique du nord, enregistraient des baisses des concentrations lacustres de sulfates. Toutefois, malgré les diminutions des concentrations de sulfates, plusieurs lacs du Québec, y compris le lac Laflamme, enregistraient des baisses d'alcalinité et(ou) de pH (Clair *et al.*, 1995). Une telle situation était aussi observée dans les lacs de la région de Sudbury en Ontario où aucune évidence de récupération du pH ou de l'alcalinité n'a été constatée depuis 1987 suite aux diminutions des concentrations lacustres de sulfates (McNicol et Mallory, 1994). Dans la plupart des lacs échantillonnés au Québec et dans la région de Sudbury, on a remarqué que les diminutions des concentrations des sulfates étaient compensées en grande partie par des diminutions des concentrations de calcium et de magnésium.

Dans la région des Adirondack aux États-Unis, le manque de récupération de l'alcalinité des eaux de surface était expliqué en partie par une acidification par les nitrates (Driscoll et Van Dreason, 1993). Le lac Laflamme a aussi montré des signes d'acidification par les nitrates, particulièrement entre juin 1986 et mai 1992. Par contre, au cours de la dernière année hydrologique (1992-1993), l'importance de l'acidification par les nitrates au bassin du lac Laflamme a diminué.

Les pluies abondantes de l'été 1992, ont aussi contribué à l'absence de récupération de l'alcalinité des eaux du lac. En effet, suite à ces pluies, un phénomène de dilution s'est produit dans le lac et a entraîné une diminution de 15 p. 100 de l'alcalinité du lac en 1992-1993 par rapport à l'alcalinité moyenne.

On remarque que plusieurs lacs dans l'est de l'Amérique du nord semblent encore sensibles aux dépositions acides et que les réductions des émissions de SO₂ et(ou) de NO_x ne sont probablement pas suffisantes pour permettre une récupération notable de l'acidification des lacs.

RÉFÉRENCES

- Bouchard, A. (1994). *Effet des programmes de réduction des émissions de SO₂ sur la qualité des eaux de surface du Québec méridional*. Environnement Canada, Conservation et Protection, Centre Saint-Laurent.
- Clair, T.A., P.J. Dillon, J. Ion, D.S. Jeffries, M. Papineau, R.J. Vet (1995). «Regional precipitation and surface water chemistry trends in southeastern Canada (1983-1991).» *Can. J. Fish, Aquat. Sci.*, (sous presse)
- Cluis, D.A., C. Laberge, C. Houle (1988). *Détection des tendances et dépassement de normes en qualité de l'eau*. Institut National de la Recherche Scientifique (INRS-Eau), Ste-Foy, Québec.
- Couture, S. (1994). *Réaction du bassin versant du lac Laflamme aux changements dans la qualité des précipitations entre juin 1981 et mai 1992*. Environnement Canada, Conservation et Protection, région du Québec, Centre Saint-Laurent.
- Couture, S. (1992). *Étude sur la réponse du bassin versant du lac Laflamme aux précipitations acides: juin 1981 - mai 1990*. Environnement Canada, Conservation et Protection, région du Québec, Centre Saint-Laurent.
- Couture, S. (1990). *Les études sur le bilan ionique du lac Laflamme : 1987-1990*. Environnement Canada, Conservation et Protection, région du Québec, Centre Saint-Laurent.
- Dillon, P.J., B.D. Lazerte (1992). «Response of the Plastic Lake catchment, Ontario, to reduced sulphur deposition.» *Environ. Pollut.*, 77: 211-217.
- Driscoll, C.T., R. Van Dreason (1993). «Seasonal and long-term temporal patterns in the chemistry of Adirondack lakes.» *Water, Air and Soil Pollution*, 67: 319-344.
- Dupont, J. (1992). *Effets des réductions des émissions de SO₂ sur la qualité de l'eau des lacs de la région de Rouyn-Noranda*. Ministère de l'Environnement du Québec, Direction de la qualité des cours d'eau, rapport QEN/PA-43/1.
- Environnement Canada (1991). *Rapport annuel sur les ententes fédérales-provinciales concernant le programme de lutte contre les pluies acides dans l'est du Canada*. Environnement Canada.

- Houle, D., R. Carignan (1994). «Control of long term S fluxes by SO₄ adsorption and desorption reactions in a coniferous catchment of the Canadian Shield.» Soumis à *Biogeochemistry*.
- Kahl, J.S., S.A. Norton (1993). «Experimental inducement of nitrogen saturation at the watershed scale.» *Environ. Sci. Technol.*, 27, (3): 565-568.
- Kelso, J.R.M., D.S. Jeffries (1988). «Response of headwater lakes to varying atmospheric deposition in north-central Ontario, 1979-85.» *Can. J. Aquat. Sci.*, 45: 1905-1911.
- McNicol D.K., M.L. Mallory (1994). «Trends in small lake chemistry near Sudbury, Canada, 1983-1991.» *Water, Air and Soil Pollution*, 73: 105-120.
- Newell A.D. (1993). Inter-regional comparison of patterns and trends in surface water acidification across United States.» *Water, Air and Soil Pollution*, 67: 257-280.
- Sirois A. (1993). «Temporal variation of sulphate and nitrate concentration in precipitation in eastern north America:1979-1990.» *Atmospheric Environment*, 27A, (6): 945-963.
- U.S. Environmental Protection Agency (1993). «EPA and Chicago Board of Trade announce results of first acid rain allowance auctions.» *Environmental News*, p. 4.
- Vet, R.J., W.B. Sukloff, M.E. Still, C.S. McNair, J.B.Martin, W.F. Kobelka et A.J. Gaudenzi (1989). *Canadian Air and Precipitation Monitoring Network (CAPMoN), Precipitation Chemistry Data Summary 1987*. Environnement Canada, Service de l'environnement atmosphérique, Division de la surveillance et de l'évaluation de la qualité de l'air.

