

~~2038754E S~~

7010905JM

**EFFETS DU NITRATE SUR L'ACIDIFICATION  
DU MILIEU AQUATIQUE**

*L Rapport (Canada. Service de la protection de  
l'environnement)*

F.C. Elder  
Centre canadien des eaux intérieures  
Environnement Canada



**DGR**

T.D  
182  
R46  
No. 2/TS/1.

Rapport SPE 2/TS/1  
Avril 1984

## **AVIS**

**Tout commentaire relatif au présent rapport doit être adressé à:**

**M. V. Shantora  
Direction des programmes industriels  
Direction générale des programmes de protection  
de l'environnement  
Service de la protection de l'environnement  
Environnement Canada  
Ottawa (Ontario)  
K1A 1C8**

## EFFETS DU NITRATE SUR L'ACIDIFICATION DU MILIEU AQUATIQUE

préparé par

F.C. Elder, Environnement Canada  
Centre canadien des eaux intérieures

### 1 Introduction

Des études poussées ont été faites sur les précipitations dont le niveau d'acidité est supérieur à celui qui avait été prévu d'après le phénomène d'équilibre du dioxyde de carbone dans l'atmosphère (1). Les travaux de Galloway et coll. (2), Schneider et coll. (3) et Barrie (4), entre autres, ont porté sur la composition ionique des précipitations acides. Il ne sera pas question, toutefois, dans ce rapport des relations complexes entre la composition des précipitations et les sources d'émissions. Par contre, on a tenu compte des estimations de Galloway et Dillon (5) qui attribuent au  $\text{SO}_4^{2-}$  65 p. 100 de l'acidité des précipitations dans le nord-est des États-Unis et au Canada et presque tout le reste au  $\text{NO}_3^-$ . Des ions basiques (anions), dont le  $\text{NH}_4^+$ , peuvent également modifier le pH des précipitations. C'est, cependant, le  $\text{NO}_3^-$  et son rôle dans l'acidification du milieu aquatique qui seront examinés ici.

### 2 Utilisation de l'azote par le biosystème

Comme on vient de le signaler, le  $\text{SO}_4^{2-}$  et le  $\text{NO}_3^-$  représentent les principaux anions qui acidifient les précipitations. La cation azoté  $\text{NH}_4^+$  peut aussi être présent en quantité importante et intervient également dans des réactions qui influent sur l'acidification du milieu aquatique. Tous ces ions peuvent être assimilés et subir conséquemment diverses réactions dans le biosystème. C'est le pouvoir de celui-ci de réduire les dérivés oxydés du soufre et de l'azote produits par combustion qui détermine l'importance relative de ces substances dans les processus d'acidification. Reuss (6) a traité à fond les interactions susceptibles d'influer sur l'alcalinité ou l'acidité du milieu.

Le  $\text{SO}_4^{2-}$  qui s'est déposé peut être réduit dans le milieu aquatique ou terrestre. Son assimilation par les plantes entraînerait la production de  $\text{OH}^-$ , qui neutraliserait en partie l'acidité engendrée par les dépôts de  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Johnson et coll. (7) ont cité des cas où le  $\text{SO}_4^{2-}$  est fixé et probablement réduit dans des proportions importantes, tandis que Thompson (8) a démontré qu'en gros il y a un degré élevé de correspondance entre le  $\text{SO}_4^{2-}$  provenant des précipitations et la charge transportée par

les eaux dans l'est du Canada. Par conséquent, même si Kerekes et coll. (9) ont trouvé que la biocénose de la Nouvelle-Écosse peut réduire une partie du  $\text{SO}_4^{2-}$ , il est généralement admis que les dépôts de  $\text{SO}_4^{2-}$  représentent une demande directe d'alcalinité pour le milieu aquatique.

Le cycle relatif de l'azote dans les milieux aquatiques et terrestres a été bien exposé par Galloway et Dillon (5). Leur adaptation du cycle schématisé par Reuss (6) illustre de façon pratique et simplifiée les réactions qui peuvent être importantes (figure 1). Le  $\text{NH}_4^+$  n'étant pas émis par les véhicules à moteur, nous n'élaborerons pas davantage sur le sujet. À remarquer, cependant, que la majeure partie du  $\text{NH}_4^+$  des précipitations se fixe et est probablement assimilée dans le milieu terrestre. Il participe donc à son acidification et peut, dans certains cas, contribuer légèrement à l'acidification du milieu aquatique.

