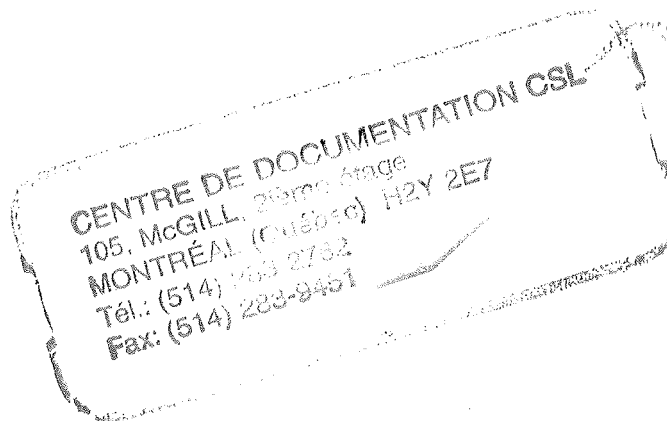


195
19
C

État de l'acidité des eaux au bassin du lac Laflamme entre juin 1993 et mai 1994

Suzanne Couture
Contamination du milieu aquatique
Centre Saint-Laurent



Conservation de l'environnement
Environnement Canada
Région de Québec

Août 1996

AVIS DE RÉVISION

Le présent rapport a été examiné par le Centre Saint-Laurent, Direction de la conservation de l'environnement, Environnement Canada - région du 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.

On devra citer la publication comme suit:

Couture, S. 1996. *État de l'acidité des eaux au bassin du lac Laflamme entre juin 1993 et mai 1994*. Environnement Canada - région du Québec, Conservation de l'environnement, Centre Saint-Laurent, Rapport scientifique et technique ST-15, 68 pages.

© Ministre des Approvisionnements et Services Canada 1996

N° de catalogue : En153-61/1994F

ISBN : 0-662-80376-0

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 madame Monique Simond de la section Gestion et diffusion de l'information.

Perspective de gestion

Le projet d'étude et de suivi de la qualité de l'eau 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'objectif vise à documenter et vérifier l'efficacité des programmes canadien et américain de réduction des émissions d'anhydride sulfureux (SO₂) et d'oxydes d'azote (NO_x) sur la récupération de l'acidification d'un écosystème aquatique en forêt boréale. Les résultats du programme de surveillance au lac Laflamme, en place depuis 1981, permettent de 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 study project to follow water quality in the Laflamme Lake Watershed was carried out under the Long-Range Transport of Airborne Polluants (LRTAP) program of Canada's *Green Plan*. The main objective of this study is to document and verify the effectiveness of Canadian and US sulphur dioxide (SO₂) and nitrogen oxides (NO_x) emission reduction programs on the reversal of the acidification in a boreal forest aquatic ecosystem. The results of this monitoring program at Laflamme Lake Watershed, 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

La présente étude caractérise les changements chronologiques de l'état d'acidité des précipitations, des eaux de surface et des eaux souterraines du bassin versant du lac Laflamme entre juin 1981 et mai 1994. Depuis 1986, les concentrations de sulfates dans les précipitations de la région du bassin versant du lac Laflamme ont baissé de 20 p. 100 ($\alpha=0,05$). Les concentrations de nitrates dans les précipitations, qui étaient à la hausse entre 1981 et 1992, se sont stabilisées. Une baisse des teneurs de plusieurs autres variables chimiques (Ca, Mg, Na, K, NO_3 et H) a aussi été enregistré dans les précipitations entre 1988 et 1993 ($\alpha=0,05$ sauf pour NO_3 et H où $\alpha=0,1$). En 1993, la concentration moyenne annuelle de sulfates dans les précipitations était la plus basse jamais mesurée depuis 1981 (1,08 mg/L); cependant, comme la quantité d'eau tombée au cours de cette année a été importante (1,55 m), les dépôts annuels (17,1 kg/ha/an) se comparaient à ceux de l'année précédente (17,3 kg/ha/an). Comparativement aux années précédentes, les dépositions de 1993 pour les composés azotés (NO_3 et NH_4) et l'ion hydrogène étaient élevées, soit 4,05 kg/ha/an, 2,77 kg/ha/an et 0,55 kg/ha/an respectivement.

La baisse des concentrations de sulfates dans les eaux de surface enregistrée depuis plusieurs années, s'est poursuivie en 1993-1994 ($\alpha=0,05$). La concentration moyenne annuelle de sulfates était à son plus bas depuis 1981 (3,4 mg/L). Des baisses graduelles de l'alcalinité et des concentrations de calcium étaient notées dans l'eau du lac et de l'exutoire entre juin 1981 et mai 1994 ($\alpha=0,05$). Plusieurs signes d'acidification étaient encore notés au bassin versant, par exemple une baisse du pH ($\alpha=0,1$) de 0,04 unité dans l'eau du lac et de l'exutoire entre juin 1986 et mai 1994 et une baisse de l'alcalinité du lac de 0,12 mg/L au cour de la même période ($\alpha=0,05$). Au printemps 1994, une acidification épisodique importante (pH=5,0 et alcalinité Gran=-0,13 mg/L) a été notée à l'exutoire du lac.

Pour les eaux souterraines, la baisse des concentrations de sulfates détecté dans les quatre puits entre juillet 1988 et mai 1993 n'était évidente que dans deux puits (0,8 m et 13 m) entre juillet 1988 et mai 1994.

Abstract

The following study presents the chronological changes, for a period ranging from June 1981 to May 1994, in the acidity level of precipitation, surface water, and groundwater of the Laflamme Lake watershed. Since 1986, there has been a 20% ($\alpha = 0,05$) decrease of the sulphate concentration in precipitation over the Laflamme Lake watershed area. The nitrate concentration in precipitation, which had increased between 1981 and 1992, is now stable. A decline of the concentration of several other variables (Ca, Mg, Na, K, NO₃ et H) was also observed in precipitation between 1988 and 1993 ($\alpha = 0,05$ except for NO₃ et H where $\alpha = 0,1$). In 1993, the mean annual sulphate concentration in precipitation was the lowest ever recorded since 1981 (1,08 mg/L); however, as the amount of precipitation in 1993 was high (1,55 m), the annual deposition (17,1 kg/ha/yr) was comparable to that of 1992 (17,3 kg/ha/yr). Compared to the previous years, the 1993 depositions for nitrogenous compounds (NO₃ and NH₄) and the hydrogen ion were high (4,05 kg/ha/yr, 2,77 kg/ha/yr, and 0,55 kg/ha/yr respectively).

In 1993-1994, the sulphate concentration in lake surface water continued to decrease, as reported for several years ($\alpha = 0,05$). The mean annual sulphate concentration was the lowest ever recorded since 1981 (3,4 mg/L). Gradual reduction in alkalinity and calcium concentrations was detected in the lake and outlet stream water between June 1981 and May 1994 ($\alpha = 0,05$). Several signs of acidification were still observed in the watershed, for instance a 0,04 unit decrease of the pH ($\alpha = 0,1$) in the lake and outlet stream water between June 1986 and May 1994 and a 0,12 mg/L decrease of the lake alkalinity during the same period ($\alpha = 0,05$). In the spring of 1994, an important episodic acidification (pH=5,0 and Gran alkalinity= -0,13 mg/L) was recorded at the lake outlet stream.

For the groundwater, the decrease of the sulphate concentration observed in the four wells between July 1988 and May 1993 was still noticeable in two wells only (0,8 m and 13 m) between July 1988 and May 1994.

Table des matières

REMERCIEMENTS		iii
PERSPECTIVE DE GESTION/MANAGEMENT PERSPECTIVE		iv
RÉSUMÉ		v
ABSTRACT		vi
Liste des figures		ix
Liste des tableaux		xi
1	INTRODUCTION	1
2	MATÉRIEL ET MÉTHODES	3
3	LES PRÉCIPITATIONS	5
4	LES EAUX DE SURFACE	12
4.1	Le lac	12
4.2	L'exutoire	18
5	LES EAUX SOUTERRAINES	26
6	CONCLUSION	34
RÉFÉRENCES		36
ANNEXES		
	1 Moyennes annuelles pondérées des teneurs et dépôts atmosphériques annuels de différents ions analysés dans les précipitations	38
	2 Données de laboratoire sur les variables chimiques du lac, de l'exutoire et des eaux souterraines du bassin versant du lac Laflamme entre juin 1993 et mai 1994	40
	3 Moyennes par année hydrologique (de juin à mai) et moyenne globale (juin 1981 à mai 1994) des variables chimiques à la station au centre du lac Laflamme	47

4	Caractéristiques des séries chronologiques des variables chimiques au centre et à l'exutoire du lac Laflamme	48
5	Moyennes par année hydrologique (de juin à mai) et moyenne globale (juin 1981 à mai 1994) des variables chimiques à la station de l'exutoire du lac Laflamme	49

Liste des figures

- | | | |
|---|---|----|
| 1 | Hauteur d'eau mensuelle, concentrations moyennes mensuelles de sulfates et de nitrates et pH moyens mensuels des précipitations en 1993 et moyennes mensuelles de ces quatre variables calculées pour la période de 1981 à 1992 au bassin versant du lac Laflamme | 7 |
| 2 | Concentrations moyennes mensuelles de calcium, magnésium, sodium et potassium des précipitations en 1993 et moyennes mensuelles de ces quatre variables calculées pour la période de 1981 à 1992 au bassin du lac Laflamme | 8 |
| 3 | Tendances dans le pH et les concentrations de sulfates, nitrates, calcium et magnésium des précipitations au bassin du lac Laflamme entre 1988 et 1993 | 11 |
| 4 | Variations hebdomadaires du pH, de l'alcalinité Gran, des concentrations de sulfates et de nitrates des eaux du lac Laflamme pour l'année hydrologique 1993-1994 et moyennes hebdomadaires de ces variables calculées pour la période de juin 1981 à mai 1993 | 13 |
| 5 | Variations hebdomadaires des concentrations de calcium, de magnésium, de sodium et de potassium des eaux du lac Laflamme pour l'année hydrologique 1993-1994 et moyennes hebdomadaires des ces variables calculées pour la période de juin 1981 à mai 1993 | 15 |
| 6 | Variations hebdomadaires de l'écoulement, du pH, de l'alcalinité et des concentrations de sulfates et de nitrates des eaux de l'exutoire du lac Laflamme pour l'année hydrologique 1993-1994 et moyennes hebdomadaires de ces variables calculées pour la période de juin 1981 à mai 1993 | 19 |
| 7 | Variations hebdomadaires des concentrations de calcium, de magnésium, de sodium et de potassium des eaux de l'exutoire du lac Laflamme pour l'année hydrologique 1993-1994 et moyennes hebdomadaires des ces variables calculées pour la période de juin 1981 à mai 1993 | 21 |

8	Bilan hydrique annuel et bilan massique annuel des sulfates, des nitrates, de l'ion ammonium et du calcium de 1981-1982 à 1992-1993 au bassin du lac Laflamme	24
9	Bilan massique annuel du magnésium, du sodium du potassium de l'ion hydrogène et des chlorures de 1981-1982 à 1992-1993 au bassin du lac Laflamme	25
10	Tendances dans les variables physico-chimiques des eaux souterraines dans les puits de 2,8 m et 13 m au bassin du lac Laflamme entre juillet 1988 et mai 1994	31
11	Tendances dans les variables physico-chimiques des eaux souterraines dans le puits de 2,9 m au bassin versant du lac Laflamme entre juillet 1988 et mai 1994	32
12	Tendances dans les variables physico-chimiques des eaux souterraines dans le puits de 0,8 m au bassin du lac Laflamme entre juillet 1988 et mai 1994	33

Liste des tableaux

1	Caractéristiques des séries chronologiques des variables chimiques des précipitations sur le bassin du lac Laflamme entre 1981 et 1993	9
2	Caractéristiques des séries chronologiques des variables chimiques de l'eau au centre du lac Laflamme entre juin 1981 et mai 1994	16
3	Caractéristiques des séries chronologiques des variables chimiques de l'eau à l'exutoire du lac Laflamme entre juin 1981 et mai 1994	22
4	Moyenne et écart type () par année hydrologique et pour l'ensemble des années des variables chimiques des eaux souterraines au bassin versant du lac Laflamme	27
5	Caractéristiques des séries chronologiques des variables chimiques pour les eaux souterraines du bassin du lac Laflamme entre juillet 1988 et mai 1994	29

Le programme de lutte contre les pluies acides dans l'est du Canada a permis de réduire les émissions de dioxyde de soufre (SO₂) à 2,2 millions de tonnes métriques en 1993, respectant plus tôt que prévu le plafond de 2,3 millions de tonnes fixé pour 1994 (Canada-United States Air Quality Committee, 1994). Dans le cas des émissions d'oxydes d'azote (NO_x), le Canada a aussi pris des engagements de réduction (*Protocole de Sofia sur les NO_x*, signé en 1988). En juin 1994, le Canada a signé un deuxième protocole international visant à poursuivre les efforts pour gérer les émissions de SO₂ et ainsi protéger l'environnement et la santé humaine. Suite à cet engagement, les provinces canadiennes ont convenu d'évaluer la nécessité de réduire davantage les émissions de SO₂ pour pleinement protéger les écosystèmes sensibles. Cette préoccupation était justifiée par le fait que pour certains lacs du sud du Québec, le dépôt cible de 20 kg/ha/an fixé par le gouvernement canadien semblait être trop élevé pour qu'une récupération de l'état d'acidité soit possible (Dupont, 1993). Des études ont montré que les dépôts cibles devraient se situer entre 10 et 15 kg/ha/an pour maintenir le pH de certains lacs du Bouclier canadien au-dessus de 6 (Gouvernement du Québec, 1994). De plus, dans certaines régions, le contrôle des émissions de NO_x va s'imposer puisqu'il est démontré que les dépôts de nitrates peuvent être responsables en partie de l'acidification des lacs ou du moins de l'absence de récupération de ceux-ci (Jeffries, 1995).

Le bassin du lac Laflamme se situe dans une zone très sensible du Bouclier canadien où le dépôt cible de 20 kg/ha/an serait susceptible d'être trop élevé pour qu'une récupération des eaux de surface de cette région soit observée. Il est donc important de vérifier l'évolution de la qualité des eaux de surface et souterraines du bassin en fonction des dépôts acides reçus. Dans un premier temps, la vérification du maintien des tendances notées dans les variables de qualité des précipitations au bassin du lac Laflamme, c'est-à-dire la baisse des sulfates depuis 1986, la hausse des nitrates depuis 1981 et le mouvement à la baisse de plusieurs ions (Ca, Mg, Na, Cl, SO₄ et NO₃) depuis 1988 (Couture, 1994a), a été effectuée.

La deuxième étape concernait la caractérisation et les tendances des variables physico-chimiques des eaux de surface et des eaux souterraines. À cette étape, il fallait

confirmer que la baisse des concentrations de sulfates dans les eaux de surface et les eaux souterraines se poursuivait et ensuite vérifier si une récupération de l'alcalinité du lac, de l'exutoire et des eaux souterraines s'amorçait. Des facteurs pouvant ralentir la récupération de l'alcalinité ont été étudiés, parmi ceux-ci notons l'acidification par les nitrates et la matière organique et les épisodes pluvieux (par exemple, été 1992).

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 détaillés dans Couture (1990, 1992). L'échantillonnage de 1993-1994, s'est effectué avec une fréquence hebdomadaire sauf pour le mois de février 1994 où la fréquence a été bimensuelle. Les analyses des concentrations de chlorures et de potassium ainsi que la conductivité et la couleur ont été effectuées à toutes les deux semaines. Le calcul des charges exportées à l'exutoire pour les variables analysés aux deux semaines (Cl et K) est présenté dans Couture (1994a). Les eaux souterraines des quatre puits ont été échantillonnées aux mois de juillet, septembre et novembre 1993 ainsi qu'au mois de mai 1994.

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 10 p. 100 ($\alpha=0,10$). Un seuil de signification moins sévère (10 p.100 par rapport à 5 p. 100 dans les études antérieures) a été utilisé pour des fins de comparaison avec les résultats du réseau TADPA-Québec, qui est un projet connexe aux études du lac Laflamme, et dont la conception statistique est basée sur un seuil de signification de 10 p. 100 (Bouchard, 1995). Les résultats de tendances au bassin du lac Laflamme ont aussi été comparés à des études de d'autres régions utilisant un seuil de 10 p. 100 (Baier et Cohn, 1993; Sirois, 1993; Lynch, 1995).

Lorsqu'une tendance était détectée pour une série, la valeur initiale et finale étaient obtenues par une droite de régression. Les tests statistiques et les critères de sélection des tests sont expliqués dans Couture (1994b). Les séries utilisées pour la détection de tendance dans les précipitations étaient composées des concentrations moyennes mensuelles et des dépôts mensuels pour les périodes 1981-1993, 1986-1993 et 1988-1993. Ces périodes permettent de documenter les changements à long terme (1981-1993), les changements après

l'implantation du programme canadien de lutte contre les pluies acides (1986-1993) et les changements récents, c'est-à-dire après 1988 où un mouvement à la baisse généralisé de plusieurs variables de qualité des précipitations a été observé (Couture, 1994a).