ANNEXES

1. Moyennes annuelles pondérées et dépôts annuels des paramètres analysés pour les précipitations

A. Moyennes annuelles pondérées

Années	pH	H ($\mu\text{g/L}$)	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)	Na (mg/L)	K (mg/L)	NH ₄ (mgN/L)	SO ₄ (mg/L)	Cl (mg/L)	NO ₃ (mgN/L)
1981-1982	4,40	39,4	0,09	0,01	0,10	0,02	0,12	1,64	0,15	0,25
1982-1983	4,51	31,1	0,06	0,01	0,06	0,02	0,12	1,38	0,12	0,20
1983-1984*	4,41	38,7	0,18	0,03	0,16	0,03	0,22	1,83	0,31	0,29
1984-1985	4,29	51,2	0,14	0,02	0,06	0,02	0,18	2,02	0,19	0,34
1985-1986	4,45	35,8	0,06	0,01	0,02	0,01	0,15	1,29	0,09	0,26
1986-1987	4,42	37,7	0,06	0,01	0,03	0,01	0,17	1,32	0,06	0,29
1987-1988	4,44	36,7	0,07	0,02	0,04	0,02	0,17	1,38	0,07	0,32
1988-1989	4,40	39,9	0,12	0,03	0,04	0,02	0,21	1,58	0,08	0,35
1989-1990	4,45	35,5	0,08	0,03	0,05	0,02	0,20	1,38	0,09	0,32
1990-1991	4,53	29,2	0,09	0,02	0,04	0,02	0,16	1,16	0,08	0,26
1991-1992	4,47	33,9	0,05	0,01	0,03	0,02	0,17	1,24	0,08	0,26
Moyenne	4,43**	36,8	0,09	0,02	0,06	0,02	0,17	1,46	0,12	0,28
1981	4,56	27,6	0,09	0,01	0,08	0,02	0,13	1,44	0,08	0,20
1982	4,38	41,5	0,07	0,01	0,08	0,02	0,15	1,77	0,17	0,26
1983*	4,51	31,1	0,11	0,02	0,06	0,02	0,16	1,40	0,16	0,19
1984	4,35	44,2	0,16	0,02	0,03	0,03	0,20	2,06	0,29	0,30
1985	4,33	46,5	0,09	0,02	0,03	0,02	0,18	1,75	0,10	0,31
1986	4,48	33,1	0,05	0,01	0,02	0,01	0,14	1,15	0,06	0,22
1987	4,48	33,2	0,06	0,01	0,03	0,02	0,17	1,44	0,05	0,25
1988	4,38	41,7	0,10	0,03	0,05	0,02	0,23	1,77	0,09	0,34
1989	4,47	33,3	0,10	0,03	0,05	0,03	0,17	1,32	0,09	0,29
1990	4,51	30,7	0,09	0,02	0,05	0,03	0,19	1,24	0,08	0,27
1991	4,46	34,7	0,06	0,01	0,03	0,01	0,17	1,30	0,08	0,27
1992	4,46	34,3	0,05	0,02	0,04	0,02	0,19	1,30	0,10	0,24
Moyenne	4,44**	36,2	0,09	0,02	0,05	0,02	0,17	1,50	0,11	0,26

* Changement du réseau APN au réseau RECPA en juillet 1983.

** Moyenne du pH calculée à partir des concentrations de H⁺.

B. Dépôts atmosphériques annuels

Année	Hauteur des précipi- tations (m)	Charges (kg/ha)								
		SO ₄	N-NO ₃	N-NH ₄	Cl	Ca	Na	H ⁺	K	Mg
1981	1,33	19,4	2,91	1,77	1,12	1,25	1,22	0,38	0,27	0,19
1982	1,20	21,1	3,36	1,74	2,11	0,93	1,07	0,50	0,22	0,13
1983	1,62	24,0	3,17	2,44*	2,94*	1,91	0,77*	0,52	0,39	0,26
1984	1,13	23,2	3,66	2,27	1,99*	1,55*	0,71*	0,51	0,30	0,27
1985	1,28	23,1	4,12	2,32	1,35	1,15	0,39	0,62	0,21	0,21
1986	1,55	18,4	3,49	2,30	0,90	0,83	0,34	0,53	0,20	0,19
1987	1,12	16,5	2,86	2,01	0,60	0,68	0,29	0,38	0,21	0,14
1988	1,37	24,6	4,73	3,20	1,19	1,39	0,62	0,58	0,30	0,35
1989	1,15	14,4	3,21	1,92	0,93	1,04	0,51	0,36	0,28	0,30
1990	1,51	16,7	3,63	2,52	1,07	1,18	0,63	0,41	0,34	0,30
1991	1,25	15,4	3,22	1,97	0,87	0,77	0,33	0,41	0,17	0,17
1992	1,29	17,3	3,22	2,49	1,27	0,70	0,45	0,46	0,23	0,20
Moyenne	1,32	19,6	3,47	>2,25	>1,36	>1,12	>0,61	0,47	0,26	0,23
1981-1982	1,12	18,3	2,98	1,69	1,51	0,95	0,95	0,43	0,20	0,13
1982-1983	1,56	22,6	3,26	2,23	1,86	0,95	0,89	0,52	0,30	0,15
1983-1984	1,30	23,3	4,05	2,85*	3,53*	2,43*	0,90*	0,47	0,38	0,34
1984-1985	1,21	27,0	4,38	2,41	1,19*	1,30*	0,49*	0,66	0,28	0,23
1985-1986	1,34	18,3	3,46	2,12	1,20	0,83	0,33	0,48	0,20	0,18
1986-1987	1,30	16,4	2,83	2,04	0,67	0,72	0,29	0,44	0,16	0,16
1987-1988	1,25	17,6	3,99	2,23	0,89	0,86	0,50	0,46	0,27	0,22
1988-1989	1,40	23,6	4,45	2,98	1,06	1,46	0,49	0,55	0,32	0,34
1989-1990	1,23	15,1	3,15	2,28	0,96	0,90	0,60	0,37	0,29	0,27
1990-1991	1,47	15,3	3,84	2,13	1,14	1,21	0,55	0,42	0,27	0,27
1991-1992	1,21	16,7	3,08	2,25	1,05	0,67	0,41	0,43	0,19	0,18
Moyenne	1,31	19,5	3,59	>2,29	>1,37	>1,12	>0,58	0,48	0,26	0,22

* Résultats partiels lorsque moins de 50 p. 100 de la hauteur de précipitation ont été analysés.