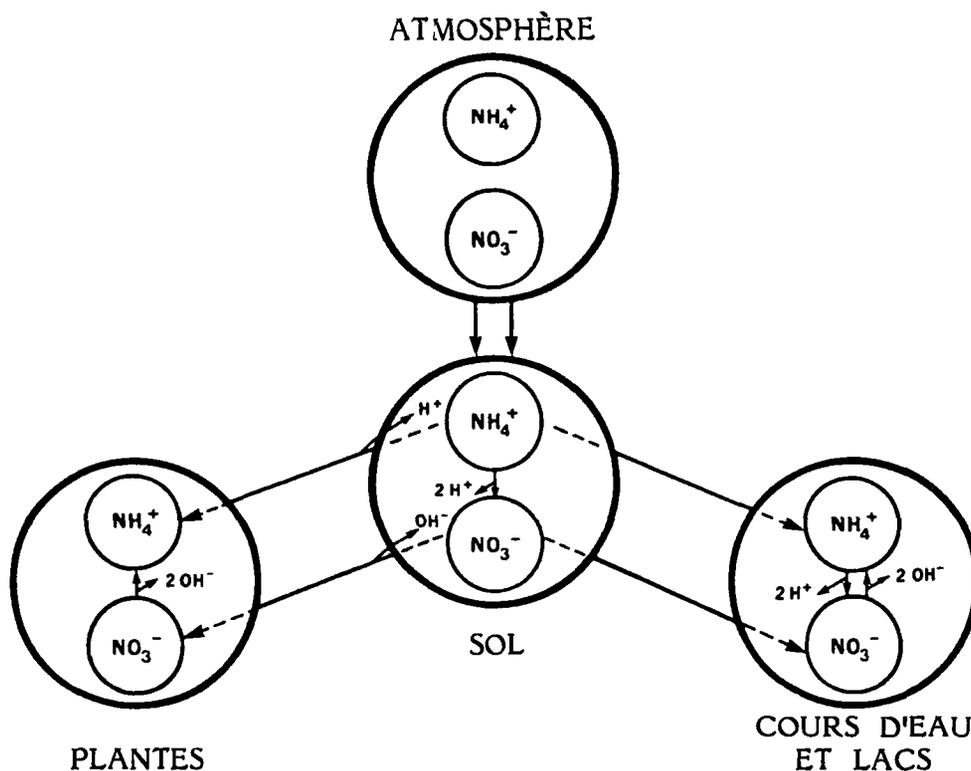


FIGURE 1 CYCLE SIMPLIFIÉ DE L'AZOTE (6)

En tant qu'élément nutritif essentiel des plantes, l'anion  $\text{NO}_3^-$  peut être assimilé et réduit aussi bien par la flore terrestre qu'aquatique. L'assimilation d'un équivalent de  $\text{NO}_3^-$  produit un équivalent d'alcalinité qui peut servir à neutraliser l'acidité engendrée par le  $\text{HNO}_3$  provenant de l'atmosphère. La décomposition des plantes peut avoir un effet inverse ou entraîner une production partielle d'acides organiques (10). Toutefois, pendant la période d'accumulation dans la biomasse et dans les biosystèmes où l'azote est un facteur limitant, on peut supposer que la majeure partie du  $\text{NO}_3^-$  présent sera assimilée. Comme dans l'est du Canada la biomasse forestière est exploitée avant qu'elle ne parvienne à maturité, on peut prévoir que l'assimilation des éléments nutritifs continuera de prévaloir.

Dans les biosystèmes matures ou dont la croissance est limitée par les maladies, les insectes ou des carences en éléments nutritifs, il est possible que tout le  $\text{NO}_3^-$  disponible ne soit pas utilisé. La courte période d'interruption de la croissance en hiver est un cas particulier. Le lac Supérieur offre un exemple de système aquatique limité par la disponibilité en phosphore; le nitrate s'accumule par suite, apparemment, d'une augmentation des dépôts atmosphériques (11). On peut également observer des cas de forêts matures où tout le nitrate disponible ne peut être utilisé.