Pour le centre du lac et l'exutoire, les concentrations mesurées chaque semaine (aux deux semaines pour les chlorures et le potassium) ainsi que les charges hebdomadaires (à l'exutoire) ou aux deux semaines (Cl et K) composaient les séries. Pour la station du lac et de l'exutoire, trois périodes, soit de juin 1981 à mai 1994, de juin 1986 et à mai 1994 et de juin 1988 à mai 1994, ont été utilisées pour la détection des tendances. Pour les eaux souterraines, les séries chronologiques s'étendaient de juillet 1988 à mai 1994 avec une mesure tous les deux mois, excepté l'hiver.

Les précipitations

Au cours de 1993, on a enregistré 1,55 m de précipitations, soit 15 p. 100 de plus que la moyenne générale pour la période de 1981-1992 (annexe 1). Des précipitations particulièrement abondantes ont été enregistrées en avril (17,8 cm, 42 p. 100 supérieur à la moyenne mensuelle de 1981 à 1993), août (17,8 cm, 26 p. 100 supérieur à la moyenne), octobre (18,9 cm, 34 p. 100 supérieur à la moyenne) et novembre (17,8 cm, 29 p. 100 supérieur à la moyenne) (figure 1).

La concentration moyenne annuelle de sulfates a été de 1,08 mg/L en 1993 et était la plus basse en 13 ans (annexe 1). Les dépôts annuels s'élevaient à 17,1 kg/ha, semblables aux dépôts de 1992 et s'expliquaient par les précipitations importantes. Les concentrations moyennes mensuelles de sulfates ont été nettement inférieures aux moyennes mensuelles générales calculées pour la période de 1981 à 1992 sauf pour le mois d'août (figure 1) et le même patron était observé pour les dépôts mensuels. Le pH moyen mensuel des précipitations variait de façon inverse aux concentrations de sulfates et de nitrates et les pH faibles étaient notés au mois de mars (4,3) et août (4,2) (figure 1). Le pH moyen annuel en 1993 était de 4,47, très semblable aux deux années précédentes (4,46 en 1992 et 1993) (annexe 1). Les dépôts de l'ion hydrogène en 1993 étaient élevés (0,55 kg/ha, soit 13 p. 100 supérieur au dépôt moyen annuel) en raison des fortes précipitations. Les concentrations moyennes mensuelles de nitrates étaient généralement autour des moyennes mensuelles générales (figure 1), avec cependant des concentrations élevées au mois de mars (0,45 mgN/L) et août (0,25 mgN/L). Des concentrations faibles ont été notées en janvier (0,26 mgN/L) et février (0,19 mgN/L) comparativement aux concentrations moyennes calculées pour cette période de l'année. La concentration moyenne annuelle de 0,25 mgN/L était proche de la moyenne générale de 0,26 mgN/L. La concentration moyenne annuelle de l'ion ammonium (0,18 mgN/L) était semblable à la moyenne générale (0,17 mgN/L) (annexe 1). Les dépôts annuels des nitrates (4,05 kg/ha) et de l'ion ammonium (2,77 kg/ha) ont été supérieurs de 13 et de 18 p. 100 respectivement par rapport aux dépôts moyens respectivement (annexe 1). Les concentrations moyennes mensuelles des cations basiques (Ca, Mg et K) en 1993 étaient sous les moyennes

mensuelles générales sauf pour le mois d'octobre (figure 2).

De façon générale, les baisses des concentrations et des dépôts de sulfates dans les précipitations se sont poursuivies avec une diminution moyenne ($\alpha=0,05$) de 0,048 mg/L/an pour les concentrations qui sont passées de 1,74 mg/L à 1,13 mg/L entre 1981 et 1993 (tableau 1). La diminution moyenne des dépôts de sulfates était de 0,039 kg/ha/an. La hausse des concentrations de nitrates des précipitations, présente entre 1981 et 1992, n'était plus significative pour la période de 1981 à 1993. Des tendances à la baisse des concentrations de sulfates, de nitrates, de l'ion hydrogène, de calcium, de magnésium, de sodium et de potassium étaient présentes pour la période de 1988-1993 (tableau 1 et figure 3). Une hausse du pH des précipitations ($\alpha=0,05$) de 4,44 à 4,52 a été détecté entre 1988 et 1993 et pourrait être liée aux baisses des concentrations de sulfates et de nitrates (tableau 1). Des baisses des concentrations (ou des dépôts) de sulfates dans les précipitations ont été observées dans plusieurs régions en Amérique du nord (Sirois, 1993; Clair *et al.*, 1995; Baier et Cohn, 1993); par contre, les baisses des concentrations de nitrates dans les précipitations étaient plus rares, des diminutions ont été observées à la station de Chalk River en Ontario et dans quelques stations du nord-est des États-Unis (Bouchard, 1995; Baier et Cohn, 1993). Aux États-Unis et en Europe, des baisses des cations basiques ont été remarquées, principalement pour le calcium et le magnésium, au cours de périodes comprises entre 1980 et 1991 (Hedin *et al.*, 1994).

En terme de microéquivalent par litre, la baisse des concentrations de l'ion hydrogène des précipitations entre 1988 et 1993 représentait 32 p. 100 de la baisse des concentrations des anions acides (SO_4 et NO_3) des précipitations pour la même période. Toujours pour la même période, la baisse des concentrations des cations basiques (Ca, Mg, Na, K) représentait 30 p. 100 de la baisse des anions acides. Ce pourcentage de baisse des cations basiques par rapport aux anions acides était comparable à ceux calculés pour les Pays-Bas (34 p. 100) et pour le site expérimental de Hubbard Brook dans l'État du New Hampshire aux États-Unis (38 p. 100) (Hedin *et al.*, 1994).

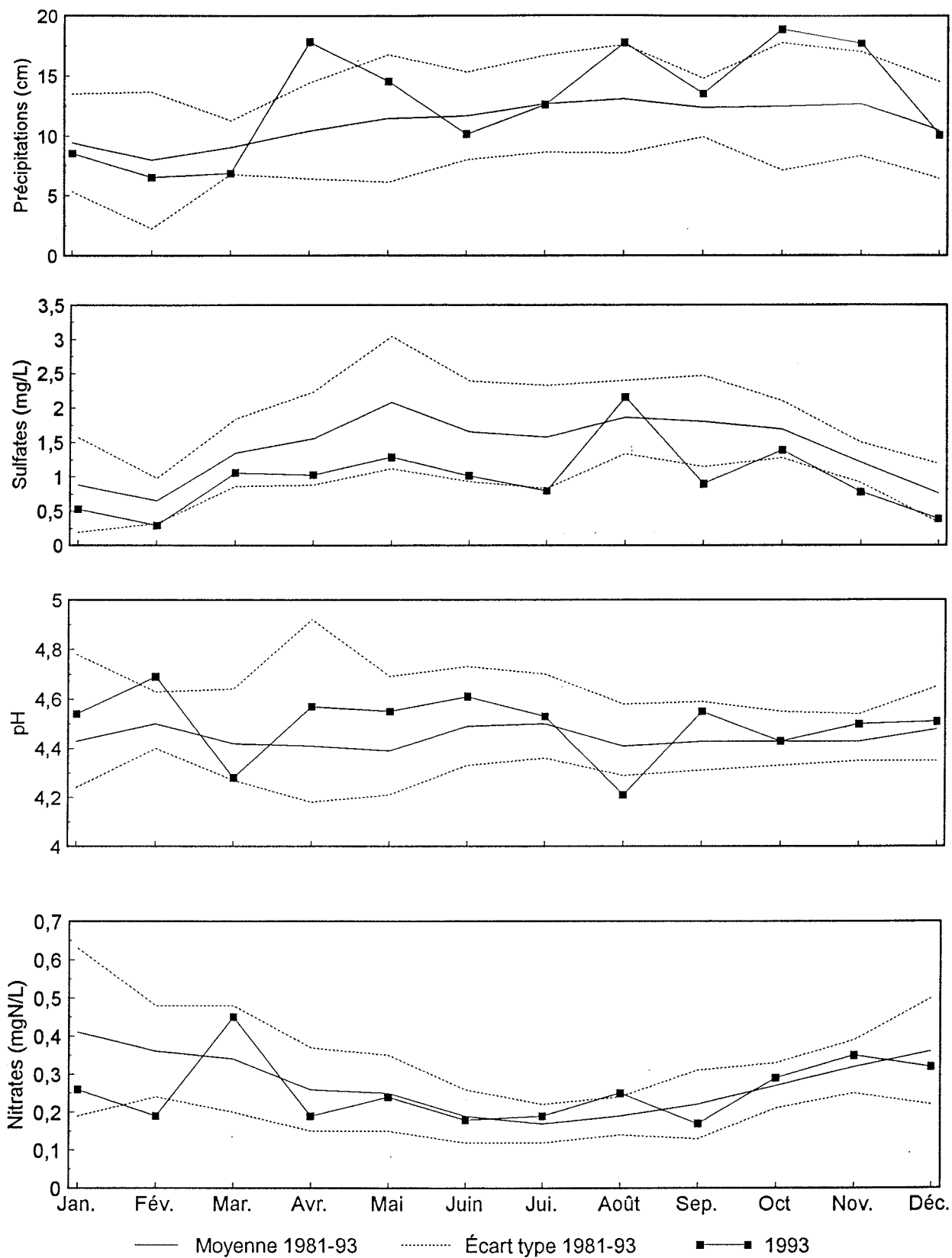


Figure 1 Hauteur d'eau mensuelle, concentrations moyennes mensuelles de sulfates et de nitrates et pH moyens mensuels des précipitations en 1993 et moyennes mensuelle de ces quatre variables calculées pour la période de 1981 à 1992 au bassin du lac Laflamme

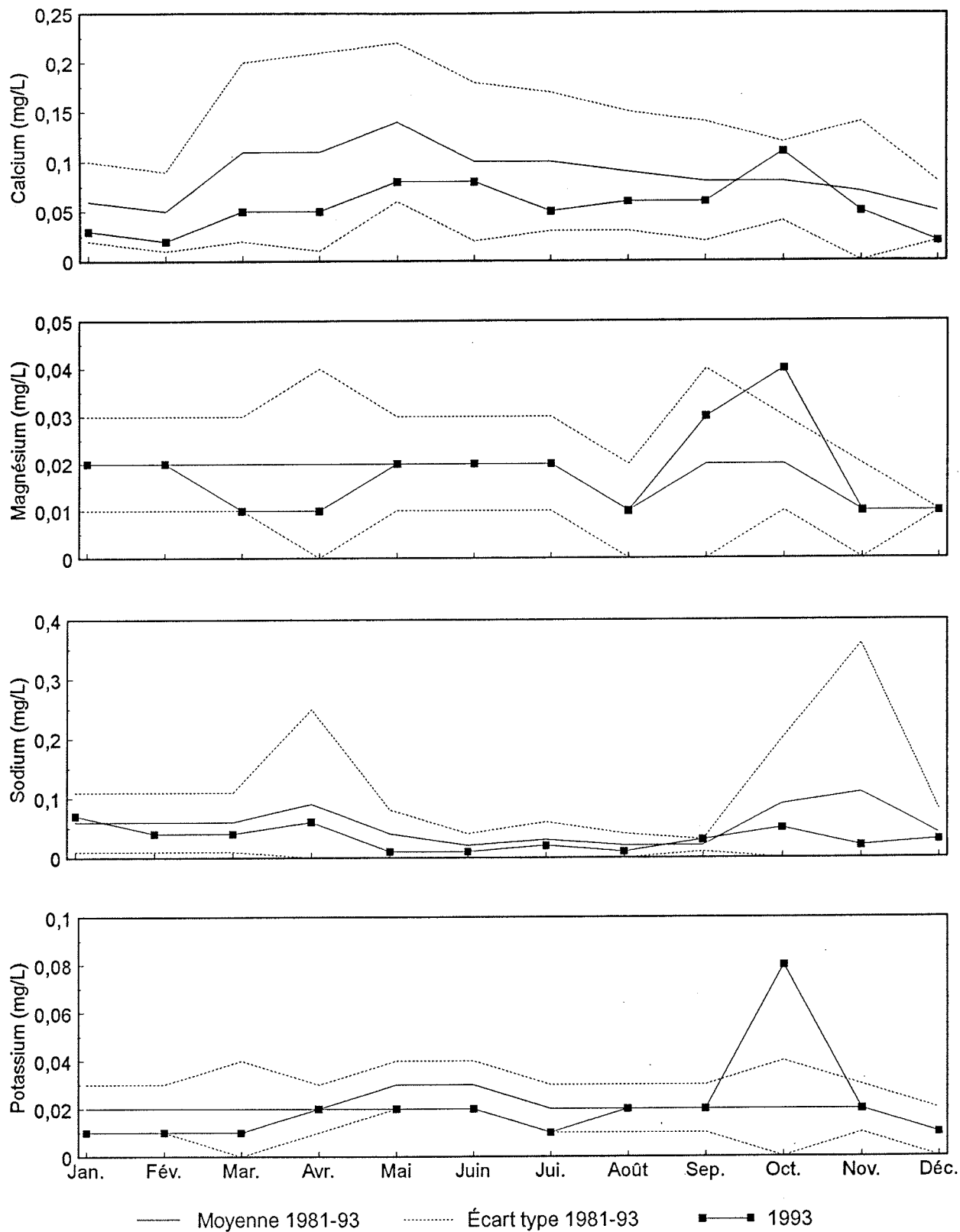


Figure 2 Concentrations moyennes mensuelles de calcium, magnésium, sodium et potassium des précipitations en 1993 et moyennes mensuelles de ces quatre variables calculées pour la période de 1981 à 1992 au bassin du lac Laflamme

Tableau 1
Caractéristiques des séries chronologiques des variables chimiques des
précipitations sur le bassin du lac Laflamme entre 1981 et 1993

Période	Paramètre	Tendance	Test	Valeur initiale	Valeur finale	Pente
1981 - 1993	SO ₄ (mg/L)	B	KS	1,74	1,13	-0,048
1981 - 1993	SO ₄ (kg/ha/mo)	B	KS	1,86	1,36	-0,039
1986 - 1993	SO ₄ (mg/L)	B	KS	1,43	1,15	-0,036
1986 - 1993	SO ₄ (kg/ha/mo)	B	KS*	1,51	1,41	-0,013
1988 - 1993	SO ₄ (mg/L)	B	KS	1,57	1,01	-0,098
1988 - 1993	SO ₄ (kg/ha/mo)	B	KS	1,58	1,35	-0,037
1981 - 1993	NH ₄ (mgN/L)	H	KS*	0,16	0,19	0,003
1981 - 1993	NH ₄ (kgN/ha/mo)	H	KS	0,153	0,235	0,006
1981 - 1993	K (mg/L)	B	KS*	0,022	0,019	-0,0002
1988 - 1993	K (mg/L)	B	K	0,025	0,017	-0,001
1981 - 1993	Mg (kg/ha/mo)	H	SL	0,016	0,022	0,001
1988 - 1993	Mg (mg/L)	B	K	0,028	0,012	-0,003
1988 - 1993	Mg (kg/ha/mo)	B	K	0,027	0,018	-0,001
1986 - 1993	Cl (mg/L)	H	KS	0,070	0,085	0,002
1986 - 1993	Na (kg/ha/mo)	H	KS	0,033	0,044	0,001
1988 - 1993	Na (mg/L)	B	KS	0,051	0,029	-0,004

Période	Paramètre	Tendance	Test	Valeur initiale	Valeur finale	Pente
1988 - 1993	pH	H	K*	4,44	4,52	0,013
1988 - 1993	H ($\mu\text{g/L}$)	B	K*	38,4	31,9	-1,084
1988 - 1993	NO ₃ (mgN/L)	B	KS	0,358	0,232	-0,022
1988 - 1993	NO ₃ (kg/ha/mo)	B	KS*	0,337	0,292	-0,008
1988 - 1993	Ca (mg/L)	B	SL	0,115	0,043	-0,012
1988 - 1993	Ca (kg/ha/mo)	B	K	0,108	0,060	-0,008
1988 - 1993	Ca+Mg ($\mu\text{éq/L}$)	B	SL	8,069	3,143	-0,833

$\alpha=0,05$ sauf * où $\alpha=0,10$.

Les valeurs initiales et finales sont calculées à partir de la droite de régression

Légende : B : baisse. H : hausse. KS : Kendall saisonnier. SL : Spearman/Lettenmaier. K : Kendall.