2. Données de laboratoire sur les paramètres chimiques du lac, de l'exutoire et des eaux souterraines du bassin versant du lac Laflamme en 1992 et 1993

A. Lac

Date	pH	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)	Na (mg/L)	K (mg/L)	AlcG (mg/L)	SO ₄ (mg/L)	Cl (mg/L)	NO ₃ (mgN/L)	P (mg/L)	Cond. (μ S/cm)	Coul. (unité)	Al (mg/L)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	Zn (mg/L)	
1992																	
6	2	6,7	2,0	0,43	0,7	0,28	3,97	3,2	0,2	0,00	0,019	19	0,092	0,168	0,010	0,005	
9		6,7	2,0	0,44	0,7	0,26	3,85	3,3	0,3	0,00	0,013	19	0,087	0,092	0,007	0,003	
16		6,6	1,9	0,43	0,7	0,28	3,96	3,3	0,3	0,00	0,015	19	0,086	0,094	0,006	0,004	
25		7,1	1,9	0,45	0,7	0,25	5,15	3,3	0,3	0,00	0,015	19	0,090	0,098	0,008	0,004	
7	2	6,8	2,0	0,46	0,8	0,29	4,02	3,4	0,3	0,02	0,013	20	0,087	0,189	0,008	0,004	
7		6,7	2,0	0,50	0,7	0,33	4,06	4,0	0,4	0,00	0,011	21	0,094	0,095	0,008	0,003	
14		6,7	1,9	0,42	0,8	0,25	3,46	3,4	0,5	0,02	0,013	19	0,103	0,092	0,008	0,005	
21		6,5	1,8	0,39	0,7	0,17	3,16	3,5	0,3	0,02	0,015	17	0,122	0,098	0,009	0,005	
27		6,7	1,9	0,45	0,8	0,24	3,39	3,7	0,4	0,02	0,009	19	0,123	0,107	0,010	0,004	
8	4	6,6	1,9	0,44	0,7	0,16	3,17	3,4	0,2	0,00	0,014	18	0,114	0,127	0,011	0,005	
11		6,5	1,8	0,39	0,7	0,12	2,96	3,4	0,3	0,00	0,009	18	0,124	0,130	0,011	0,004	
18		6,5	2,0	0,44	0,8	0,13	3,47	3,6	0,3	0,00	0,008	18	0,119	0,146	0,010	0,004	
25		6,6	1,8	0,42	0,7	0,13	3,02	3,4	0,3	0,03	0,000	20	0,111	0,121	0,010	0,006	
9	1	6,7	1,9	0,45	0,7	0,17	3,55	3,1	0,4	0,02	0,007	20	0,105	0,172	0,011	0,005	
8		6,6	2,1	0,47	0,9	0,24	3,94	3,4	0,3	0,04	0,009	20	0,101	0,162	0,010	0,005	
15		6,7	2,1	0,48	0,8	0,20	4,22	3,7	0,3	0,02	0,009	20	0,093	0,184	0,010	0,004	
22		6,6	2,1	0,47	0,8	0,15	4,18	3,7	0,3	0,00	0,011	20	0,098	0,151	0,010	0,005	
29		6,4	2,1	0,43	0,8	0,16	3,42	4,1	0,3	0,02	0,007	20	0,130	0,154	0,011	0,004	

Date	pH	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)	Na (mg/L)	K (mg/L)	AlcG (mg/L)	SO ₄ (mg/L)	Cl (mg/L)	NO ₃ (mgN/L)	P (mg/L)	Cond. (µS/cm)	Coul. (unité)	Al (mg/L)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	Zn (mg/L)	
1992																	
10	6,6	2,1	0,47	0,8	0,17	3,83	3,7	0,5	0,02	0,008	21	30	0,122	0,136	0,009	0,004	
13	6,6	2,2	0,48	0,8	0,18	3,83	3,7	0,7	0,03	0,010	21	33	0,114	0,120	0,009	0,004	
20	6,6	2,2	0,49	0,9	0,19	3,91	4,0	0,4	0,03	0,006	21	30	0,117	0,112	0,008	0,004	
27	6,5	2,2	0,46	1,0	0,31	3,87	4,0	0,6	0,04	0,009	22	28	0,113	0,115	0,008	0,005	
11	3	6,6	2,3	0,48	0,22	4,04	3,8	0,4	0,03	0,011	22	28	0,114	0,108	0,007	0,005	
9	6,7	2,3	0,49	0,9	0,21	4,52	3,7	0,4	0,04	0,008	23	29	0,112	0,103	0,007	0,005	
17	6,6	2,4	0,48	1,0	0,22	4,09	4,1	0,5	0,05	0,011	23	28	0,104	0,110	0,008	0,005	
24	6,4	2,4	0,52	1,0	0,30	4,42	4,1	0,5	0,06	0,012	22	26	0,109	0,114	0,008	0,005	
12	1	6,5	2,4	0,52	0,17	4,81	4,2	0,3	0,07	0,010	23	24	0,105	0,139	0,009	0,004	
8	6,3	2,6	0,55	0,9	0,11	4,75	4,5	0,2	0,07	0,006	24	26	0,104	0,100	0,010	0,004	
15	6,6	2,6	0,55	0,9	0,13	5,46	4,0	0,3	0,04	0,007	25	23	0,101	0,115	0,011	0,007	
22	6,6	2,6	0,55	1,0	0,13	5,42	4,1	0,3	0,06	0,008	25	23	0,099	0,098	0,011	0,005	
29	6,5	2,7	0,54	1,0	0,14	5,61	3,8	0,3	0,07	0,007	24	19	0,098	0,116	0,011	0,005	
1993																	
1	6	6,5	2,7	0,58	1,3	5,74	4,0	0,8	0,04	0,008	28	24	0,098	0,123	0,013	0,006	
12	6,1	2,7	0,59	1,1	0,24	5,70	3,7	0,5	0,09	0,008	27	19	0,095	0,155	0,014	0,007	
19	6,3	2,8	0,60	1,1	0,30	6,28	3,6	0,5	0,08	0,007	27	19	0,096	0,277	0,017	0,008	
26	6,4	2,9	0,64	1,0	0,20	6,30	4,0	0,2	0,08	0,008	27	23	0,091	0,130	0,018	0,004	
2	2	6,3	2,8	0,59	1,3	5,93	4,0	0,6	0,10	0,009	27	23	0,094	0,167	0,017	0,015	
9	6,8	2,8	0,59	1,2	0,26	6,05	4,1	0,5	0,10	0,006	28	21	0,090	0,143	0,016	0,007	
16	6,8	2,8	0,61	1,7	0,52	6,76	4,1	1,3	0,14	0,008	32	21	0,091	0,273	0,022	0,011	
23	7,0	2,8	0,61	1,4	0,34	6,29	4,1	0,7	0,12	0,008	28	21	0,082	0,256	0,019	0,008	