### **3 Rôle du nitrate dans l'acidification à long terme des eaux**

Dans un bassin hydrographique, le nitrate peut se déposer directement sur les lacs et les cours d'eau ou sur les versants où se produisent des interactions avec les sols et le biosystème pendant son cheminement vers les eaux superficielles. Comme les dépôts directs de nitrate sur les eaux superficielles représentent moins de 10 p. 100 environ des dépôts totaux dans les bassins hydrographiques des régions sensibles du Canada, la composition chimique des eaux superficielles est déterminée principalement par l'écoulement provenant du bassin versant.

La fixation et l'assimilation du nitrate par la flore et la faune du système terrestre dépendent du niveau d'activité du biosystème, du temps de cheminement et du degré de pénétration dans le sol. Par conséquent, les effets du nitrate sur les lacs et les cours d'eau devraient être fonction de l'activité du biosystème déterminée par la saison ou la température, du temps de séjour dans le milieu terrestre (vitesse) ainsi que des propriétés du sol du bassin versant.

Si le  $\text{NO}_3^-$  du bassin versant ne parvient pas jusqu'aux eaux, il n'a aucun effet sur leur acidité. Lorsqu'il est un anion important dans les eaux, il peut être associé à un cation du sol ou rester sous forme d'acide nitrique et contribuer ainsi à l'acidité des eaux.

Le rapport entre la quantité reçue de  $\text{NO}_3^-$  dans un bassin et la quantité parvenant au milieu aquatique, permet d'estimer l'apport potentiel maximal à l'acidité de l'eau. Les bilans annuels moyens de l'azote pour plusieurs bassins hydrographiques sont présentés au tableau 1 (12). En moyenne à l'échelle annuelle, une proportion élevée de l'azote (comprenant le  $\text{NO}_3^-$ ) tombé dans un bassin se fixe dans le sol, et seulement une faible proportion atteint les eaux. Par conséquent, la majeure partie du  $\text{NO}_3^-$  ne peut augmenter l'acidité des eaux, et une partie peut même accroître l'alcalinité du milieu en étant assimilée par le biote. Des études des fluctuations des rapports  $\text{H}^+/\text{NO}_3^-$  et  $\text{H}^+/\text{SO}_4^{2-}$  pour plusieurs lacs de la région de Muskoka-Haliburton dont le pH se situait dans l'intervalle de 4,08 à 6,18 offrent une autre démonstration convaincante de l'apport peu important des dépôts de  $\text{NO}_3^-$  à l'acidification à longue échéance des eaux de surface (13, 14). Les résultats (tableau 2) indiquent que la teneur en  $\text{H}^+$  (acidité) des eaux n'est pas reliée à la teneur en  $\text{NO}_3^-$ . Des valeurs de pH inférieures à 5,5 ne pouvaient s'expliquer par l'acide nitrique seul. Dans les lacs étudiés, le  $\text{SO}_4^{2-}$  était, par contre, toujours présent à des concentrations suffisantes pour expliquer l'acidité observée.

Ces résultats appuient fortement l'hypothèse selon laquelle, compte tenu des valeurs annuelles moyennes, une grande partie du  $\text{NO}_3^-$  se déposant dans les bassins sensibles est utilisée par la flore et la faune et n'est pas un facteur important de l'acidification des eaux de surface. Toutefois, lors de courts épisodes, notamment lors des périodes d'interruption de la croissance biologique, l'utilisation du  $\text{NO}_3^-$  comme élément nutritif dans le milieu terrestre peut être limitée.

#### 4 Rôle du nitrate dans l'acidification épisodique de courte durée

Dans les conditions climatiques de l'est du Canada, l'épisode de la fonte des neiges est le principal phénomène hydrologique qui produit des pointes prononcées du ruissellement des eaux de surface. L'accumulation des précipitations dans le manteau nival peut durer plusieurs semaines, et le débit des eaux de ruissellement est alors presque réduit au débit de base. L'eau accumulée, avec sa teneur en ions, est libérée dans le bassin en quelques jours au moment de la fonte printanière qui s'accompagne souvent de pluies. La fonte se produit fréquemment au cours de l'hiver dans les provinces de l'Atlantique, mais le plus souvent seulement au printemps au Québec et en Ontario. Dans tous les cas, elle a lieu lors de périodes d'inactivité biologique. Cet apport rapide d'eau a pour effet de réduire considérablement le temps de contact avec le milieu terrestre. Dans certains cas, les couches de surface du sol sont gelées, et l'infiltration est d'autant plus limitée.