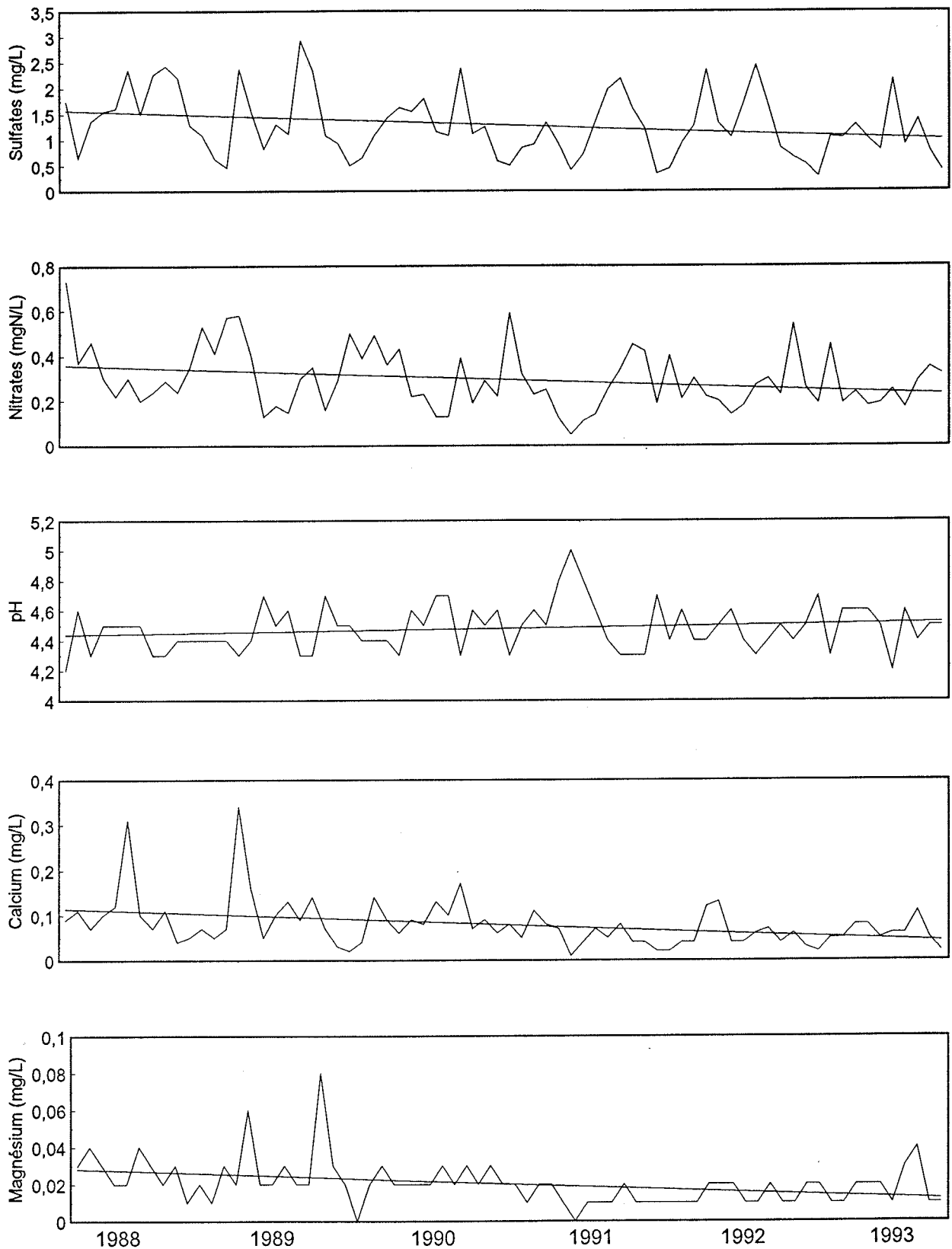


Figure 3 Tendances dans le pH et les concentrations de sulfates, nitrates, calcium et magnésium des précipitations au bassin du lac Laflamme entre 1988 et 1993

4.1

LE LAC

Au cours de l'année hydrologique 1993-1994, le pH des eaux du lac s'est situé en moyenne à 6,28, plus bas que le pH moyen de l'année hydrologique précédente (6,47) et que la moyenne générale (6,36) calculée entre juin 1981 et mai 1994 (annexe 3). Sur 50 mesures de pH prises au cours de l'année hydrologique de 1993-1994, 23 d'entre d'elles (46 p. 100) étaient inférieures à un écart type des moyennes hebdomadaires calculées entre juin 1981 et mai 1993 (figure 4). Ces valeurs basses ont été enregistrées principalement entre juillet et décembre 1993 et pourraient être reliées aux fortes pluies de l'été (août) et de l'automne. Comparativement aux moyennes hebdomadaires calculées au lac entre juin 1981 et mai 1993, les valeurs d'alcalinité de juin 1993 étaient faibles (alcalinité inférieures à 3 mg/L), ainsi que celles d'octobre 1993 (un minimum de 3,75 mg/L) et de novembre 1993 (un minimum de 3,43 mg/L) (figure 4). L'alcalinité basse enregistrée en octobre et novembre pourrait être liée aux fortes pluies tandis que celle de juin s'expliquerait par un lent rétablissement des eaux du lac suite à la fonte printanière du mois de mai qui fut accompagnée de fortes pluies (22 p.100 plus de précipitations par rapport à la moyenne de ce mois) (Couture, 1994a). L'alcalinité moyenne annuelle de 1993-1994 (4,97 mg/L) a augmenté par rapport à 1992-1993 (4,65 mg/L) mais demeurait toujours au-dessous de la moyenne générale (5,24 mg/L) (annexe 3). La moyenne annuelle des concentrations de sulfates de 1993-1994 a été la plus basse (3,4 mg/L) jamais enregistrée depuis 1981 (annexe 3). Sur 52 mesures de concentrations de sulfates des eaux du lac effectuées en 1993-1994, 34 d'entre elles (68 p. 100) étaient inférieures à un écart type des moyennes hebdomadaires calculées entre juin 1981 et mai 1993 (figure 4). Au cours des mois d'avril et mai 1994, les concentrations de nitrates ont varié de 0,26 mgN/L à 0,06 mgN/L, ces concentrations étaient pour la plupart inférieures à un écart type des moyennes hebdomadaires calculées entre juin 1981 et mai 1993 (figure 4). Les concentrations de calcium, de magnésium et de sodium ont un patron de variation à peu près semblable au cours de 1993-1994 et étaient faibles en été (de 1,59 mg/L à 1,74 mg/L pour Ca, de 0,36 mg/L à 0,4 mg/L pour Mg et de 0,7 mg/L à 0,76 mg/L pour Na) comparativement aux moyennes hebdomadaires

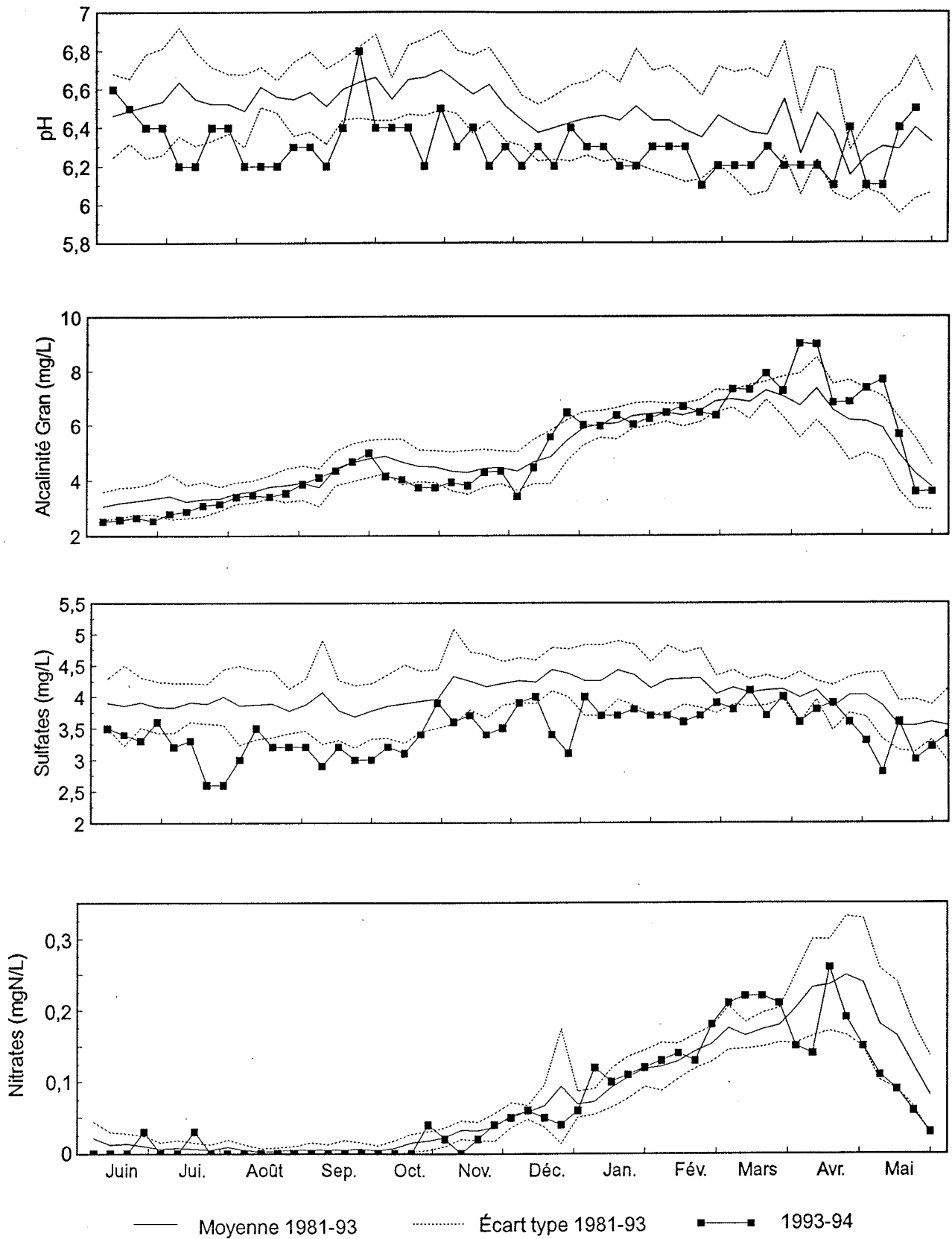


Figure 4 Variations hebdomadaires du pH, de l'alcalinité Gran, des concentrations de sulfates et de nitrates des eaux du lac Laflamme pour l'année hydrologique 1993-1994 et moyennes hebdomadaires de ces variables calculées pour la période de juin 1981 à mai 1993

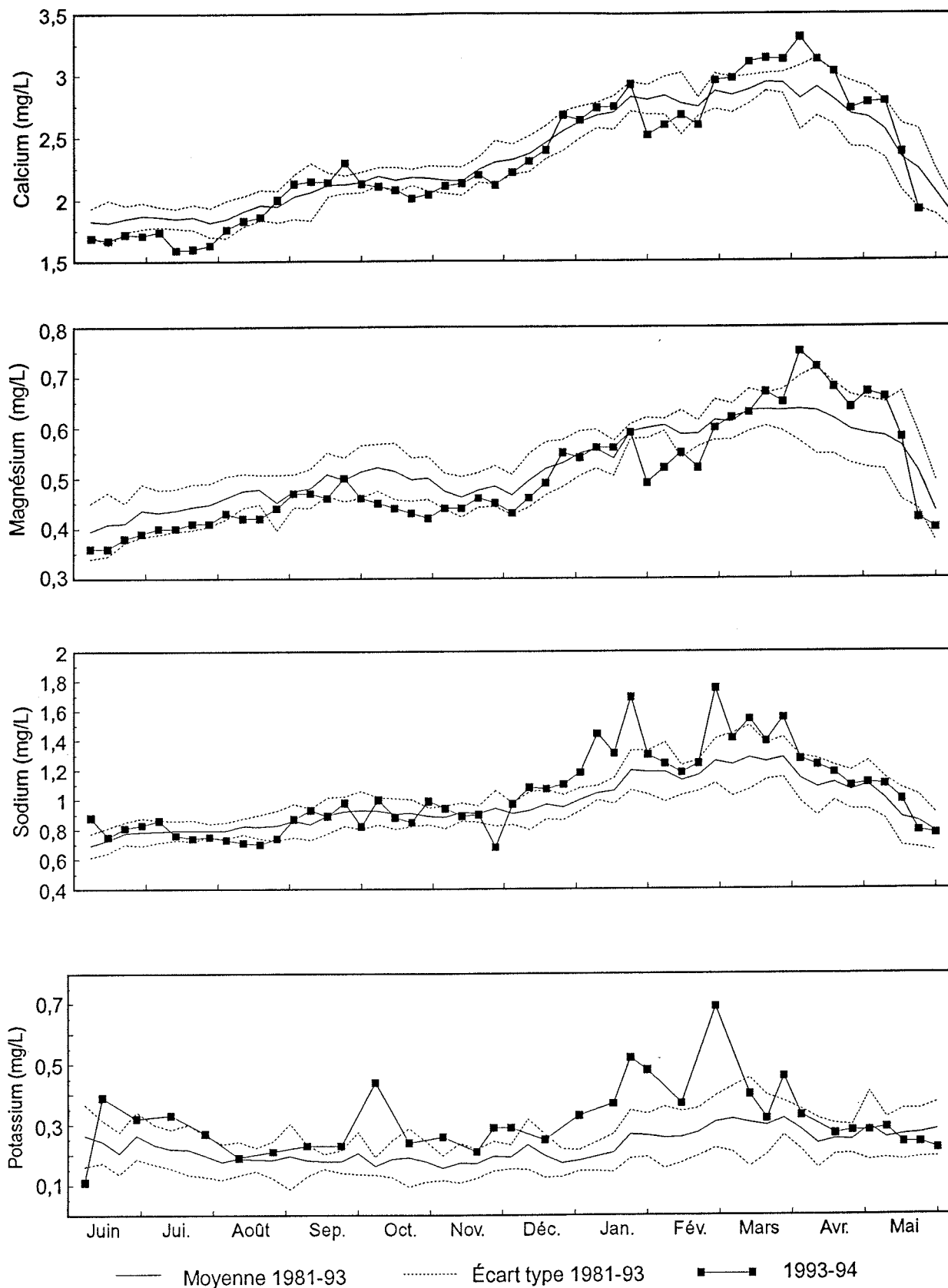


Figure 5 Variations hebdomadaires des concentrations de calcium, de magnésium, de sodium et de potassium des eaux du lac Laflamme pour l'année hydrologique 1993-1994 et moyennes hebdomadaires de ces variables calculées pour la période de juin 1981 à mai 1993

Tableau 2
Caractéristiques des séries chronologiques des variables chimiques de l'eau
au centre du lac Laflamme entre juin 1981 et mai 1994

Période	Paramètre	Tendance	Test	Valeur initiale	Valeur finale	Pente
Juin 1981-mai 1994	Al (mg/L)	H	HS*	0,092	0,104	0,0009
Juin 1986-mai 1994	Al (mg/L)	H	KS	0,089	0,109	0,003
Juin 1981-mai 1994	Alcalinité (mg/L)	B	KS	5,69	4,67	-0,080
Juin 1986-mai 1994	Alcalinité (mg/L)	B	KS	4,97	4,85	-0,016
Juin 1981-mai 1994	Ca (mg/L)	B	KS	2,42	2,32	-0,008
Juin 1986-mai 1994	Ca (mg/L)	B	KS*	2,31	2,19	-0,015
Juin 1981-mai 1994	Ca + Mg ($\mu\text{éq/L}$)	B	KS	164,2	157,9	-0,497
Juin 1986-mai 1994	Ca + Mg ($\mu\text{éq/L}$)	B	KS	159,7	157,9	0,228
Juin 1981-mai 1994	Cond. ($\mu\text{S/cm}$)	B	KS	23,62	23,29	-0,026
Juin 1986-mai 1994	Cond. ($\mu\text{S/cm}$)	B	KS	23,35	23,11	-0,031
Juin 1981-mai 1994	Fe (mg/L)	H	KS	0,105	0,166	0,005
Juin 1981-mai 1994	K (mg/L)	H	KS	0,189	0,235	0,004
Juin 1986-mai 1994	K (mg/L)	H	KS	0,167	0,259	0,012
Juin 1981-mai 1994	Mg (mg/L)	B	KS	0,53	0,51	-0,001
Juin 1986-mai 1994	Mg (mg/L)	B	KS	0,52	0,50	-0,003
Juin 1981-mai 1994	Mn (mg/L)	H	KS	0,013	0,018	0,0004
Juin 1986-mai 1994	pH	B	HS*	6,64	6,34	-0,037
Juin 1986-mai 1994	SO ₄ (mg/L)	B	HS	4,58	3,55	-0,132

Période	Paramètre	Tendance	Test	Valeur initiale	Valeur finale	Pente
Juin 1981-mai 1994	Zn (mg/L)	H	HS	0,004	0,006	0,0002
Juin 1986-mai 1994	Zn (mg/L)	H	KS	0,005	0,006	0,0001

$\alpha=0,05$ sauf * où $\alpha=0,10$.

Les valeurs initiales et finales sont calculées à partir de la droite de régression

Légende : B : baisse. H : hausse. KS : Kendall saisonnier. SL : Spearman/Lettenmaier. K : Kendall.

Entre juin 1986 et mai 1994, le pH et les concentrations de calcium et de magnésium ont diminué en moyenne de 0,037 unité/an, 0,015 mg/L/an et 0,003 mg/L/an respectivement. La pente de tendance à la baisse des concentrations de sulfates est passée de 0,108 mg/L/an entre la période de juin 1986 et mai 1993 (Couture, 1994a) à 0,132 mg/L/an entre la période de juin 1986 et mai 1994 (tableau 2), soit une augmentation de la pente de 18 p. 100. C'est entre juin 1988 et mai 1994 que les baisses des concentrations de sulfates étaient les plus prononcées, avec une pente de tendance de 0,192 mg/L par année (annexe 4).