Date	pH	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)	Na (mg/L)	K (mg/L)	AlcG (mg/L)	SO ₄ (mg/L)	Cl (mg/L)	NO ₃ (mgN/L)	P (mg/L)	Cond. (µS/cm)	Coul. (unité)	Al (mg/L)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	Zn (mg/L)	
1993																	
3	2	3,0	0,64	1,2	0,33	7,00	4,0	0,6	0,13	0,016	30	21	0,081	0,160	0,023	0,014	
9	6,7	2,9	0,61	1,2	0,32	7,18	4,3	0,5	0,15	0,042	29	17	0,080	0,154	0,025	0,008	
16	6,4	2,9	0,59	1,3	0,39	6,83	3,8	0,6	0,15	0,037	30	17	0,075	0,139	0,023	0,009	
24	6,8	3,3	0,77	1,1	0,24	8,99	3,9	0,3	0,15	0,007	31	21	0,076	0,188	0,033	0,006	
30	6,8	2,7	0,62	1,1	0,23	6,55	3,2	0,4	0,17	0,032	26	17	0,066	0,153	0,030	0,006	
4	6	3,0	0,70	1,2	0,30	7,38	3,6	0,4	0,20	0,017	30	26	0,067	0,169	0,034	0,006	
13	6,3	2,6	0,58	1,0	0,36	5,80	3,2	0,4	0,16	0,042	26	21	0,066	0,168	0,036	0,006	
20	6,1	2,4	0,54	0,9	0,41	4,80	3,1	0,2	0,09	0,032	25	35	0,080	0,204	0,042	0,009	
27	5,9	2,1	0,81	0,5	0,40	3,55	3,2	0,3	0,14	0,019	21	26	0,084	0,155	0,038	0,006	
5	4	2,0	0,61	0,6	0,43	3,25	3,2	0,4	0,07	0,030	19	33	0,000	0,000	0,000	0,000	
11	6,3	1,8	0,41	0,6	0,45	2,95	3,1	0,4	0,00	0,041	17	40	0,122	0,160	0,034	0,006	
18	6,3	1,8	0,38	0,7	0,54	2,63	2,4	0,5	0,00	0,031	19	44	0,168	0,143	0,026	0,018	
25	6,3	1,7	0,36	0,6	0,46	2,42	3,4	0,4	0,00	0,026	17	45	0,168	0,099	0,023	0,006	
31	6,4	1,7	0,36	0,6	0,12	2,30	2,8	0,4	0,00	0,020	17	42	0,159	0,088	0,019	0,006	

B. Exutoire

Date	pH	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)	Na (mg/L)	K (mg/L)	AlcG (mg/L)	SO ₄ (mg/L)	Cl (mg/L)	NO ₃ (mgN/L)	P (mg/L)	Cond. (µS/cm)	Coul. (unité)	Al (mg/L)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	Zn (mg/L)	
1992																	
6	2	1,9	0,41	0,7	0,28	3,45	3,2	0,2	0,00	0,017	18	23	0,097	0,093	0,010	0,003	
9	6,7	1,8	0,42	0,7	0,23	3,44	3,3	0,3	0,00	0,008	18	24	0,093	0,077	0,008	0,003	
16	6,7	1,8	0,41	0,7	0,23	3,44	3,3	0,3	0,00	0,008	18	20	0,094	0,085	0,010	0,002	

Date	pH	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)	Na (mg/L)	K (mg/L)	AlcG (mg/L)	SO ₄ (mg/L)	Cl (mg/L)	NO ₃ (mgN/L)	P (mg/L)	Cond. (µS/cm)	Coul. (unité)	Al (mg/L)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	Zn (mg/L)	
1992																	
6	25	1,8	0,44	0,7	0,22	4,85	3,4	0,2	0,02	0,009	18	22	0,091	0,083	0,010	0,004	
7	2	1,9	0,44	0,7	0,31	3,52	3,3	0,3	0,02	0,008	19	21	0,087	0,085	0,010	0,002	
7	7	1,8	0,43	0,7	0,21	3,60	3,5	0,3	0,02	0,008	19	22	0,091	0,075	0,008	0,002	
14	6,8	1,8	0,40	0,7	0,16	3,48	3,4	0,4	0,02	0,008	18	14	0,105	0,081	0,010	0,003	
21	6,5	1,7	0,38	0,7	0,15	2,85	3,7	0,3	0,02	0,009	17	31	0,123	0,084	0,010	0,003	
27	6,6	1,7	0,39	0,6	0,13	3,78	3,5	0,3	0,02	0,008	17	28	0,121	0,073	0,009	0,004	
8	4	1,8	0,41	0,6	0,13	3,75	3,3	0,3	0,00	0,009	17	32	0,121	0,089	0,009	0,006	
11	6,4	1,7	0,37	0,7	0,11	2,79	3,3	0,3	0,00	0,007	17	32	0,129	0,108	0,010	0,003	
18	6,4	1,9	0,44	0,7	0,12	3,63	3,6	0,2	0,00	0,006	18	27	0,122	0,111	0,011	0,003	
25	6,6	1,9	0,45	0,7	0,10	3,37	3,4	0,2	0,03	0,000	19	29	0,105	0,097	0,010	0,003	
9	1	1,9	0,43	0,6	0,11	3,35	3,2	0,3	0,02	0,004	19	28	0,105	0,136	0,008	0,003	
8	6,5	2,1	0,47	0,8	0,19	3,76	3,4	0,3	0,03	0,005	20	24	0,097	0,128	0,008	0,003	
15	6,8	2,0	0,45	0,8	0,11	3,73	3,7	0,3	0,02	0,004	20	24	0,100	0,130	0,007	0,003	
22	6,4	1,9	0,41	0,7	0,12	3,08	3,6	0,4	0,02	0,006	19	33	0,128	0,120	0,009	0,003	
29	6,4	2,0	0,42	0,7	0,11	3,06	4,2	0,2	0,02	0,004	19	35	0,131	0,122	0,009	0,003	
10	6	2,1	0,46	0,7	0,12	3,36	3,6	0,5	0,02	0,004	20	30	0,123	0,111	0,007	0,004	
13	6,6	2,1	0,46	0,8	0,12	3,44	3,7	0,5	0,03	0,004	19	33	0,116	0,106	0,007	0,003	
20	6,5	2,2	0,48	0,8	0,14	3,76	3,9	0,3	0,03	0,004	20	35	0,115	0,099	0,007	0,003	
27	6,6	2,1	0,45	0,8	0,15	3,58	4,1	0,4	0,03	0,008	21	28	0,116	0,097	0,006	0,003	
11	3	2,4	0,50	0,9	0,16	4,12	3,8	0,3	0,03	0,006	23	28	0,115	0,095	0,006	0,003	
9	6,8	2,4	0,49	0,8	0,14	4,37	4,0	0,3	0,05	0,006	22	26	0,115	0,093	0,006	0,003	