TABLEAU 1 BILANS ANNUELS DE L'AZOTE (kg/ha) POUR DIVERS ÉCOSYSTÈMES TERRESTRES DE LA PLANÈTE (12)

Climat	Endroit	Apports dans les précipitations	Départs dans les cours d'eau	Gain ou perte net	
TEMPÉRÉ:	Forêt angiosperme caducifoliée surtout	Coshocton, OH, U.S.A.	20	2,5	+ 17,5
		Ruissau Hubbard, U.S.A.	20,7	4,0	+ 16,7
		Sud-est des États-Unis	2	1	+ 1
		Silverstream, Nouvelle-Zélande	2,2	1,8	+ 0,4
		Ruisseau Taughannock, NY, U.S.A.	9,7	5,6	+ 4,1
		Bras Walker, TE, U.S.A.	8,7	1,8	+ 0,4
TEMPÉRÉ:	Forêt de conifères sempervirants surtout	Bassin Birkenes, Norvège	14,5	2,2	+ 12,3
		Ruisseau Carnation, Vancouver, Canada	2,7	1,1	+ 1,6
		Rivière Cedar, WA, U.S.A.	1,1	0,6	+ 0,5
		Lacs expérimentaux, Ont., Canada	6,4	0,9	+ 5,5
		Finlande	6	2	+ 4
		Storsjon, Suède	10,0	2,3	+ 7,7
		Velen, Suède	5,9	0,4	+ 5,5
		Cascades occidentales, OR, U.S.A.	2,5	1,2	+ 1,3
TEMPÉRÉ:	Végétation tourbeuse	Bassin hydrographique Rough Spike, Angleterre	8,2	3,0	+ 5,2
TROPICAL:	Forêt angiosperme sempervirante surtout	Rio Negro, Brésil	5,6	4,7	+ 0,9
TOUNDRA:	Végétation basse arbustive	Région de Kuokkel, Suède	1,15	0,97	+ 0,18

TABLEAU 2 MOYENNE ET INTERVALLE DES VALEURS DU pH ET MOYENNES DES RAPPORTS  $H^+/NO_3^-$ ,  $H^+/SO_4^{2-}$  et  $SO_4^{2-}/NO_3^-$  (CALCULÉS EN  $\mu\text{éq/l}$ ) POUR 21 COURS D'EAU D'AMONT DE LA RÉGION DE MUSKOKA-HALIBURTON, EN ONTARIO, DE 1976 À 1980. Les données proviennent d'une étude en cours; les méthodes et les emplacements d'étude sont décrits dans Jeffries et coll. (13) et Schneider et coll. (14).

Cours d'eau	pH moyen	Intervalle du pH	$H^+/NO_3^-$ ( $\mu\text{éq/l}$ )	$H^+/SO_4^{2-}$ ( $\mu\text{éq/l}$ )	$SO_4^{2-}/NO_3^-$ ( $\mu\text{éq/l}$ )
Dickie 11	4,08	3,53 - 5,61	93,60	0,457	245
Red Chalk 2	4,30	3,68 - 4,81	60,00	0,188	265
Dickie 5	4,34	3,71 - 4,76	58,30	0,318	233
Dickie 6	4,35	3,74 - 5,05	60,20	0,297	247
Dickie 10	4,59	3,92 - 5,10	25,90	0,119	170
Chub 2	4,82	4,12 - 6,08	23,90	0,071	236
Dickie 8	5,03	4,04 - 5,87	12,60	0,049	284
Harp 6A	5,19	4,34 - 6,39	9,57	0,028	337
Harp 5	5,34	4,66 - 6,60	2,49	0,017	145
Chub 1	5,41	4,48 - 6,61	5,49	0,019	232
Harp 3	5,64	4,89 - 6,39	1,05	0,009	156
Harp 6	5,77	5,20 - 6,90	0,83	0,007	130
Red Chalk 1	5,81	5,19 - 6,69	1,74	0,009	174
Red Chalk 3	5,95	5,17 - 6,65	0,21	0,006	34
Harp 3A	5,95	5,30 - 7,30	0,29	0,004	100
Red Chalk 4	5,96	5,28 - 6,71	0,24	0,006	37
Jerry 3	5,98	5,27 - 6,67	0,51	0,004	134
Jerry 4	6,07	5,49 - 6,55	0,46	0,003	118
Harp 4	6,08	5,29 - 6,90	0,15	0,003	57
Blue Chalk 1	6,16	5,71 - 6,62	0,67	0,003	198
Jerry 1	6,18	5,58 - 6,74	0,04	0,003	14