Malgré les baisses significatives des concentrations de sulfates dans le lac, l'alcalinité du lac ne montrait aucune récupération. Plusieurs facteurs peuvent être identifiés pour expliquer la perte graduelle de la capacité de neutraliser l'acide du lac. Premièrement, entre janvier 1992 et mai 1994, six mois totalisaient 25 p. 100 plus de précipitations que les moyennes mensuelles (juillet 1992, septembre 1992, avril 1993, octobre 1993, novembre 1993, avril 1994). Au cours de ces mois, l'alcalinité du lac était entre 8 p. 100 et 42 p. 100 inférieure à l'alcalinité moyenne hebdomadaire calculée pour la période de juin 1981 et mai 1993, démontrant l'importance des phénomènes de dilution dans l'évolution de l'alcalinité du lac. L'acidité organique semblait jouer un rôle important dans l'évolution temporelle de l'alcalinité du lac puisque le coefficient de corrélation reliant l'alcalinité moyenne annuelle et les concentrations moyennes annuelles du carbone organique dissous était de -0,68 ($p \leq 0,05$).

4.2 L'EXUTOIRE

Au cours de l'année hydrologique 1993-1994, l'écoulement à l'exutoire a totalisé 84,5 cm. L'écoulement hebdomadaire a varié autour de la moyenne générale (1981-1993) à l'exception des mois d'août et octobre où des écoulements supérieurs (figure 6) correspondaient à des périodes de fortes précipitations (figure 1).

Le pH moyen annuel de 1993-1994 était de 6,08, une diminution par rapport à l'année hydrologique de 1992-1993 (6,18) (annexe 5). Sur 51 mesures de pH effectuées à l'exutoire, 44 d'entre elles étaient inférieures aux moyennes hebdomadaires calculées pour la période de juin 1981 à mai 1993 et parmi ces 44 mesures, 17 mesures étaient inférieures à un écart type des moyennes hebdomadaires (figure 6). Des valeurs au-dessous de 5,5 ont été enregistrées pendant deux semaines lors de la fonte printanière de 1994. L'alcalinité moyenne annuelle de 1993-1994 est demeurée basse (4,14 mg/L) par rapport à la moyenne générale (1981-1993) qui est de 4,52 mg/L (annexe 5). Au cours de l'automne 1993, les valeurs d'alcalinité ont été légèrement inférieures aux moyennes hebdomadaires, c'est-à-dire qu'elles ont varié entre 2,34 mg/L et 3,78 mg/L tandis que les moyennes hebdomadaires d'automne varient entre 3,64 mg/l et 4,29 mg/L (figure 6). Ces valeurs basses pourraient s'expliquer par un phénomène de dilution suite aux abondantes pluies automnales. Des mesures élevées d'alcalinité à l'exutoire entre janvier et mars 1994 ont été enregistrées, variant entre 4,82 mg/L et 8,03 mg/L comparativement aux moyennes hebdomadaires qui varient entre 4,25 mg/L et 7,23 mg/L (figure 6). Pendant la fonte printanière de 1994, l'alcalinité a atteint des minima (-0,13 mg/L le 10 mai et 0,42 mg/L le 17 mai) qui n'avaient été enregistrés que lors de la fonte de 1992. Les conditions d'acidité qui prévalaient au cours de ces deux semaines de fonte représentaient un niveau de stress élevé pour les organismes aquatiques vivant dans ce milieu lotique. La concentrations moyennes annuelles des concentrations de sulfates est restée basse en 1993-1994 (3,6 mg/L) par rapport à la moyenne générale (4,1 mg/L). Sur 51 mesures de concentrations de sulfates effectuées à l'exutoire en 1993-1994, 29 d'entre elles (57 p. 100) étaient inférieures à un écart type des moyennes hebdomadaires calculées pour la période de juin 1981 et mai 1994 (figure 6). En 1993-1994, la concentration maximale de nitrates mesurée était de 0,33 mgN/L (figure 6), ce qui est considéré comme une concentration élevée pour cette période selon les critères formulés par Jeffries (1995) et qui sont basés sur les données d'une

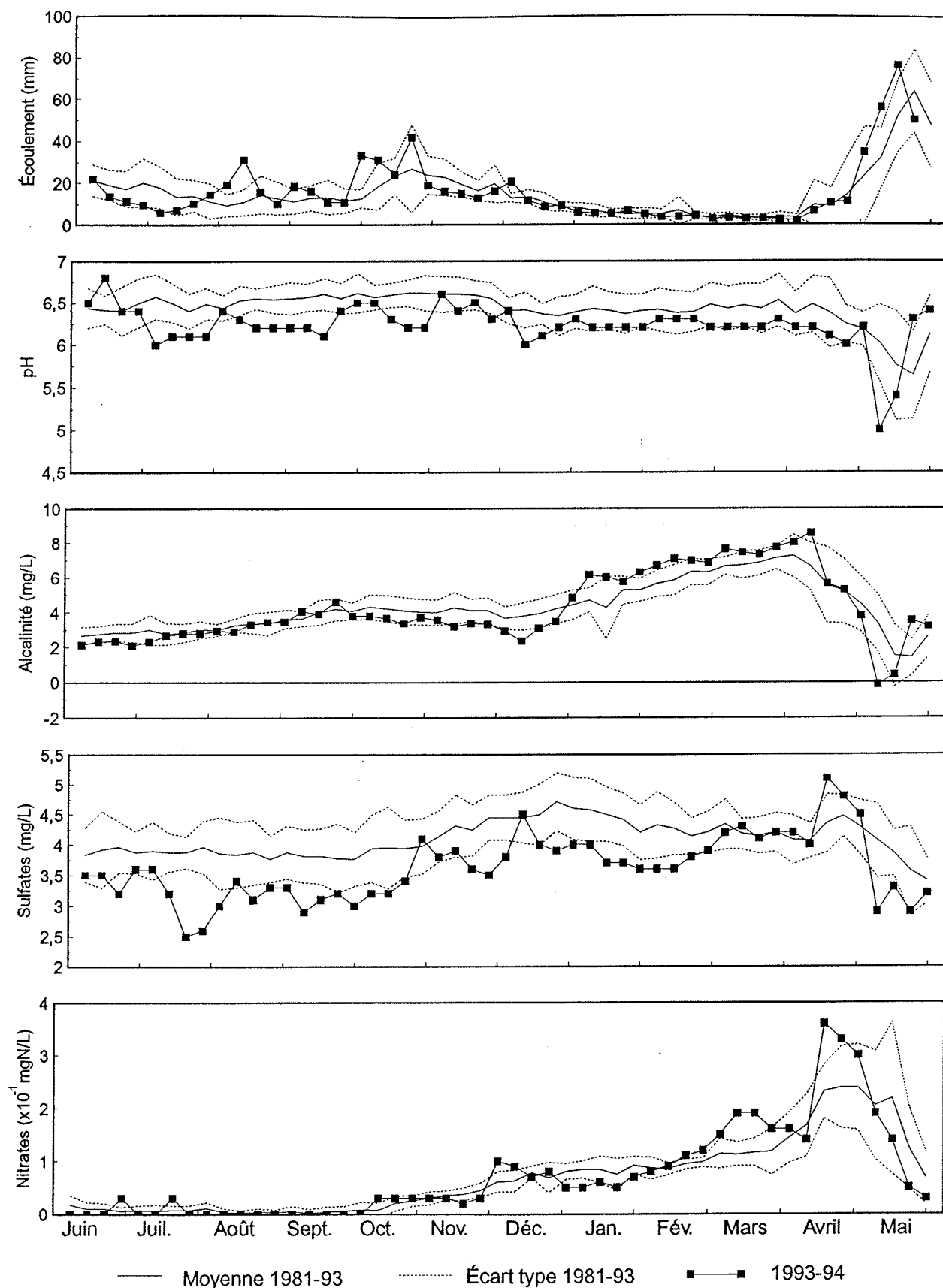


Figure 6 Variations hebdomadaires de l'écoulement, du pH, de l'alcalinité et des concentrations de sulfates et de nitrates des eaux de l'exutoire du lac Laflamme pour l'année hydrologique 1993-94 et moyennes hebdomadaires de ces variables calculées pour la période de juin 1981 à mai 1993

série de lacs échantillonnés en Ontario, au Québec et dans les provinces maritimes.

Les concentrations des cations basiques (Ca, Mg, Na, K) étaient élevées aux mois de mars et avril 1994 c'est-à-dire supérieures à un écart type des moyennes hebdomadaires (figure 7). La concentration moyenne annuelle de phosphore total en 1993-1994 était basse (0,005 mg/L) par rapport aux années précédentes (annexe 5). La concentration annuelle de fer en 1993-1994 (0,199 mg/L) était la deuxième plus élevée depuis 1981 (annexe 5).

Entre juin 1981 et mai 1994, l'alcalinité, la conductivité et les concentrations de calcium, de magnésium, de sodium et de chlorures étaient à la baisse de 0,08 mg/L/an, 0,074 μ S/cm/an, 0,011 mg/L/an, 0,003 mg/L/an, 0,003 mg/L/an et 0,01 mg/L/an respectivement (tableau 3). Parmi ces variables, l'alcalinité et les chlorures présentaient aussi des baisses significatives dans les charges exportées à l'exutoire de 0,007 kg/ha/an et 0,002 kg/ha/an respectivement. Pour cette période, on notait aussi des hausses pour la couleur et les concentrations de fer de 0,119 unité Hazen par année et 0,005 mg/L/an respectivement.

Entre juin 1986 et mai 1994, on détectait des baisses de pH, de conductivité, des concentrations de sulfates, de Ca+Mg et de chlorures de 0,039 unité, 0,074 μ S/cm/an, 0,124 mg/L/an, 0,025 μ éq/L/an et de 0,01 mg/L/an respectivement (tableau 3). Des hausses des concentrations de l'ion hydrogène (0,059 μ g/L/an), de l'aluminium (0,003 mg/L/an), du potassium (0,005 mg/L/an), du fer (0,009 mg/L/an) et des nitrates (0,003 mgN/L/an) étaient notées entre juin 1986 et mai 1994. Pour les charges exportées, on notait des hausses pour l'ion hydrogène (0,017 kg/ha/an) et pour les nitrates, le manganèse et le zinc (moins de 0,001 kg/ha/an). Entre juin 1988 et mai 1994, les diminutions des concentrations de sulfates (4,55 mg/L à 3,57 mg/L) étaient la seule tendance trouvée simultanément dans les précipitations et à l'exutoire; cependant, en dépit d'une baisse des dépôts atmosphériques, les charges de sulfates exportées à l'exutoire n'ont pas diminué (annexe 4).

Les bilans massiques de tous les paramètres (SO_4 , NO_3 , Ca, Mg, Na, K, NH_4 , H, Cl) ne variaient pas de façon significative ($\alpha=0,05$) entre juin 1981 et mai 1994. Le bilan massique des sulfates pour l'année 1992-1993 était de -11,2 kg/ha (figure 8), c'est-à-dire inférieur à la moyenne de -13 kg/ha pour les bilans annuels des 12 dernières années. Les dépôts

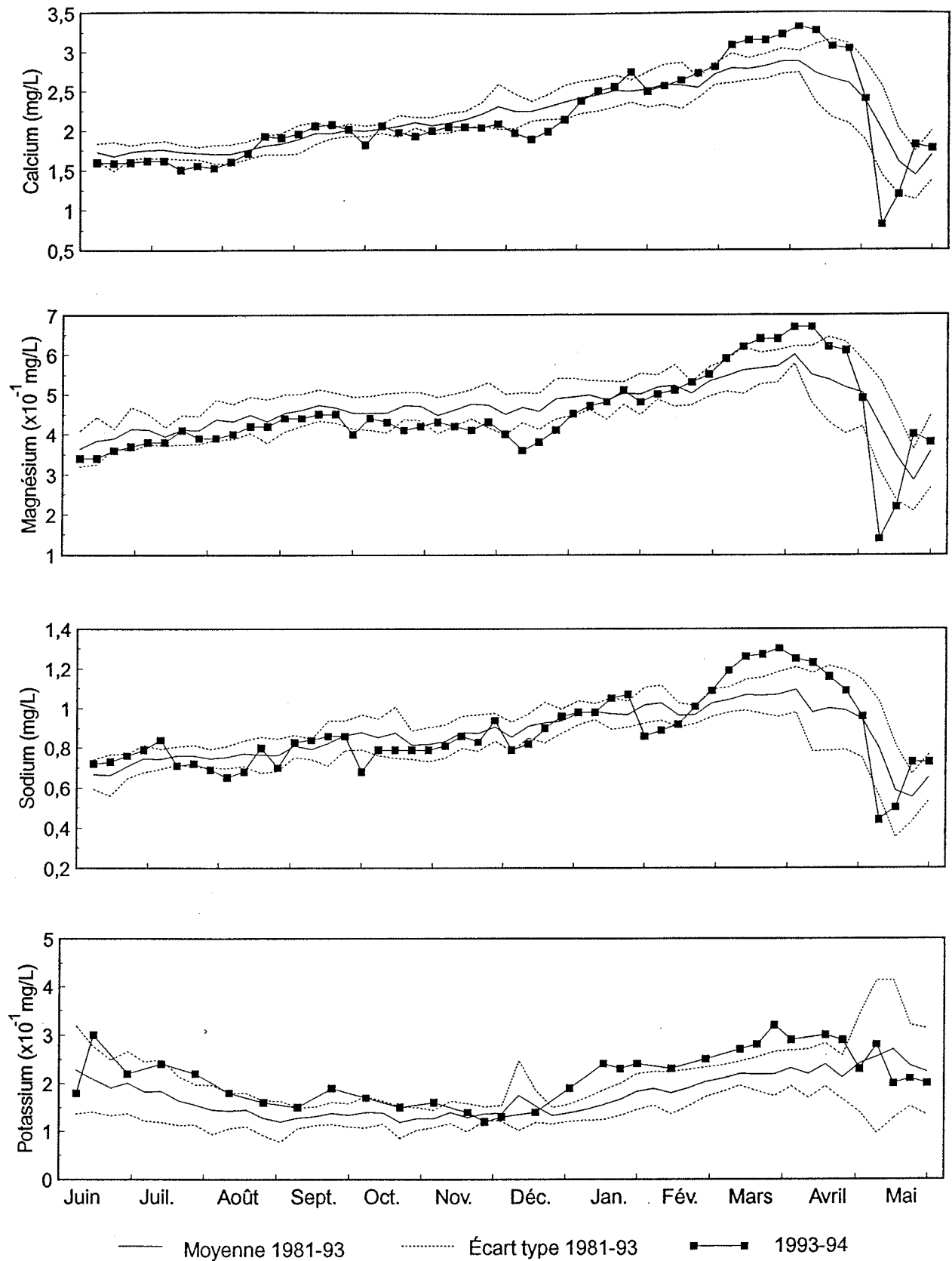


Figure 7 Variations hebdomadaires des concentrations de calcium, de magnésium, de sodium et de potassium des eaux de l'exutoire du lac Laflamme pour l'année hydrologique 1993-1994 et moyennes hebdomadaires de ces variables calculées pour la période de juin 1981 à mai 1993

Tableau 3
Caractéristiques des séries chronologiques des variables chimiques
de l'eau à l'exutoire du lac Laflamme entre juin 1981 et mai 1994

Période	Paramètre	Tendance	Test	Valeur initiale	Valeur finale	Pente
Juin 1981-mai 1994	Alcalinité (mg/L)	B	KS	4,93	3,91	-0,080
Juin 1981-mai 1994	Alcalinité (kg/ha/sem)	B	KS	0,56	0,46	-0,007
Juin 1981-mai 1994	Ca (mg/L)	B	KS	2,29	2,16	-0,011
Juin 1981-mai 1994	Ca + Mg (μ éq/L)	B	KS	155,0	145,1	-0,781
Juin 1986-mai 1994	Ca + Mg (μ éq/L)	B	KS*	145,9	145,7	-0,025
Juin 1981-mai 1994	Cl (mg/L)	B	SL	0,41	0,29	-0,010
Juin 1981-mai 1994	Cl (kg/ha/sem)	B	KS	0,060	0,039	-0,002
Juin 1986-mai 1994	Cl (mg/L)	B	SL	0,37	0,29	-0,010
Juin 1981-mai 1994	Cond. (μ S/cm)	B	KS	22,45	21,50	-0,074
Juin 1986-mai 1994	Cond. (μ S/cm)	B	KS	21,87	21,30	-0,074
Juin 1981-mai 1994	Couleur (unité Hazen)	H	KS	24,31	25,70	0,119
Juin 1981-mai 1994	Fe (mg/L)	H	KS	0,095	0,156	0,005
Juin 1986-mai 1994	Fe (mg/L)	H	KS	0,098	0,168	0,009
Juin 1981-mai 1994	Mg (mg/L)	B	KS	0,49	0,46	-0,003
Juin 1981-mai 1994	Na (mg/L)	B	KS*	0,90	0,86	-0,003
Juin 1986-mai 1994	Al (mg/L)	H	SL	0,093	0,116	0,003
Juin 1986-mai 1994	H (μ g/L)	H	KS	0,284	0,738	0,059
Juin 1986-mai 1994	H (kg/ha/sem)	H	KS	0,055	0,190	0,017
Juin 1986-mai 1994	pH	B	HS*	6,59	6,28	-0,039

Période	Paramètre	Tendance	Test	Valeur initiale	Valeur finale	Pente
Juin 1986-mai 1994	K (mg/L)	H	KS*	0,143	0,183	0,005
Juin 1986-mai 1994	NO ₃ (mgN/L)	H	KS	0,049	0,069	0,003
Juin 1986-mai 1994	NO ₃ (kgN/ha/sem)	H	KS*	0,007	0,012	0,0006
Juin 1986-mai 1994	SO ₄ (mg/L)	B	HS	4,64	3,68	-0,124
Juin 1986-mai 1994	Mn (kg/ha/sem)	H	KS*	0,002	0,003	0,0001
Juin 1986-mai 1994	Zn (kg/ha/sem)	H	KS*	0,0004	0,0006	0,00003

*: $\alpha=0,10$ sinon $\alpha=0,05$.