Date	pH	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)	Na (mg/L)	K (mg/L)	AlcG (mg/L)	SO ₄ (mg/L)	Cl (mg/L)	NO ₃ (mgN/L)	P (mg/L)	Cond. (µS/cm)	Coul. (unité)	Al (mg/L)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	Zn (mg/L)	
1992																	
17	6,6	2,3	0,46	0,8	0,14	3,85	4,2	0,3	0,09	0,006	22	24	0,108	0,081	0,007	0,003	
24	6,3	2,2	0,43	0,8	0,15	3,09	4,3	0,4	0,07	0,005	21	33	0,131	0,091	0,008	0,004	
12	1	2,4	0,48	0,9	0,16	4,86	4,4	0,4	0,07	0,005	22	28	0,120	0,086	0,009	0,004	
8	6,5	2,6	0,55	0,9	0,12	5,34	4,1	0,2	0,06	0,007	24	26	0,125	0,093	0,009	0,004	
15	6,5	2,7	0,56	1,0	0,12	5,44	4,8	0,2	0,05	0,007	26	27	0,130	0,093	0,010	0,004	
22	6,7	2,7	0,55	1,0	0,12	5,25	4,4	0,3	0,06	0,006	26	19	0,108	0,090	0,010	0,004	
1993																	
1	6,4	2,6	0,55	1,0	0,19	5,61	4,0	0,4	0,03	0,005	25	20	0,091	0,089	0,017	0,004	
12	6,2	2,6	0,55	0,9	0,18	4,74	3,6	0,5	0,08	0,005	25	16	0,093	0,101	0,016	0,005	
19	6,4	2,6	0,54	0,9	0,20	6,70	3,7	0,2	0,08	0,005	25	19	0,091	0,118	0,016	0,007	
26	6,3	2,7	0,58	1,0	0,20	5,56	4,1	0,2	0,09	0,005	26	19	0,087	0,136	0,022	0,006	
2	6,3	2,8	0,57	1,0	0,20	6,91	3,9	0,2	0,09	0,004	26	19	0,088	0,176	0,027	0,005	
9	6,8	2,8	0,57	1,0	0,21	6,34	4,1	0,4	0,09	0,005	27	17	0,091	0,207	0,025	0,005	
16	7,2	3,0	0,58	1,0	0,22	6,90	3,9	0,4	0,09	0,004	27	24	0,085	0,384	0,045	0,005	
23	6,6	3,0	0,58	1,0	0,21	7,35	3,9	0,3	0,07	0,005	26	24	0,080	0,393	0,043	0,004	
3	6,6	2,9	0,57	1,0	0,22	7,23	3,7	0,3	0,07	0,006	28	24	0,083	0,512	0,047	0,004	
9	6,9	2,9	0,54	1,0	0,23	7,23	4,2	0,3	0,06	0,005	27	24	0,080	0,598	0,050	0,005	
16	6,7	2,9	0,60	1,0	0,22	8,73	3,9	0,3	0,07	0,004	27	24	0,431	0,575	0,050	0,004	
24	6,8	2,9	0,60	1,0	0,22	7,75	3,6	0,3	0,08	0,005	27	24	0,079	0,508	0,043	0,004	
30	7,0	3,0	0,62	1,1	0,22	7,16	4,0	0,3	0,18	0,004	29	28	0,073	0,531	0,049	0,004	
4	6,7	2,9	0,62	1,1	0,21	6,65	3,9	0,3	0,17	0,004	28	22	0,064	0,345	0,036	0,004	

Date	pH	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)	Na (mg/L)	K (mg/L)	AlcG (mg/L)	SO ₄ (mg/L)	Cl (mg/L)	NO ₃ (mgN/L)	P (mg/L)	Cond. (μ S/cm)	Coul. (unité)	Al (mg/L)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	Zn (mg/L)	
1993																	
4 13	6,1	1,9	0,40	0,7	0,49	2,58	3,4	0,4	0,22	0,016	20	28	0,079	0,180	0,052	0,005	
20	5,1	1,1	0,23	0,3	0,66	0,04	2,9	0,2	0,06	0,032	15	32	0,114	0,101	0,046	0,004	
27	5,0	1,2	0,40	0,2	0,56	-0,09	3,2	0,3	0,07	0,013	15	44	0,147	0,099	0,047	0,005	
5 4	5,9	1,4	0,31	0,5	0,38	1,77	2,5	0,3	0,04	0,014	14	33	0,113	0,114	0,028	0,004	
11	6,2	1,6	0,38	0,6	0,40	2,60	3,0	0,4	0,02	0,014	16	40	0,129	0,130	0,027	0,004	
18	6,2	1,7	0,37	0,5	0,41	2,63	2,4	0,3	0,00	0,016	16	38	0,142	0,091	0,022	0,004	
25	6,2	1,7	0,36	0,5	0,39	2,11	3,1	0,4	0,00	0,010	16	45	0,147	0,070	0,019	0,004	
31	6,3	1,6	0,33	0,5	0,19	2,22	2,9	0,3	0,00	0,010	16	46	0,161	0,076	0,016	0,004	