Pendant la fonte des neiges, les eaux de surface sont soumises à un changement rapide des apports d'eau qui s'accompagne souvent d'un changement important de la composition ionique. Une augmentation nette de la teneur en  $H^+$  (diminution du pH) des eaux de surface a été observée au cours de la période de la fonte des neiges dans le nord de l'Europe, le nord-est des États-Unis et l'est du Canada.

Des mesures de la teneur en ions du manteau nival dans la région d'Algoma en Ontario ont mis en évidence les processus à l'origine du changement rapide de la composition des eaux de surface au moment de la fonte des neiges (15). L'accumulation de l'eau et des ions dans le manteau nival au cours de l'hiver 1981 est présentée à la figure 2.

## TENEURS EN IONS ET EN EAU DU MANTEAU NIVAL - 1981

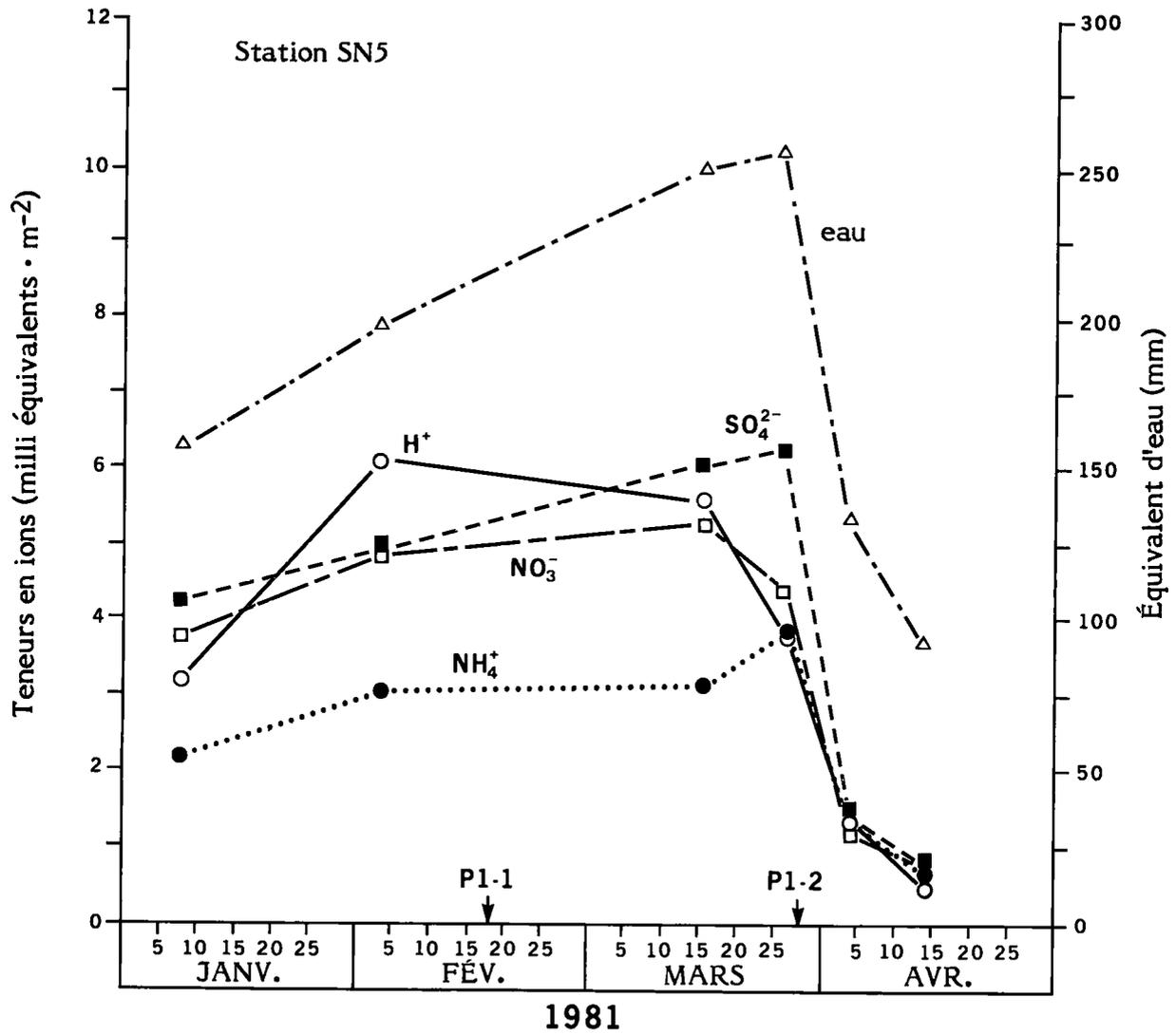


FIGURE 2 TENEURS EN IONS H<sup>+</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> et NH<sub>4</sub><sup>+</sup> ET EN EAU DU MANTEAU NIVAL DE JANVIER À AVRIL 1981 (15)<sup>4</sup>.

La teneur en eau augmente graduellement, et il y a une augmentation proportionnelle générale de la teneur en ions. La teneur en  $H^+$  atteint un maximum avant le début de la fonte, mais reste élevée. La teneur en  $SO_4^{2-}$ , en termes d'équivalents, dépasse toujours celle en  $NO_3^-$ .

Il est significatif que la teneur en ions du manteau nival diminue plus rapidement que la teneur en eau au moment de la fonte. Les premières eaux de fonte ont, par conséquent, une concentration ionique plus élevée et un pH plus faible que la moyenne pour le stock nival (neige hivernale). Les dernières eaux de fonte ont une concentration ionique très faible s'approchant de celle de l'eau distillée.