Légende : B : baisse. H : hausse. KS : Kendall saisonnier. SL : Spearman/Lettenmaier. K : Kendall.
HS : Hirsh et Slack

de nitrates et de l'ion ammonium ont été retenues dans le bassin à 91 p. 100 (figure 8). Les dépôts de calcium, de magnésium, de sodium et de potassium représentaient 5 p. 100, 6 p. 100, 8 p. 100 et 10 p. 100 respectivement des exportations à l'exutoire (figure 8 et 9). Les dépôts de l'ion hydrogène ont été retenus dans le bassin à 98 p. 100, tandis que ceux de chlorures représentaient 56 p. 100 des exportations à l'exutoire (figure 9).

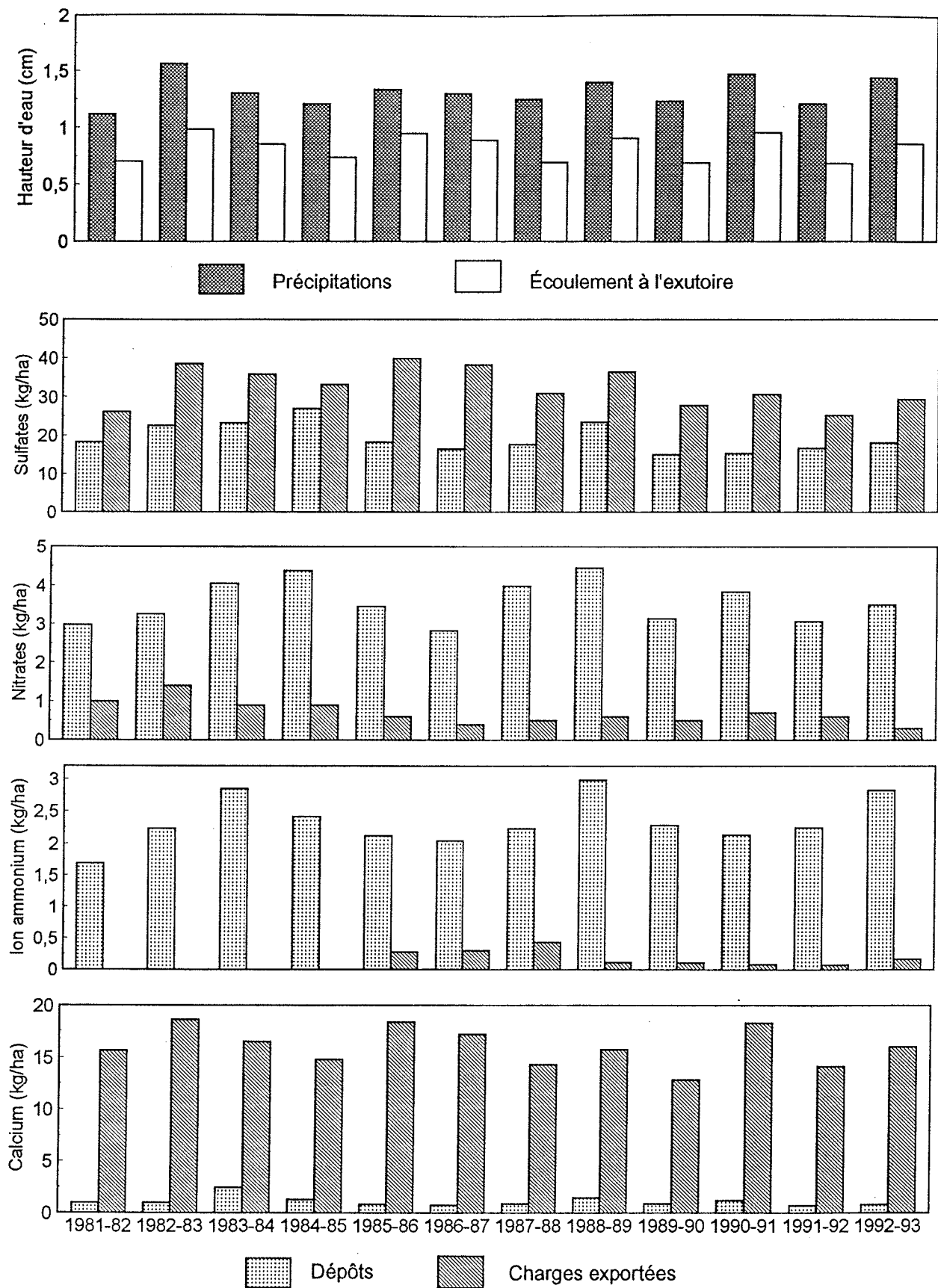


Figure 8 Bilan hydrique annuel et bilan massique annuel des sulfates, des nitrates, de l'ion ammonium et du calcium de 1981-1982 à 1992-1993 au bassin du lac Laflamme

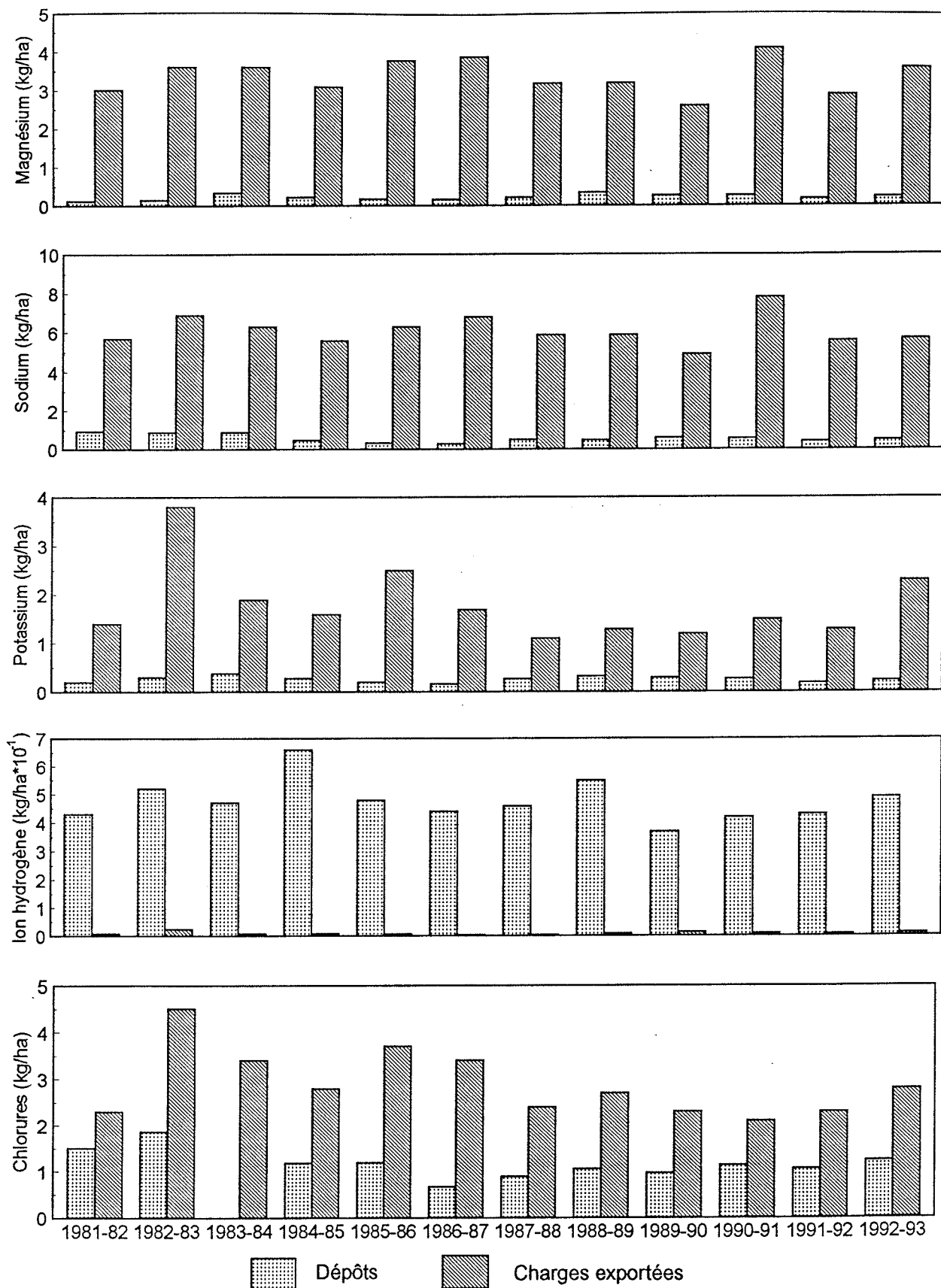


Figure 9 Bilan massique annuel du magnésium, du sodium, du potassium, de l'ion hydrogène et des chlorures de 1981-1982 à 1992-1993 au bassin du lac Laflamme

En 1993-1994, les moyennes annuelles de l'alcalinité de l'eau des quatre puits ont diminué comparativement à l'année précédente, les diminutions variaient entre 4 p. 100 et 13 p. 100 (tableau 4). Les concentrations moyennes annuelles de sulfates de 1993-1994 ont augmentées dans trois des quatre puits (2,8 m, 2,9 m et 13 m), les augmentations variaient de 4 p. 100 à 20 p. 100 (tableau 4). Pour ces mêmes puits, les concentrations moyennes annuelles de nitrates ont diminué de plus de 50 p. 100. Les coefficients de variation des concentrations de nitrates recueillies au cours d'une même année (données intra-annuelles) étaient en moyenne de 90 p. 100 et 87 p. 100 pour les puits de 0,8 m et 13 m respectivement, ces coefficient élevés peuvent rendre l'interprétation des données difficile. Les concentrations moyennes annuelles de chlorures de 1993-1994 ont diminué dans trois des quatre puits (0,8 m, 2,8 m et 2,9 m) par rapport à l'année précédente, les diminutions variaient entre 24 p. 100 et 33 p. 100. Les concentrations moyennes annuelles de l'aluminium de 1993-1994 ont diminué de 9 p. 100 à 36 p. 100 dans les quatre puits comparativement à l'année précédente. Les concentrations moyennes annuelles du calcium et du magnésium de 1993-1994 ont diminué dans les puits de 2,8 m et 2,9 m comparativement à l'année précédente, les diminutions étaient en moyenne de 15 p. 100 pour les concentrations de calcium et de 8 p. 100 pour les concentrations de magnésium.

La tendance à la baisse des concentrations de sulfates détectée entre juillet 1988 et mai 1993 dans les quatre puits du bassin versant ne se retrouvait que dans l'eau des puits de 0,8 m et 13 m pour la période de juillet 1988 à mai 1994 (tableau 5 et figures 10 et 11). Une hausse (non significative) des concentrations de sulfates était notée dans les puits de 2,8 m et 2,9 m depuis 1991, les concentrations moyennes annuelles sont passées de 3,85 mg/L en 1991-1992 à 4,15 mg/L en 1993-1994 pour le puits de 2,8 m et de 3,53 mg/L à 4,23 mg/L pour le puits de 2,9 m. Plusieurs baisses significatives ont été notées pour les cations basiques des eaux souterraines de la zone de recharge (puits de 0,8 m, 2,8 m, 2,9 m) entre juillet 1988 et mai 1994 (tableau 5 et figures 10, 11 et 12). Par contre dans la zone de décharge, l'eau du puits de 13 m montrait des hausses significatives des concentrations de calcium et de sodium pour la même

Tableau 4
Moyenne et écart type () par année hydrologique et pour l'ensemble des années
des variables chimiques des eaux souterraines au bassin versant du lac Laflamme

	1988-89	1989-90	1990-91	1991-92	1992-93	1993-94	Moyenne
Puits 0,8 m							
pH	5,33 (0,10)	5,27 (0,20)	5,01 (0,33)	5,38 (0,08)	5,29 (0,11)	5,29 (0,12)	5,24 (0,19)
Alcalinité Gran (mg/L)	0,77 (0,09)	0,52 (0,30)	0,61 (0,18)	0,82 (0,28)	0,59 (0,25)	0,51 (0,11)	0,64 (0,25)
Ca (mg/L)	1,11 (0,08)	1,11 (0,08)	1,15 (0,05)	1,25 (0,19)	1,04 (0,17)	1,08 (0,15)	1,12 (0,15)
Mg (mg/L)	0,23 (0,04)	0,20 (0,07)	0,22 (0,04)	0,21 (0,03)	0,17 (0,02)	0,20 (0,03)	0,20 (0,04)
SO ₄ (mg/L)	5,15 (0,38)	4,95 (0,30)	4,70 (0,16)	4,75 (0,39)	4,23 (0,37)	4,03 (0,23)	4,63 (0,50)
NO ₃ (mgN/L)	0,043 (0,052)	0,025 (0,018)	0,045 (0,051)	0,018 (0,011)	0,030 (0,019)	0,030 (0,033)	0,0317 (0,036)
Cl (mg/L)	0,29 (0,07)	0,31 (0,09)	0,37 (0,12)	0,32 (0,06)	0,27 (0,08)	0,18 (0,03)	0,29 (0,10)
Al (mg/L)	0,411 (0,067)	0,383 (0,054)	0,307 (0,143)	0,359 (0,077)	0,381 (0,084)	0,346 (0,083)	0,365 (0,095)
Puits 2,8 m							
pH	6,18 (0,18)	5,86 (0,40)	5,98 (0,35)	5,88 (0,20)	6,03 (0,26)	6,07 (0,18)	5,99 (0,29)
Alcalinité Gran (mg/L)	3,59 (0,41)	2,71 (0,56)	3,17 (0,29)	2,98 (0,25)	3,23 (0,29)	2,79 (0,14)	3,08 (0,46)
Ca (mg/L)	2,70 (0,07)	2,75 (0,15)	2,81 (0,15)	3,05 (0,38)	2,81 (0,21)	2,39 (0,11)	2,75 (0,28)
Mg (mg/L)	0,30 (0)	0,30 (0)	0,32 (0,03)	0,34 (0,04)	0,31 (0,02)	0,28 (0,02)	0,31 (0,03)
SO ₄ (mg/L)	4,51 (0,34)	4,10 (0,31)	3,95 (0,11)	3,85 (0,23)	3,98 (0,15)	4,15 (0,22)	4,09 (0,32)
NO ₃ (mgN/L)	0,578 (0,125)	0,840 (0,241)	0,695 (0,275)	1,07 (0,367)	0,753 (0,185)	0,293 (0,134)	0,705 (0,336)
Cl (mg/L)	0,45 (0,15)	0,55 (0,11)	0,65 (0,30)	0,46 (0,02)	0,37 (0,03)	0,28 (0,10)	0,46 (0,19)
Al (mg/L)	0,048 (0,008)	0,045 (0,017)	0,047 (0,015)	0,060 (0,011)	0,059 (0,015)	0,038 (0,007)	0,050 (0,015)
Fe (mg/L)	0,013 (0,008)	0,022 (0,001)	0,057 (0,083)	0,028 (0,015)	0,022 (0,017)	0,014 (0,003)	0,026 (0,038)