C. Paramètres échantillonnés aux deux mois au lac

Date	COD (mg/L)	CID (mg/L)	SiO ₂ (mg/L)	NH ₄ (mgN/L)
1992-6-02	4,2	1,3	4,76	0,008
1992-7-27	5,4	0,8	4,12	0,004
1992-9-29	5,6	0,9	5,79	0,005
1992-11-24	4,5	1,4	7,58	0,027
1993-1-26	3,1	1,6	---	0,136
1993-3-24	2,7	2,4	---	0,011
1993-5-25	7,0	1,2	---	0,011

*D. Eaux souterraines**Puits 15 (profondeur : 2,9 m)*

An	Mois	Jour	pH (unité)	SO ₄ (mg/L)	NO ₃ (mgN/L)	Alc. G (mg/L)	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)	Na (mg/L)	K (mg/L)	Cl (mg/L)	Al (mg/L)	Fe (mg/L)
1992	7	21	6,59	4,0	0,81	3,33	2,83	0,29	0,72	0,21	0,3	0,068	0,011
1992	9	22	6,15	3,7	0,87	3,27	2,97	0,33	0,82	0,28	0,3	0,059	0,010
1992	11	17	5,31	4,0	1,05	2,79	3,02	0,31	0,83	0,27	0,4	0,071	0,015
1993	5	18	6,09	3,9	0,52	2,48	2,63	0,30	0,68	0,22	0,3	0,059	0,022

Puits 14 (profondeur : 2,8 m)

An	Mois	Jour	pH (unité)	SO ₄ (mg/L)	NO ₃ (mgN/L)	Alc. G (mg/L)	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)	Na (mg/L)	K (mg/L)	Cl (mg/L)	Al (mg/L)	Fe (mg/L)
1992	7	21	6,51	4,0	0,78	3,24	2,71	0,28	0,78	0,21	0,4	0,052	0,018
1992	9	22	6,14	3,9	0,68	3,61	2,85	0,33	0,95	0,31	0,4	0,050	0,010
1992	11	17	5,90	3,8	1,03	3,27	3,12	0,33	0,84	0,23	0,3	0,084	0,051
1993	5	18	5,80	4,2	0,63	2,84	2,69	0,31	0,91	0,23	0,5	0,049	0,012

Puits 80 (profondeur : 0,80 m)

An	Mois	Jour	pH (unité)	SO ₄ (mg/L)	NO ₃ (mgN/L)	Alc. G (mg/L)	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)	Na (mg/L)	K (mg/L)	Cl (mg/L)	Al (mg/L)	Fe (mg/L)
1992	7	21	5,27	4,4	0,03	0,64	0,8	0,2	0,4	0,27	0,24	0,431	0,057
1992	9	22	5,46	4,3	<0,02	0,52	1,1	0,2	0,6	0,21	0,16	0,357	0,135
1992	11	17	5,33	4,5	0,05	0,95	1,3	0,2	0,6	0,22	0,39	0,360	0,022
1993	5	18	5,15	3,7	0,04	0,24	0,9	0,2	0,4	0,11	0,29	0,480	0,022

Puits F1 (profondeur : 13 m)

An	Mois	Jour	pH (unité)	SO ₄ (mg/L)	NO ₃ (mgN/L)	Alc. G (mg/L)	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)	Na (mg/L)	K (mg/L)	Cl (mg/L)	Al (mg/L)	Fe (mg/L)
1992	7	21	7,34	3,2	0,02	44,61	8,63	3,42	3,28	0,53	0,6	0,022	3,530
1992	9	22	7,22	1,9	0,19	42,94	8,57	3,61	3,51	0,65	0,5	0,017	2,810
1992	11	17	7,19	2,6	0,03	46,89	9,01	3,68	3,19	0,56	0,5	0,019	3,060
1993	5	18	7,20	1,8	0,02	46,43	9,49	3,96	3,36	0,57	0,6	0,015	2,610

3. Caractéristiques des séries chronologiques des paramètres chimiques au centre et à l'exutoire du lac Laflamme

A. Lac

Période	Paramètre	Saisonnalité	Persistance	Tendance	Test	Valeur initiale	Valeur finale	Pente de la tendance (variation/an)
Juin 1988 à mai 1993	P total (mg/L)	Oui	Non	H	KS	0,008	0,015	0,002
Juin 1981 à mai 1993	Fe (mg/L)	Oui	Non	H	KS	0,109	0,156	0,004
Juin 1986 à mai 1993	Conductivité (μ S/cm)	Oui	Non	B	KS	23,58	22,74	-0,125
Juin 1986 à mai 1993	K (mg/L)	Oui	Non	H	KS	0,177	0,229	0,008