	1988-89	1989-90	1990-91	1991-92	1992-93	1993-94	Moyenne
Puits 2,9 m							
pH	5,75 (0,26)	5,85 (0,41)	5,87 (0,29)	5,80 (0,07)	5,78 (0,46)	6,25 (0,13)	5,86 (0,34)
Alcalinité Gran (mg/L)	2,56 (0,62)	2,27 (0,22)	3,01 (0,43)	2,68 (0,13)	2,97 (0,35)	2,73 (0,12)	2,70 (0,44)
Ca (mg/L)	2,73 (0,11)	2,45 (0,79)	2,92 (0,24)	3,02 (0,42)	2,86 (0,15)	2,41 (0,15)	2,73 (0,45)
Mg (mg/L)	0,30 (0,00)	0,28 (0,04)	0,34 (0,02)	0,35 (0,04)	0,31 (0,01)	0,29 (0,02)	0,31 (0,04)
SO ₄ (mg/L)	4,24 (0,18)	4,08 (0,19)	3,80 (0,25)	3,53 (0,28)	3,90 (0,12)	4,23 (0,26)	3,96 (0,33)
NO ₃ (mgN/L)	0,855 (0,194)	1,120 (0,300)	0,965 (0,407)	1,350 (0,237)	0,813 (0,191)	0,293 (0,102)	0,899 (0,414)
Cl (mg/L)	0,48 (0,08)	0,63 (0,15)	0,62 (0,25)	0,45 (0,06)	0,32 (0,06)	0,23 (0,07)	0,45 (0,20)
Al (mg/L)	0,061 (0,014)	0,056 (0,016)	0,069 (0,014)	0,069 (0,013)	0,063 (0,006)	0,042 (0,005)	0,060 (0,015)
Fe (mg/L)	0,016 (0,004)	0,017 (0,003)	0,014 (0,007)	0,018 (0,010)	0,015 (0,004)	0,012 (0,005)	0,016 (0,006)
Puits 13 m							
pH	6,93 (0,12)	6,82 (0,20)	6,66 (0,41)	6,85 (0,19)	7,23 (0,06)	6,91 (0,06)	6,87 (0,25)
Alcalinité Gran (mg/L)	45,3 (1,86)	42,7 (1,56)	43,6 (4,72)	44,0 (1,14)	45,2 (1,57)	43,2 (1,94)	44,0 (2,62)
Ca (mg/L)	8,85 (0,35)	8,23 (0,36)	8,48 (0,58)	8,42 (0,54)	8,93 (0,37)	8,93 (0,47)	8,64 (0,53)
Mg (mg/L)	3,73 (0,16)	3,50 (0,23)	3,28 (0,78)	3,20 (0,84)	3,67 (0,19)	3,68 (0,15)	3,51 (0,53)
SO ₄ (mg/L)	3,00 (0,43)	2,33 (0,11)	2,78 (0,28)	2,45 (0,18)	2,38 (0,57)	2,85 (1,09)	2,63 (0,61)
NO ₃ (mgN/L)	0,008 (0,004)	0,015 (0,011)	0,015 (0,005)	0,040 (0,034)	0,065 (0,072)	0,033 (0,056)	0,028 (0,045)
Cl (mg/L)	0,55 (0,09)	0,57 (0,04)	0,81 (0,41)	0,81 (0,30)	0,57 (0,03)	0,62 (0,07)	0,65 (0,24)
Al (mg/L)	0,009 (0,001)	0,015 (0,004)	0,026 (0,016)	0,016 (0,003)	0,018 (0,003)	0,013 (0,002)	0,016 (0,009)
Fe (mg/L)	3,08 (0,68)	3,32 (0,62)	3,74 (0,97)	3,44 (0,48)	3,00 (0,34)	4,23 (1,23)	3,46 (0,90)

Tableau 5
Caractéristiques des séries chronologiques des variables chimiques pour les eaux
souterraines du bassin du lac Laflamme entre juillet 1988 et mai 1994

Période	Paramètre	Tendance	Test	Valeur initiale	Valeur finale	Pente
Puits 0,8 m						
Juil. 1988-mai 1994	Alcalinité (mg/L)	B	K*	0,750	0,546	-0,031
Juil. 1988-mai 1994	Cl (mg/L)	B	K	0,376	0,225	-0,022
Juil. 1988-mai 1994	Mg (mg/L)	B	K*	0,222	0,181	-0,006
Juil. 1988-mai 1994	SO ₄ (mg/L)	B	SL	5,38	3,88	-0,221
Puits 2,8 m						
Juil. 1988-mai 1994	Cl (mg/L)	B	K	0,714	0,267	-0,066
Juil. 1988-mai 1994	Na (mg/L)	B	K*	1,08	0,88	-0,031
Puits 2,9 m						
Juil. 1988-mai 1994	Al (mg/L)	B	K*	0,071	0,052	-0,003
Juil. 1988-mai 1994	Cl (mg/L)	B	K	0,860	0,173	-0,101
Juil. 1988-mai 1994	K (mg/L)	B	K	0,441	0,185	-0,038
Juil. 1988-mai 1994	Na (mg/L)	B	K	1,117	0,763	-0,052
Juil. 1988-mai 1994	pH	H	KS	5,76	6,17	0,060
Puits 13 m						
Juil. 1988-mai 1994	Ca (mg/L)	H	K*	8,37	8,90	-0,077
Juil. 1988-mai 1994	Na (mg/L)	H	K	2,92	3,44	0,076
Juil. 1988-mai 1994	SO ₄ (mg/L)	B	K	2,81	2,45	-0,052

*: $\alpha=0,10$ sinon $\alpha=0,05$.

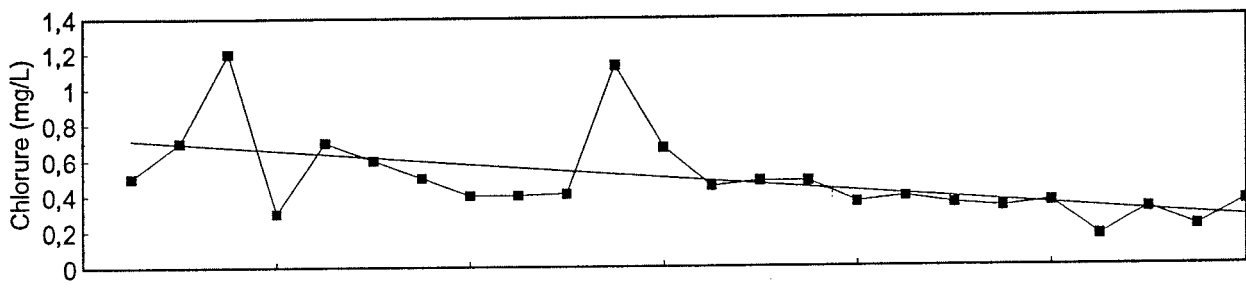
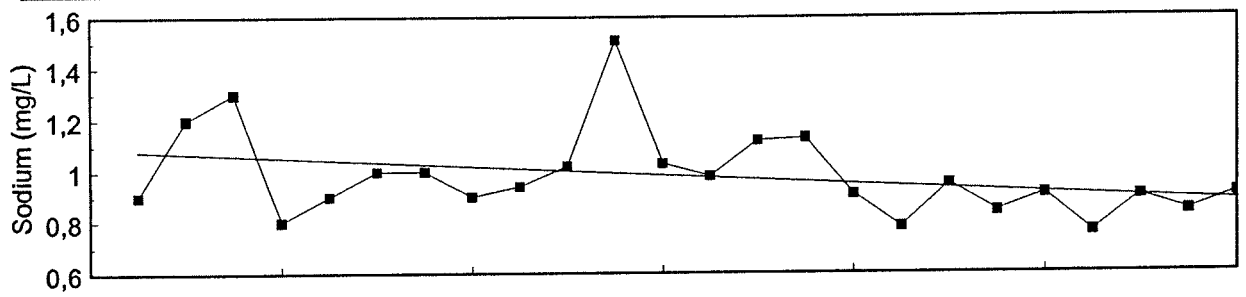
Légende : B : baisse. H : hausse. KS : Kendall saisonnier. SL : Spearman/Lettenmaier. K : Kendall.

HS : Hirsh et Slack

période (tableau 5 et figure 10). Pour les puits de 2,8 m et 2,9 m, les concentrations élevées de nitrates (entre 1 mgN/L et 1,6 mgN/L) enregistrées surtout entre 1989-1990 et 1991-1992, ont baissé aux environs de 0,4 mgN/L après 1991-1992 mais aucune tendance à la baisse n'était détectée.

Entre juillet 1988 et mai 1994, l'alcalinité des eaux souterraines du puits de 0,8 m a diminué significativement de 0,75 mg/L à 0,546 mg/L (tableau 5 et figure 11). Les concentrations de sulfates, de magnésium et de chlorures de ce même puits étaient significativement en baisse, des diminutions de 28 p. 100, 18 p. 100 et 40 p. 100 respectivement (tableau 5 et figure 11)). L'eau des puits de 2,8 m et 2,9 m montrait des baisses des concentrations de chlorures (63 p. 100 et 80 p. 100 respectivement) et de sodium (19 p. 100 et 32 p. 100 respectivement) entre juillet 1998 et mai 1994 (tableau 5 et figures 10 et 12). Pour le puits de 2,9 m, on enregistrerait, en plus des baisses des concentrations d'aluminium (27 p. 100) et de potassium (58 p. 100), une hausse du pH (7 p. 100) (tableau 5 et figure 12).

Puits 2,8 m



Puits 13 m

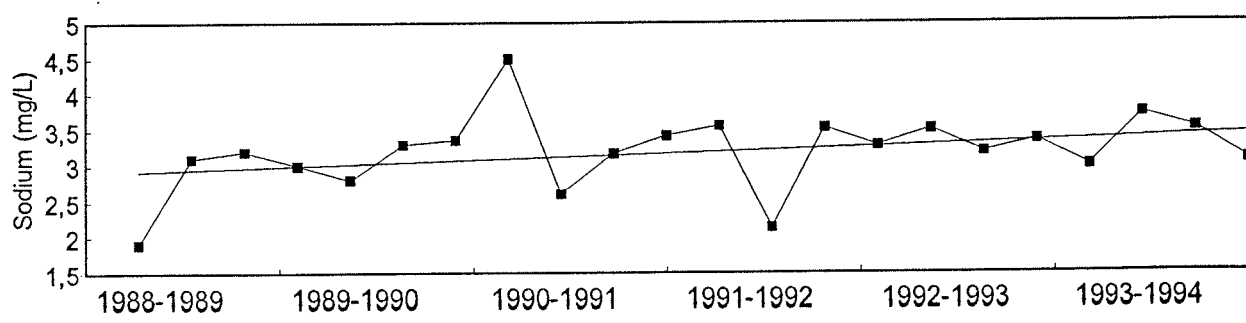
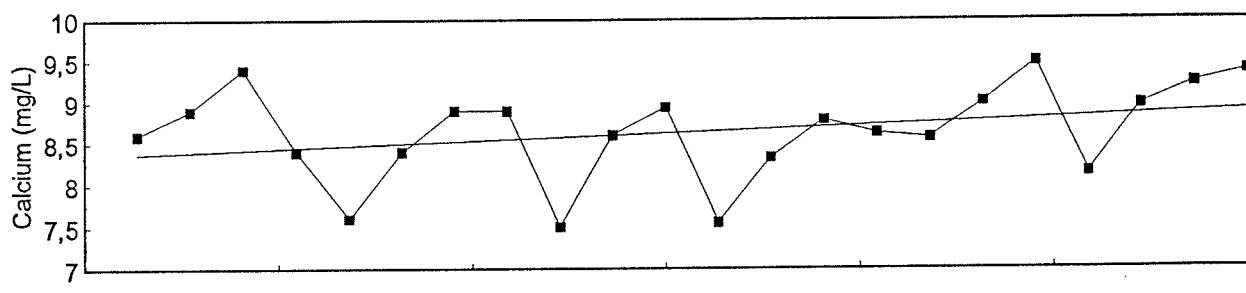
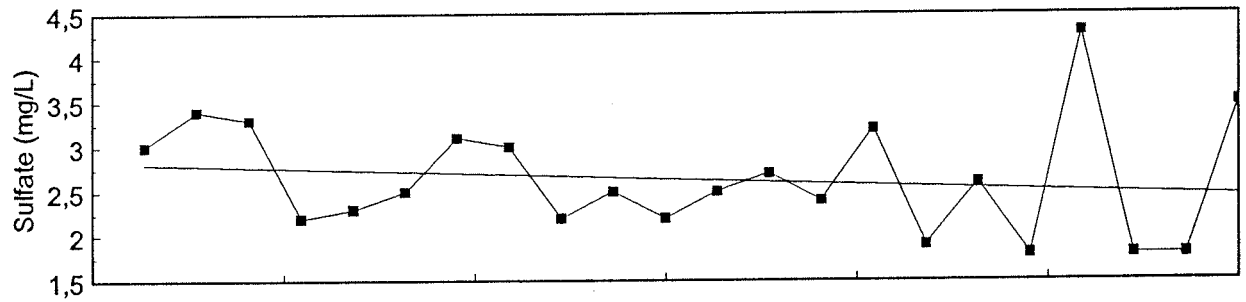


Figure 10 Tendances dans les variables physico-chimiques des eaux souterraines dans les puits de 2,8 m et 13 m au bassin du lac Laflamme entre juillet 1988 et mai 1994

Puits 2,9 m

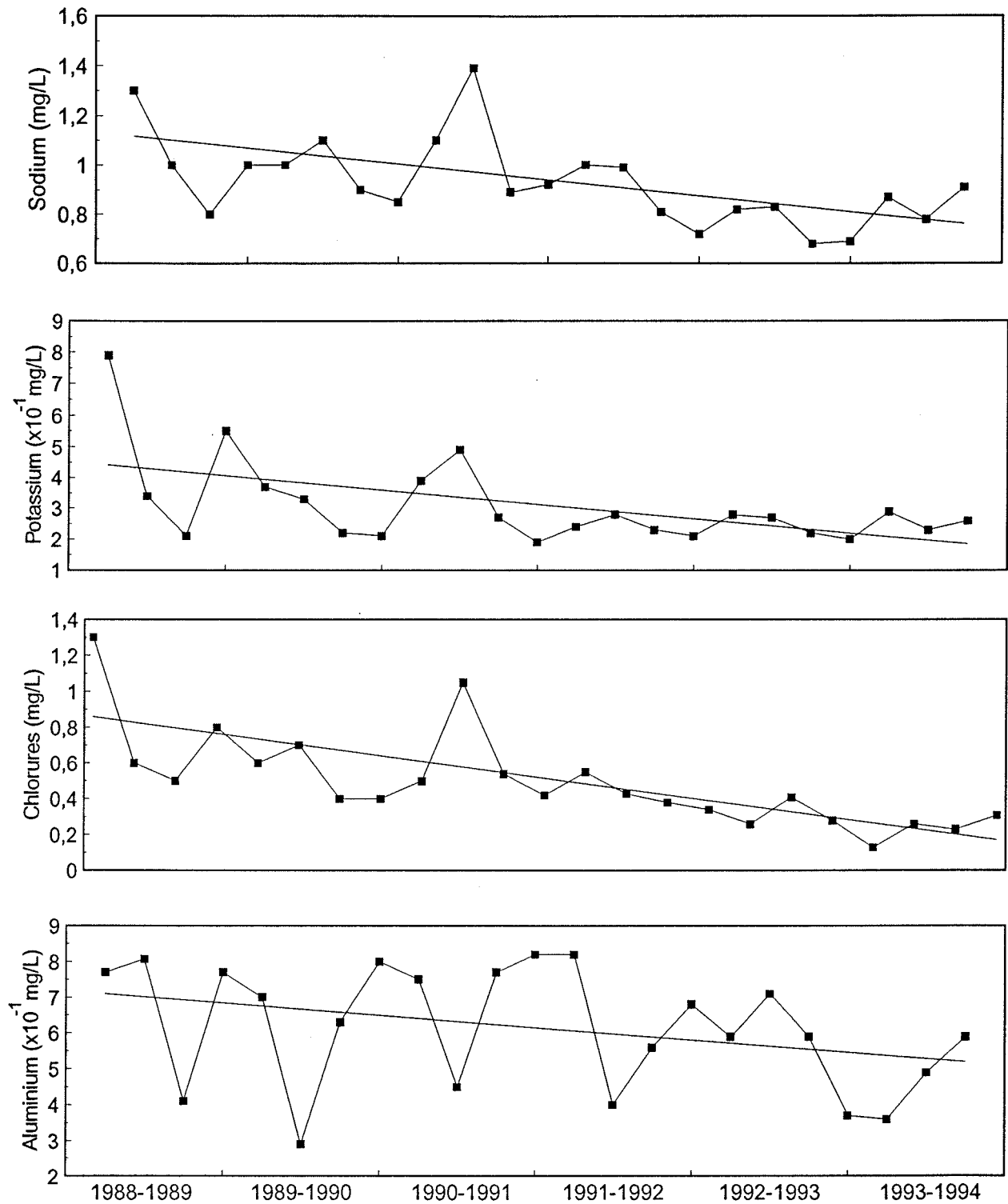


Figure 11 Tendances dans les variables physico-chimiques des eaux souterraines dans le puits de 2,9 m au bassin du lac Laflamme entre juillet 1988 et mai 1994