B. Exutoire

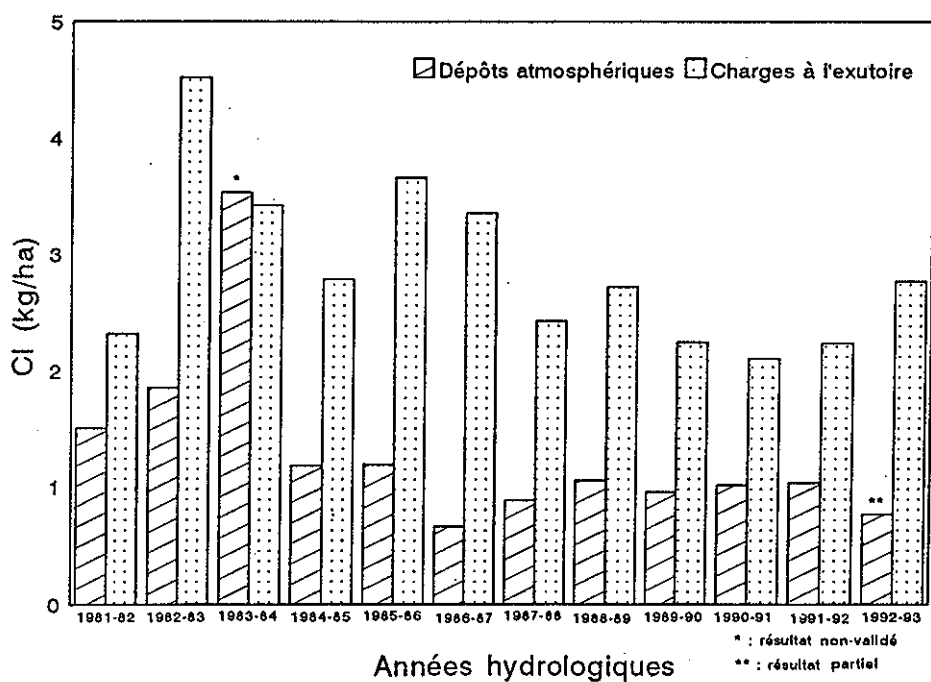
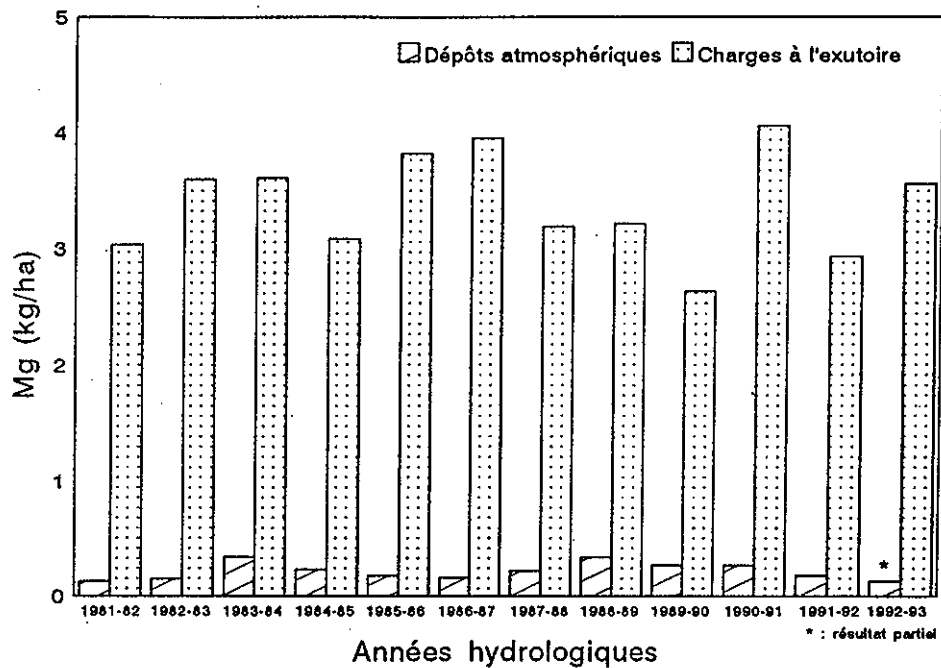
Période	Paramètre	Saisonnalité	Persistance	Tendance	Test	Valeur initiale	Valeur finale	Pente de la tendance (variation/an)
Juin 1981 à mai 1993	Fe (mg/L)	Oui	Non	H	KS	0,097	0,149	0,004
Juin 1986 à mai 1993	Fe (mg/L)	Oui	Non	H	KS	0,099	0,161	0,009
Juin 1986 à mai 1993	H (μ g/L)	Oui	Non	H	KS	0,314	0,669	0,053
Juin 1986 à mai 1993	Conductivité (μ S/cm)	Oui	Non	B	KS	21,79	21,59	-0,033
Juin 1986 à mai 1993	H (kg/ha)	Oui	Non	H	KS	ND	ND	ND
Juin 1981 à mai 1993	Écoulement	Oui	Non	---	KS	---	---	---
Juin 1986 à mai 1993	Écoulement	Oui	Non	---	KS	---	---	---

Légende. - B : baisse. H : hausse. KS : Kendall saisonnier. ND : non disponible.

4. Exportation (kh/ha/an) des paramètres chimiques à l'exutoire du lac Laflamme par année hydrologique

	SO ₄	Alcalinité	Ca	Na	Mg	Cl	K	NO ₃	Al	Fe	Mn	Zn	H
1981-1982	26,1	26,6	15,6	5,7	3,0	2,3	1,4	1,0	0,83	0,67	0,19	0,03	0,010
1982-1983	38,6	34,9	18,6	6,9	3,6	4,5	3,8	1,4	1,21	1,14	0,24	0,04	0,025
1983-1984	35,8	30,0	16,5	6,3	3,6	3,4	1,9	0,9	0,67	1,01	0,16	0,03	0,010
1984-1985	33,2	27,0	14,8	5,6	3,1	2,8	1,6	0,9	0,76	0,92	0,18	0,04	0,010
1985-1986	39,9	30,0	18,4	6,3	3,8	3,7	2,5	0,6	1,42	0,94	0,23	0,05	0,008
1986-1987	38,3	28,8	17,2	6,8	3,9	3,4	1,7	0,4	1,15	0,99	0,16	0,03	0,004
1987-1988	30,9	27,1	14,3	5,9	3,2	2,4	1,1	0,5	0,74	0,87	0,11	0,03	0,004
1988-1989	36,4	24,7	15,7	5,9	3,2	2,7	1,3	0,6	0,88	1,06	0,16	0,03	0,010
1989-1990	27,8	20,8	12,8	4,9	2,6	2,3	1,2	0,5	0,71	0,97	0,13	0,02	0,014
1990-1991	30,7	30,2	18,3	7,8	4,1	2,1	1,5	0,7	1,45	1,39	0,17	0,04	0,009
1991-1992	25,3	24,6	14,1	5,6	2,9	2,3	1,3	0,6	0,57	0,85	0,12	0,02	0,008
1992-1993	29,4	26,7	16,0	5,7	3,6	2,8	2,3	0,3	1,02	1,01	0,17	0,03	0,011
Moyenne	33,1	27,6	16,0	6,1	3,4	2,9	1,8	0,7	0,95	0,99	0,17	0,03	0,010