Puits 0,8 m

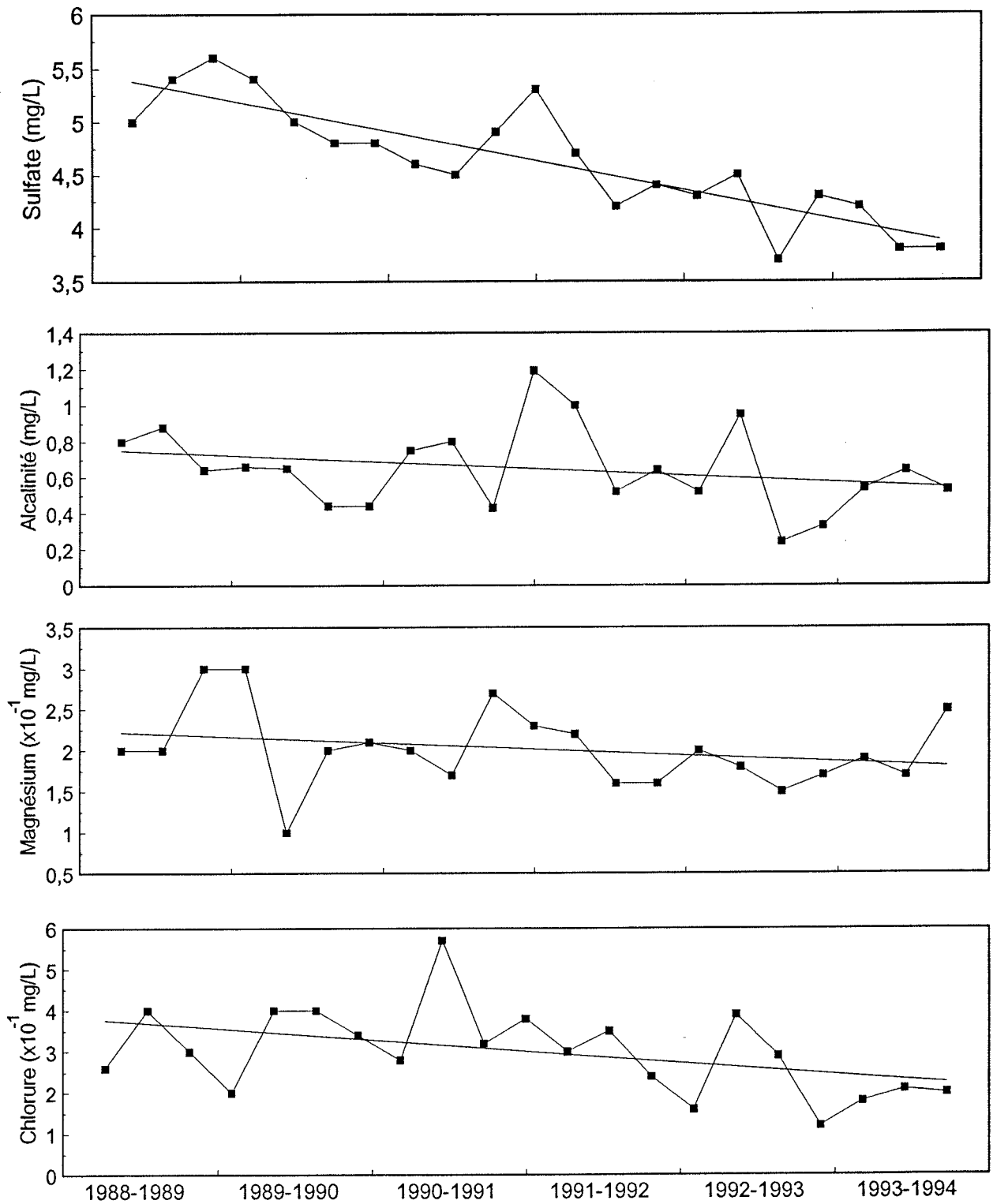


Figure 12 Tendances dans les variables physico-chimiques des eaux souterraines dans le puits de 0,8 m au bassin du lac Laflamme entre juillet 1988 et mai 1994

Depuis 1981, les concentrations de sulfates dans les précipitations diminuent avec des pentes de tendance qui ont doublé après 1988 (de $-0,048$ mg/L/an de 1981 à 1993 à $-0,098$ mg/L/an de 1988 à 1993). Les dépositions mensuelles de sulfates sur le bassin du lac Laflamme ont connu une diminution de 15 p. 100 entre 1988 et 1993. La hausse des concentrations de nitrates des précipitations notée pour la période de 1981 à 1992 n'est plus significative entre 1981 et 1993 et même que depuis 1988, les concentrations et les dépositions de nitrates sont à la baisse. Suivant la tendance à la baisse des concentrations et des dépositions de sulfates et de nitrates, l'acidité des précipitations a aussi diminué entre 1988 et 1993. Les concentrations des cations (Ca, Mg, Na, K) ont diminué au cours de la même période. Selon Lynch *et al.* (1995) une baisse des concentrations de cations (Ca et Mg) dans les précipitations peut ralentir la récupération de l'acidité des précipitations malgré une baisse significative des concentrations de sulfates.

Les eaux de surface du lac Laflamme et celles à l'exutoire ont montré des baisses significatives des concentrations de sulfates depuis 1986. Tout comme dans les précipitations, les concentrations des cations (Ca et Mg) ont diminué significativement. Kirchner et Lydersen (1995) ont montré que dans quatre bassins versants norvégiens, la baisse des concentrations de sulfates dans les eaux de surface, jumelée à une baisse des concentrations de calcium et de magnésium pouvait entraîner un manque de récupération de l'état d'acidité des eaux de surface. Les baisses des concentrations de calcium et de magnésium dans les eaux de surface du bassin du lac Laflamme sont devenues plus importantes au cours des dernières années. Les pentes de tendance à la baisse des concentrations de calcium étaient plus prononcées entre juin 1981 et mai 1994 qu'entre juin 1981 et mai 1993. Des tendances à la baisse ont aussi été détectées pour les concentrations de magnésium entre juin 1981 et mai 1994 et pour les concentrations de calcium et de magnésium entre juin 1986 et mai 1994. La hausse des concentrations de potassium au lac et à l'exutoire depuis 1986 pourrait s'expliquer par le lessivage de la végétation et le ruissellement dans les sols causés par plusieurs événements pluvieux en 1992-1993 et en 1993-1994.

En terme de signes d'acidification, des baisses significatives du pH et de

l'alcalinité des eaux du lac ont été observées pour la période de juin 1986 et mai 1994, tandis qu'à l'exutoire seule la baisse de pH fut significative. Une baisse de l'alcalinité dans l'eau du puits de 0,8 m fut aussi détectée. Les fortes pluies des mois d'avril, mai, août, octobre et novembre 1993 semblent entraîner des phénomènes de dilution causant une diminution de l'alcalinité du lac.

On doit cependant noter quelques signes de récupération de l'état d'acidité ou du moins pouvant entraîner une récupération. Notons, premièrement, la pente de tendance plus faible dans la baisse de l'alcalinité du lac entre juin 1981 et mai 1994 et entre juin 1986 et mai 1994 comparativement aux périodes de juin 1981 à mai 1993 et juin 1986 et mai 1993 respectivement. De plus, la baisse des concentrations de sulfates se poursuit et la hausse des concentrations de nitrates au lac, calculée pour la période entre juin 1986 et mai 1993 n'apparaît plus significative entre juin 1986 et mai 1994.

RÉFÉRENCES

- Baier, W. G., T.A. Cohn (1993). *Trend analysis of sulfate, nitrate and pH data collected at National Atmospheric Deposition Program/National Trends Network stations between 1980 and 1991*. U.S. Geological Survey, Open-File report 93-56, 13 p.
- Bouchard, A. (1995). *Acidification et récupération des lacs du sud du Québecen 1993*. Environnement Canada - région du Québec, Conservation de l'Environnement, Centre Saint-Laurent, Rapport scientifique et technique ST-11, 121 pages.
- Canada-United States committee on Air Quality (1994). *Canada-United States Air Quality Agreement: progress report*. [Ottawa, Canada-United States Committee on Air Quality] 15 p.
- 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.* 52: 197-212.
- Cluis, D.A., C. Laberge, C. Houle. (1988). *Détection des tendances et dépassement de normes en qualité de l'eau*. I.N.R.S.-Eau.
- Couture, S. (1994a). *Caractérisation de la récupération de l'état d'acidité au bassin du lac Laflamme entre juin 1992 et mai 1993*. Environnement Canada, Conservation de l'environnement, région du Québec, Centre Saint-Laurent, rapport ST-7.
- Couture, S. (1994b). *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.
- Dupont, J. (1993). *Bilan de l'acidité des lacs du Québec méridional*. Environnement Québec, Direction de la qualité des cours d'eau.

- Gouvernement du Québec. (1994). *L'acidité des eaux au Québec*. Ministère de l'Environnement et de la faune du Québec.
- Hedin, L.O., L. Granat, G.E. Likens, T.A. Buishand, J.N. Galloway, T.J. Butler, H. Rodhe (1994). «Steep declines in atmospheric base cations in regions of Europe and North America.» *Nature*, 367: 351-354.
- Jeffries, D. (1995). *Fresh water acidification in Canada caused by atmospheric deposition of nitrogen pollutants: a preliminary assessment of existing information*. Environment Canada, Aquatic Ecosystem Conservation Branch, NWRI Contribution No. 95-116
- Kirchner, J.W., E. Lydersen. (1995). «Base Cation Depletion and Potential Long-Term Acidification of Norwegian Catchments» *Environ. Sci. Technol.*, 29, 1953-1960.
- Lynch, J.A., J.W. Grimm, V.C. Bowersox. (1995). «Trends in precipitation chemistry in the United States: a national perspective, 1980-1992.» *Atmospheric Environment*, 29: 1231-1246.
- Robitaille, G., R. Boutin. (1990). *Transfert d'éléments inorganiques solubles dans une forêt de sapins baumiers située dans la région boréale*. Forêt Canada, région du Québec, Rapport d'information LAU-X-94f, 36 p.
- Sirois, A. (1993). «Temporal variation of sulphate and nitrate concentration in precipitation in eastern North America : 1979-1990.» *Atmospheric Environment*, 27A (6) : 945-963.
- 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.

Annexe 1
Moyennes annuelles pondérées des teneurs et dépôts atmosphériques
annuels de différents ions analysés dans les précipitations

A. Teneurs 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	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
1993	4,47	33,9	0,06	0,02	0,03	0,02	0,22	1,08	0,07	0,25
Moyenne	4,45**	35,8	0,08	0,02	0,04	0,02	0,18	1,46	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

Hauteur des préci- pitations (m)	Charges (kg/ha)								
	SO ₄	N-NO ₃	N-NH ₄	Cl	Ca	Na	H ⁺	K	Mg
1,33	19,4	2,91	1,75	1,12	1,25	1,22	0,38	0,27	0,19
1,20	21,1	3,36	1,74	2,11	0,93	1,07	0,50	0,22	0,13
1,62	24,0	3,17	2,44*	2,94*	1,91	0,77*	0,52	0,39	0,26
1,13	23,2	3,66	2,27	1,99*	1,55*	0,71*	0,51	0,30	0,27
1,28	23,1	4,12	2,32	1,35	1,15	0,39	0,62	0,21	0,21
1,55	18,4	3,49	2,30	0,90	0,83	0,34	0,53	0,20	0,19
1,12	16,5	2,86	2,01	0,60	0,68	0,29	0,38	0,21	0,14
1,37	24,6	4,73	3,20	1,19	1,39	0,62	0,58	0,30	0,35
1,15	14,4	3,21	1,92	0,93	1,04	0,51	0,36	0,28	0,30
1,51	16,7	3,63	2,52	1,07	1,18	0,63	0,41	0,34	0,30
1,25	15,4	3,22	2,16	0,87	0,77	0,33	0,41	0,17	0,17
1,29	17,3	3,22	2,05	1,27	0,70	0,45	0,46	0,23	0,20
1,55	17,1	4,05	2,77	1,12	0,95	0,52	0,55	0,38	0,30
1,33	19,3	3,51	>2,27	>1,34	>1,10	>0,60	0,48	0,27	0,23

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

Annexe 2
Données de laboratoire sur les variables chimiques du lac, de l'exutoire et des eaux souterraines
du bassin versant du lac Laflamme entre juin 1993 et mai 1994

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)	
1993																	
6	9	6,6	1,69	0,36	0,88	0,11	2,52	3,5	0,52	0,020	18	42	0,175	0,088	0,014	0,007	
15	6,6	1,67	0,36	0,75	0,39	2,58	3,4	0,50	0,00	0,016	18e	36	0,160	0,078	0,014	0,007	
22	6,5	1,72	0,38	0,81	--	2,66	3,3	--	0,00	0,017	--	--	0,156	0,069	0,014	0,006	
29	6,4	1,71	0,39	0,83	0,32	2,54	3,6	0,36	0,03	0,016	18	32	0,140	0,071	0,013	0,006	
7	6	6,4	1,74	0,40	0,86	--	2,80	3,2	0,00	0,010	--	--	0,135	0,072	0,013	0,006	
13	6,2	1,59	0,40	0,76	0,33	2,88	3,3	0,25	0,00	0,012	19	24	0,137	0,076	0,013	0,007	
20	6,2	1,60	0,41	0,74	--	3,10	2,6	--	0,03	0,010	--	--	0,119	0,079	0,012	0,004	
27	6,4	1,63	0,41	0,75	0,27	3,16	2,6	0,21	0,00	0,011	18	26	0,101	0,078	0,012	0,005	
8	3	6,4	1,76	0,43	0,73	--	3,41	3,0	0,00	0,009	--	--	0,091	0,077	0,012	0,005	
10	6,2	1,83	0,42	0,71	0,19	3,47	3,5	0,32	0,00	0,008	19	25	0,107	0,098	0,013	0,004	
17	6,2	1,86	0,42	0,70	--	3,42	3,2	--	0,00	0,009	--	--	0,121	0,106	0,015	0,005	
25	6,2	2,00	0,44	0,74	0,21	3,55	3,2	0,28	0,00	0,008	19	29	0,108	0,103	0,014	0,004	
31	6,3	2,13	0,47	0,87	--	3,88	3,2	--	0,00	0,009	--	--	0,096	0,100	0,012	0,005	
9	7	6,3	2,15	0,47	0,93	0,23	4,12	2,9	0,00	0,007	20	27	0,093	0,127	0,014	0,005	
14	6,2	2,14	0,46	0,89	--	4,37	3,2	--	0,00	0,010	--	--	0,096	0,181	0,012	0,004	
21	6,4	2,30	0,50	0,98	0,23	4,70	3,0	0,26	0,00	0,010	20	29	0,089	0,160	0,010	0,003	
28	6,8	2,13	0,46	0,82	--	5,00	3,0	--	0,00	0,009	--	--	0,080	0,137	0,008	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. (μ S/cm)	Coul. (unité)	Al (mg/L)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	Zn (mg/L)	
1993																	
10	5	6,4	2,11	0,45	1,00	0,44	4,17	3,2	0,50	0,009	21	29	0,110	0,132	0,009	0,005	
	12	6,4	2,08	0,44	0,88	--	4,04	3,1	--	0,007	--	--	0,114	0,145	0,008	0,004	
	19	6,4	2,01	0,43	0,85	0,24	3,75	3,4	0,29	0,007	19	27	0,125	0,105	0,008	0,004	
	26	6,2	2,04	0,42	0,99	--	3,75	3,9	--	0,012	--	--	0,137	0,116	0,008	0,008	
	11	2	6,5	2,11	0,44	0,26	3,94	3,6	0,40	0,009	21	27	0,130	0,105	0,008	0,007	
	9	6,3	2,13	0,44	0,89	--	3,82	3,7	--	0,010	--	--	0,129	0,125	0,010	0,006	
	16	6,4	2,20	0,46	0,90	0,21	4,30	3,4	0,28	0,007	21	28	0,119	0,113	0,012	0,005	
	23	6,2	2,12	0,45e	0,94e	0,29	4,36	3,5	0,34	0,012	22	31	0,121	0,090	0,011	0,005	
	30	6,3	2,22	0,43	0,97	0,29	3,43	3,9	0,42	0,008	22	34	0,143	0,122	0,014	0,007	
	12	7	6,2	2,31	0,46	--	4,48	4,0	--	0,006	--	--	0,126	0,121	0,017	0,007	
	14	6,3	2,40	0,49	1,07	0,25	5,58	3,4	0,34	0,006	24	26	0,112	0,134	0,020	0,007	
	21	6,2	2,68	0,55	1,10	--	6,47	3,1	--	0,007	--	--	0,102	0,209	0,026	0,005	
1994																	
	1	4	6,4	2,64	0,54	0,33	6,02	4,0	0,43	0,009	25	23	0,105	0,222	0,027	0,008	
	11	6,3	2,74	0,56	1,44	--	5,98	3,7	--	0,003	--	--	0,104	0,231	0,029	0,006	
	18	6,3	2,75	0,56	1,31	0,37	6,37	3,7	0,50	0,005	26	24	0,091	0,212	0,027	0,005	
	25	6,2	2,93	0,59	1,69	0,52	6,05	3,8	0,72	0,008	27	23	0,091	0,213e	0,028	0,010	
	2	1	6,2	2,52	0,49	0,48	6,26	3,7	0,64	0,009	26	18	0,081	0,213	0,024	0,007	
	15	6,3	2,68	0,55	1,18	0,37	6,69	3,6	0,49	0,008	26	16	0,076	0,255	0,029	0,006	

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)	
1994																	
3	6,1	2,96	0,60	1,75	0,69	6,37	3,9	0,54e	0,18	0,011	32	22	0,072	0,341	0,034	0,009	
8	6,2	2,98	0,62	1,41	--	7,32	3,8	--	0,21	0,011	--	--	0,074	0,355	0,036	0,007	
15	6,2	3,11	0,63	1,54	0,40	7,30	4,1	0,59	0,22	0,007	29	18	0,070	0,241	0,031	0,005	
22	6,2	3,14	0,67	1,39	0,32	7,91	3,7	0,32	0,22	0,010	29	26	0,068	0,304	0,034	0,006	
29	6,3	3,13	0,65	1,55	0,46	7,26	4,0	0,48	0,21	0,011	30	25	0,065	0,352	0,030	0,008	
4	5	6,2	3,31	0,75	0,33	9,00	3,6	0,31	0,15	0,012	31	29	0,074	0,520	0,054	0,009	
12	6,2	3,13	0,72	1,23	--	8,98	3,8	--	0,14	0,011	--	--	0,067	0,454	0,049	0,026	
19	6,2	3,03	0,68	1,18	0,27	6,83	3,9	0,31	0,26	0,010	29	27	0,056	0,356	0,045	0,011	
26	6,1	2,73	0,64	1,09	0,28	6,86	3,6	0,34	0,19	0,009	26	26	0,056	0,450	0,048	0,008	
5	3	6,4	2,78	0,67	0,28	7,37	3,3	0,28	0,15	0,009	27	30	0,070	0,491	0,049	0,007	
10	6,1	2,79	0,66	1,10	0,29	7,68	2,8	0,30	0,11	0,015	26	24	0,073	0,510	0,051	0,007	
17	6,1	2,38	0,58	1,00	0,24	5,67	3,6	0,25	0,09	0,008	23	24	0,091	0,372	0,044	0,006	
24	6,4	1,91	0,42	0,79	0,24	3,58	3,0	0,27	0,06	0,010	19	33	0,137	0,322	0,034	0,006	
31	6,5	1,92	0,40	0,77	0,22	3,59	3,1	0,39	0,03	0,007	18	39	0,132	0,245	0,026	0,005	

A. 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 total (mg/L)	Cond. (μ S/cm)	Coul. (unité)	Al (mg/L)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	Zn (mg/L)	
1993																	
6	9	6,5	1,60	0,34	0,72	2,13	3,5	0,37	0,00	0,009	16	42	0,157	0,076	0,015	0,005	
15	6,8	1,59	0,34	0,73	0,30	2,33	3,5	0,38	0,00	0,010	17e	36	0,158	0,084	0,018	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 total (mg/L)	Cond. (μ S/cm)	Coul. (unité)	Al (mg/L)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	Zn (mg/L)	
1993																	
22	6,4	1,60	0,36	0,76	--	2,36	3,2	--	0,00	0,008	--	--	0,143	0,079	0,018	0,004	
6	29	6,4	0,37	0,79	0,22	2,09	3,6	0,34	0,03	0,008	17	32	0,136	0,078	0,015	0,004	
7	6	6,0	0,38	0,84	--	2,31	3,6	--	0,00	0,008	--	--	0,123	0,083	0,017	0,003	
13	6,1	1,51	0,38	0,71	0,24	2,67	3,2	0,18	0,00	0,009	17	26	0,119	0,096	0,019	0,003	
20	6,1	1,56	0,41	0,72	--	2,79	2,5	--	0,03	0,007	--	--	0,102	0,089	0,016	0,003	
27	6,1	1,53	0,39	0,69	0,22	2,79	2,6	0,27	0,00	0,007	17	30	0,099	0,090	0,014	0,003	
8	3	6,4	0,39	0,65	--	2,92	3,0	--	0,00	0,006	--	--	0,093	0,079	0,012	0,003	
10	6,3	1,71	0,40	0,68	0,18	2,88	3,4	0,33	0,00	0,005	17	25	0,103	0,081	0,010	0,003	
17	6,2	1,93	0,42	0,80	--	3,29	3,1	--	0,00	0,005	--	--	0,118	0,101	0,014	0,004	
25	6,2	1,91	0,42	0,70	0,16	3,43	3,3	0,25	0,00	0,005	18	25	0,111	0,116	0,011	0,003	
31	6,2	1,96	0,44	0,83	--	3,44	3,3	--	0,00	0,007	--	--	0,122	0,128	0,017	0,003	
9	7	6,2	0,44	0,84	0,15	4,04	2,9	0,23	0,00	0,006	18	23	0,124	0,132	0,012	0,002	
14	6,1	2,08	0,45	0,86	--	3,89	3,1	--	0,00	0,009	--	--	0,099	0,162	0,010	0,002	
21	6,4	2,02	0,45	0,86	0,19	4,60	3,2	0,24	0,00	0,005	19	29	0,091	0,147	0,012	0,002	
28	6,5	1,82	0,40	0,68	--	3,79	3,0	--	0,00	0,004	--	--	0,114	0,130	0,008	0,002	
10	5	6,5	0,44	0,79	0,17	3,78	3,2	0,28	0,00	0,005	19	29	0,120	0,122	0,008	0,003	
12	6,3	1,98	0,43	0,79	--	3,65	3,2	--	0,00	0,004	--	--	0,118	0,104	0,007	0,003	
19	6,2	1,93	0,41	0,79	0,15	3,34	3,4	0,21	0,00	0,005	17	27	0,125	0,100	0,007	0,003	
26	6,2	2,00	0,42	0,79	--	3,69	4,1	--	0,03	0,005	--	--	0,136	0,089	0,007	0,003	
11	2	6,6	0,43	0,81	0,16	3,55	3,8	0,26	0,00	0,004	20	27	0,134	0,073	0,007	0,003	
9	6,4	2,05	0,42	0,86	--	3,17	3,9	--	0,03	0,003	--	--	0,131	0,065	0,007	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 total (mg/L)	Cond. (µS/cm)	Coul. (unité)	Al (mg/L)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	Zn (mg/L)	
1993																	
11	16	6,5	2,04	0,41	0,83	0,14	3,35	3,6	0,23	0,02	0,003	19	26	0,130	0,064	0,007	0,004
23	6,3	2,09	0,43	0,94	0,12	3,31	3,5	0,22	0,03	0,002	19	27	0,126	0,065	0,007	0,004	
30	6,4	1,97	0,40	0,79	0,13	2,91	3,8	0,18	0,10	0,001	19	19	0,117	0,063	0,010	0,004	
12	7	6,0	1,89	0,36	0,82	--	2,34	4,5	0,09	0,002	--	--	0,176	0,117	0,015	0,006	
14	6,1	1,99	0,38	0,90	0,14	3,06	4,0	0,17	0,07	0,001	20	22	0,144	0,082	0,014	0,005	
21	6,2	2,14	0,41	0,96	--	3,46	3,9	--	0,08	0,001	--	--	0,126	0,082	0,015	0,004	
1994																	
1	4	6,3	2,38	0,45	0,98	0,19	4,82	4,0	0,24	0,05	0,001	22	20	0,116	0,201	0,029	0,005
11	6,2	2,51	0,47	0,98	--	6,14	4,0	--	0,05	0,001	--	--	0,108	0,370	0,040	0,004	
18	6,2	2,56	0,48	1,05	0,24	6,01	3,7	0,24	0,06	0,001	23	28	0,099	0,426	0,041	0,004	
25	6,2	2,75	0,51	1,07	0,23	5,75	3,7	0,23	0,05	0,005	22	30	0,092	0,381	0,036	0,003	
2	1	6,2	2,50	0,48	0,86	0,24	6,30	3,6	0,20	0,005	23	22	0,088	0,351	0,036	0,003	
15	6,3	2,64	0,51	0,92	0,23	7,07	3,6	0,18	0,09	0,005	24	20	0,081	0,471	0,043	0,003	
3	1	6,2	2,81	0,55	1,09	0,25	6,85	3,9	0,35	0,005	26	22	0,075	0,389	0,042	0,003	
8	6,2	3,09	0,59	1,19	--	7,65	4,2	--	0,15	0,005	--	--	0,080	0,482	0,049	0,004	
15	6,2	3,15	0,62	1,26	0,27	7,44	4,3	0,28	0,19	0,005	28	21	0,076	0,397	0,042	0,003	
22	6,2	3,15	0,64	1,27	0,28	7,32	4,1	0,23	0,19	0,007	28	30	0,075	0,419	0,041	0,004	
29	6,3	3,22	0,64	1,30	0,32	7,73	4,2	0,27	0,16	0,005	28	28	0,072	0,448	0,042	0,003	
4	5	6,2	3,32	0,67	1,25	0,29	8,03	4,2	0,16	0,006	30	22	0,074	0,512	0,044	0,003	
12	6,2	3,27	0,67	1,23	--	8,57	4,0	--	0,14	0,005	--	--	0,068	0,527	0,041	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 total (mg/L)	Cond. (μ S/cm)	Coul. (unité)	Al (mg/L)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	Zn (mg/L)	
1994																	
4	19	6,1	3,07	1,16	0,30	5,64	5,1	0,29	0,36	0,008	29	28	0,068	0,292	0,052	0,004	
	26	6,0	3,04	1,09	0,29	5,27	4,8	0,34	0,33	0,011	28	26	0,088	0,312	0,047	0,005	
5	3	6,2	2,40	0,49	0,23	3,79	4,5	0,27	0,30	0,005	24	25	0,105	0,219	0,038	0,005	
	10	5,0	0,82	0,14	0,28	-0,13	2,9	0,22	0,19	0,010	15	27	0,218	0,140	0,034	0,006	
	17	5,4	1,20	0,22	0,20	0,42	3,3	0,18	0,14	0,005	14	24	0,181	0,115	0,026	0,008	
	24	6,3	1,82	0,40	0,21	3,50	2,9	0,27	0,05	0,008	18	33	0,133	0,309	0,032	0,011	
	31	6,4	1,78	0,38	0,20	3,16	3,2	0,35	0,03	0,007	16	39	0,144	0,226	0,022	0,004	

C. Paramètres échantillonnés aux deux mois au lac

Date	COD (mg/L)	CID (mg/L)	NH ₄ (mgN/L)
1993-7-27	--	--	--
1993-9-28	--	--	--
1993-11-30	0,1	5,12	0,043
1994-1-25	--	--	0,034
1994-3-22	--	--	0,007
1994-5-31	4,1	0,8	0,000

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)
1993	7	13	6,26	4,6	0,15	2,61	2,19	0,27	0,69	0,20	0,13	0,037	0,0086
1993	9	21	6,07	4,3	0,35	2,63	2,36	0,27	0,87	0,29	0,26	0,036	0,0212
1993	11	16	6,44	3,9	0,42	2,78	2,55	0,30	0,78	0,23	0,23	0,049	0,0116
1994	5	24	6,33	4,1	0,25	0,53	2,53	0,30	0,91	0,26	0,31	0,044	0,0079

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)
1993	7	13	6,04	4,4	0,19	2,56	2,28	0,27	0,76	0,20	0,17	0,032	0,0185
1993	9	21	6,21	4,2	0,20	2,88	2,31	0,26	0,90	0,24	0,32	0,034	0,0113
1993	11	16	6,33	3,8	0,26	2,90	2,41	0,27	0,84	0,20	0,22	0,038	0,0134
1994	5	24	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

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)
1993	7	13	5,12	4,3	<0,02	0,33	0,83	0,17	0,51	0,16	0,12	--	--
1993	9	21	5,41	4,2	<0,02	0,54	1,13	0,19	0,60	0,22	0,18	--	--
1993	11	16	5,30	3,8	0,04	0,64	1,13	0,17	0,57	0,20	0,21	--	--
1994	5	24	5,42	3,8	0,08	0,53	1,21	0,25	0,79	0,10	0,20	--	--

Puits FI (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)
1993	7	13	6,87	4,3	<0,02	40,60	8,15	3,47	3,00	0,47	0,56	0,012	4,85
1993	9	21	6,83	1,8	0,13	43,80	8,97	3,71	3,73	0,70	0,64	0,014	2,74
1993	11	16	6,96	1,8	<0,02	45,96	9,23	3,88	3,52	0,61	0,56	0,011	3,43
1994	5	24	6,98	3,5	<0,02	42,61	9,38	3,64	3,07	0,49	0,72	0,016	5,91

Annexe 3

Moyennes par année hydrologique (de juin à mai) et moyenne globale (juin 1981 à mai 1994) des variables 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	1993-1994	Moyenne
pH ^a	6,27	6,21	6,31	6,29	6,43	6,59	6,61	6,39	6,34	6,22	6,42	6,47	6,28	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	0,381	0,342	0,519	0,439
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	2,32	2,38
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	0,51	0,52
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	157,8	162,0
Na (mg/L)	0,99	0,95	0,93	0,96	0,88	0,93	0,99	0,85	0,94	1,03	1,01	0,90	1,03	0,95
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	0,31	0,23
Cl (mg/L)	0,36	0,48	0,41	0,41	0,42	0,42	0,38	0,37	0,44	0,47	0,41	0,40	0,39	0,41
SO ₄ (mg/L)	3,6	4,0	4,0	4,3	4,4	4,3	4,3	4,4	4,2	4,0	3,7	3,6	3,4	4,0
P total (mg/L)	--	--	--	--	--	--	--	0,012	0,013	0,011	0,013	0,016	0,010	0,012
NO ₃ (mgN/L)	0,12	0,14	0,12	0,10	0,06	0,06	0,07	0,09	0,09	0,08	0,10	0,06	0,07	0,09
NH ₄ ^d (mgN/L)	--	--	--	--	0,028	0,034	0,073	0,014	0,019	0,009	0,026	0,029	0,021	0,028
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	4,97	5,24
Cond. (µS/cm)	22	27	21	26	25	24	25	23	23	23	23	23	24	24
Couleur	21	26	25	22	23	28	25	28	25	25	24	26	27	25
COD ^c (mg/L)	--	--	--	--	3,38	3,86	3,24	3,77	3,58	3,48	3,77	4,64	4,60	3,81
Al (mg/L)	0,082	0,121	0,061	0,077	0,127	0,097	0,088	0,083	0,090	0,117	0,087	0,100	0,105	0,095
Mn (mg/L)	0,020	--	--	0,017	0,017	0,022	0,015	0,023	0,018	0,020	0,019	0,015	0,022	0,019
Zn (mg/L)	0,006	0,004	0,003	0,005	0,006	0,006	0,005	0,005	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,005
Fe (mg/L)	0,097	0,134	0,117	0,163	0,129	0,143	0,136	0,143	0,162	0,167	0,165	0,139	0,205	0,146

^a moyennes de pH calculées à partir des moyennes de H⁺

^b La couleur est exprimée en unité Hazen

^c COD = carbone organique dissous

^d n = 6

^e n = 39.

Annexe 4
Caractéristiques des séries chronologiques des variables chimiques au centre et à l'exutoire du lac Laflamme entre juin 1988 et mai 1994

LAC						
Période	Paramètre	Tendance	Test	Valeur initiale	Valeur finale	Pente
Juin 1988-mai 1994	Al (mg/L)	H	KS*	0,092	0,111	0,003
Juin 1988-mai 1994	Cond. (μ S/cm)	B	KS*	23,55	23,51	-0,006
Juin 1988-mai 1994	K (mg/L)	H	KS	0,157	0,280	0,021
Juin 1988-mai 1994	Na (mg/L)	H	KS*	0,85	1,03	0,024
Juin 1988-mai 1994	SO ₄ (mg/L)	B	HS	4,52	3,42	-0,192
Juin 1988-mai 1994	Zn (mg/L)	H	KS	0,005	0,006	0,0001
EXUTOIRE						
Période	Paramètre	Tendance	Test	Valeur initiale	Valeur finale	Pente
Juin 1988-mai 1994	Al (mg/L)	H	SL	0,092	0,120	0,005
Juin 1988-mai 1994	Cl (mg/L)	B	SL	0,36	0,28	-0,014
Juin 1988-mai 1994	K (mg/L)	H	KS	0,13	0,20	0,011
Juin 1988-mai 1994	SO ₄ (mg/L)	B	HS	4,55	3,57	-0,170
Juin 1988-mai 1994	Zn (mg/L)	H	KS*	0,003	0,004	0,0002
Juin 1988-mai 1994	Zn (kg/ha/sem)	H	KS*	0,0004	0,0008	0,00007

*: $\alpha=0,10$

Légende : B : baisse. H : hausse. KS : Kendall saisonnier. SL : Spearman/Lettenmaier. K : Kendall.

Annexe 5

Moyennes par année hydrologique (de juin à mai) et moyenne globale (juin 1981 à mai 1994) des variables 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	1993-1994	Moyenne
pH ^a	6,14	6,00	6,19	6,15	6,31	6,50	6,52	6,19	6,11	6,09	6,23	6,18	6,08	6,19
H (µg/L)	0,726	0,991	0,641	0,713	0,491	0,318	0,304	0,652	0,771	0,806	0,583	0,647	0,838	0,650
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	2,15	2,23
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	0,45	0,47
Ca+Mg (µéq/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	144,3	150,6
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	0,88	0,9
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	0,22	0,19
Cl (mg/L)	0,3	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4
SO ₄ (mg/L)	3,6	4,1	4,0	4,6	4,6	4,3	4,4	4,4	4,3	4,0	3,8	3,6	3,6	4,1
P total (mg/L)	---	---	---	---	---	---	---	0,009	0,007	0,008	0,007	0,007	0,005	0,007
NO ₃ (mgN/L)	0,12	0,14	0,10	0,10	0,07	0,06	0,07	0,08	0,07	0,08	0,07	0,05	0,07	0,08
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	4,14	4,52
Cond. (µS/cm)	21	25	20	25	23	22	23	22	21	21	22	21	22	22
Couleur ^b	22	26	24	23	22	28	25	27	25	25	24	27	27	25
Al (mg/L)	0,091	0,132	0,066	0,092	0,139	0,105	0,094	0,089	0,094	0,130	0,094	0,113	0,115	0,104
Mn (mg/L)	0,023	---	---	0,023	0,020	0,022	0,016	0,022	0,016	0,019	0,024	0,019	0,023	0,020
Zn (mg/L)	0,004	0,004	0,003	0,004	0,005	0,004	0,004	0,004	0,003	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004
Fe (mg/L)	0,104	0,112	0,125	0,148	0,117	0,134	0,124	0,139	0,138	0,158	0,217	0,161	0,199	0,143
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	84,5	82,9

^a pH calculé à partir de H⁺.

^b La couleur est exprimée en unité Hazen