5. Bilan massique annuel du magnésium et des chlorures au bassin versant du lac Laflamme



6. Études comparatives des statistiques descriptives au lac et à l'exutoire entre 1982 et 1992 selon deux fréquences

Lac - Mg (mg/L)

Année	Fréquence hebdomadaire		Fréquence aux deux semaines	
	Moyenne	Écart type	Moyenne	Écart type
1982	0,54	0,10	0,54	0,10
1983	0,54	0,09	0,54	0,09
1984	0,53	0,11	0,52	0,11
1985	0,54	0,13	0,55	0,13
1986	0,53	0,09	0,53	0,09
1987	0,55	0,07	0,55	0,08
1988	0,53	0,09	0,52	0,09
1989	0,49	0,08	0,49	0,09
1990	0,52	0,08	0,52	0,08
1991	0,52	0,08	0,51	0,08
1992	0,51	0,07	0,51	0,08

Test de Wilcoxon ($\alpha=0,05$) : H_0 accepté.

Lac - Na (mg/L)

Année	Fréquence hebdomadaire		Fréquence aux deux semaines	
	Moyenne	Écart type	Moyenne	Écart type
1982	0,99	0,18	0,99	0,18
1983	0,90	0,17	0,90	0,19
1984	0,93	0,17	0,95	0,19
1985	0,96	0,24	0,94	0,24
1986	0,88	0,15	0,90	0,15
1987	0,99	0,15	0,99	0,13
1988	0,90	0,16	0,91	0,17
1989	0,88	0,13	0,87	0,13
1990	1,00	0,12	1,00	0,15
1991	1,03	0,20	1,01	0,18
1992	0,96	0,22	0,95	0,22

Test de Wilcoxon ($\alpha=0,05$) : H_0 accepté.

H_0 : Égalité des moyennes annuelles des deux distributions.

H_0 : Égalité des écarts types des deux distributions.

H_1 : Inégalité des moyennes annuelles et(ou) des écarts types.

Lac - P total (mg/L)

Année	Fréquence hebdomadaire		Fréquence aux deux semaines	
	Moyenne	Écart type	Moyenne	Écart type
1989	0,010	0,003	0,010	0,003
1990	0,012	0,005	0,012	0,005
1991	0,012	0,007	0,012	0,006
1992	0,013	0,006	0,013	0,007

Exutoire - Mg (mg/L)

	Fréquence hebdomadaire		Fréquence aux deux semaines	
	Moyenne	Écart type	Moyenne	Écart type
1982	0,50	0,09	0,50	0,08
1983	0,47	0,12	0,47	0,12
1984	0,48	0,10	0,48	0,10
1985	0,52	0,14	0,52	0,14
1986	0,49	0,10	0,49	0,09
1987	0,48	0,07	0,47	0,07
1988	0,47	0,08	0,46	0,08
1989	0,44	0,08	0,43	0,09
1990	0,46	0,08	0,46	0,08
1991	0,46	0,07	0,45	0,08
1992	0,47	0,09	0,48	0,08

Test de Wilcoxon ($\alpha=0,05$) : H_0 accepté.

H_0 : Égalité des moyennes annuelles des deux distributions.

H_0 : Égalité des écarts types des deux distributions.

H_1 : Inégalité des moyennes annuelles et(ou) des écarts types.

Exutoire - Na (mg/L)

Année	Fréquence hebdomadaire		Fréquence aux deux semaines	
	Moyenne	Écart type	Moyenne	Écart type
1982	0,96	0,19	0,97	0,17
1983	0,83	0,22	0,84	0,22
1984	0,88	0,19	0,88	0,18
1985	0,92	0,26	0,90	0,26
1986	0,83	0,19	0,83	0,19
1987	0,90	0,14	0,89	0,15
1988	0,85	0,14	0,83	0,15
1989	0,81	0,13	0,80	0,15
1990	0,91	0,16	0,91	0,16
1991	0,90	0,14	0,90	0,15
1992	0,86	0,22	0,87	0,20

Test de Wilcoxon ($\alpha=0,05$) : H_0 accepté.

H_0 : Égalité des moyennes annuelles des deux distributions.

H_0 : Égalité des écarts types des deux distributions.

H_1 : Inégalité des moyennes annuelles et(ou) des écarts types.

Exutoire - P total (mg/L)

Année	Fréquence hebdomadaire		Fréquence aux deux semaines	
	Moyenne	Écart type	Moyenne	Écart type
1989	0,007	0,002	0,007	0,002
1990	0,007	0,002	0,006	0,002
1991	0,008	0,006	0,008	0,005
1992	0,007	0,003	0,007	0,003

7. Études comparatives des tendances temporelles des charges mensuelles à l'exutoire entre juin 1981 et mai 1992 et juin 1986 et mai 1992 selon deux fréquences

1. Juin 1981 à mai 1992

Paramètre	Fréquence hebdomadaire				Fréquence aux deux semaines			
	Tendance (test)	Pente	Valeur initiale	Valeur finale	Tendance (test)	Pente	Valeur initiale	Valeur finale
Alcalinité (kg/ha)	B (KS)	-0,053	2,489	2,032	B (KS)	-0,046	2,523	2,023
Ca (kg/ha)	-- (KS)	---	---	---	-- (KS)	---	---	---
NO ₃ (kgN/ha)	B (KS)	-0,004	0,068	0,028	-- (KS)	---	---	---
SO ₄ (kg/ha)	---	---	---	---	---	---	---	---

2. Juin 1986 à mai 1992

Paramètre	Fréquence hebdomadaire				Fréquence aux deux semaines			
	Tendance (test)	Pente	Valeur initiale	Valeur finale	Tendance (test)	Pente	Valeur initiale	Valeur finale
Alcalinité (kg/ha)	-- (KS)	---	---	---	-- (HS)	---	---	---
Ca (kg/ha)	-- (KS)	---	---	---	-- (KS)	---	---	---
NO ₃ (kgN/ha)	-- (KS)	---	---	---	H (KS)	0,007	0,018	0,057
SO ₄ (kg/ha)	B (KS)	-0,179	2,957	1,914	---	---	---	---