L'apport de l'eau de fonte des neiges provoque une diminution de l'alcalinité des eaux de surface par a) dilution des eaux et diminution de la concentration des cations, b) augmentation de la concentration du  $NO_3^-$ , et c) modification possible de la concentration du  $SO_4^{2-}$ . Les modifications de la concentration des principaux ions entraînent une augmentation importante de la teneur en  $H^+$  pour maintenir l'équilibre ionique (figure 3).

De telles modifications rapides des concentrations ioniques des eaux de surface ont été mesurées en quelques endroits depuis plusieurs années (5, 13, 15, 16, 17). Les modifications observées sont fortement reliées aux phénomènes météorologiques qui déterminent l'hydrogramme des eaux de surface ainsi qu'à la chimie des précipitations qui ont formé le manteau nival. Une année, le manteau nival peut être épais et fondre rapidement, avec l'aide peut-être de la pluie; ce genre d'épisode produit un afflux de courte durée, mais très important dans le bassin hydrographique. Une autre année, le manteau nival peut être aussi épais, ou moins, mais subir des pertes importantes par sublimation, et la fonte peut être graduelle, s'étendant sur une période plus longue, de sorte que l'afflux est étalé dans le temps et moins intense. Les données actuelles ne permettent pas de définir un événement "moyen", "typique" ou "extrême" pour aucun endroit.

Galloway et Dillon (5) ont pris la contribution relative de la dilution des cations, de la concentration du  $NO_3^-$  et du  $SO_4^{2-}$  à la diminution observée de l'alcalinité au moment de la fonte printanière comme mesure de l'importance relative de chaque facteur. Les données pour les lacs Panther et Woods dans l'État de New York sont présentées au tableau 3. Des données additionnelles pour le bassin du lac Turkey (15) et le lac Laflamme (17) s'y trouvent également. Ces exemples démontrent que la diminution de l'alcalinité (et la baisse associée du pH) est attribuable à la dilution par des eaux de fonte

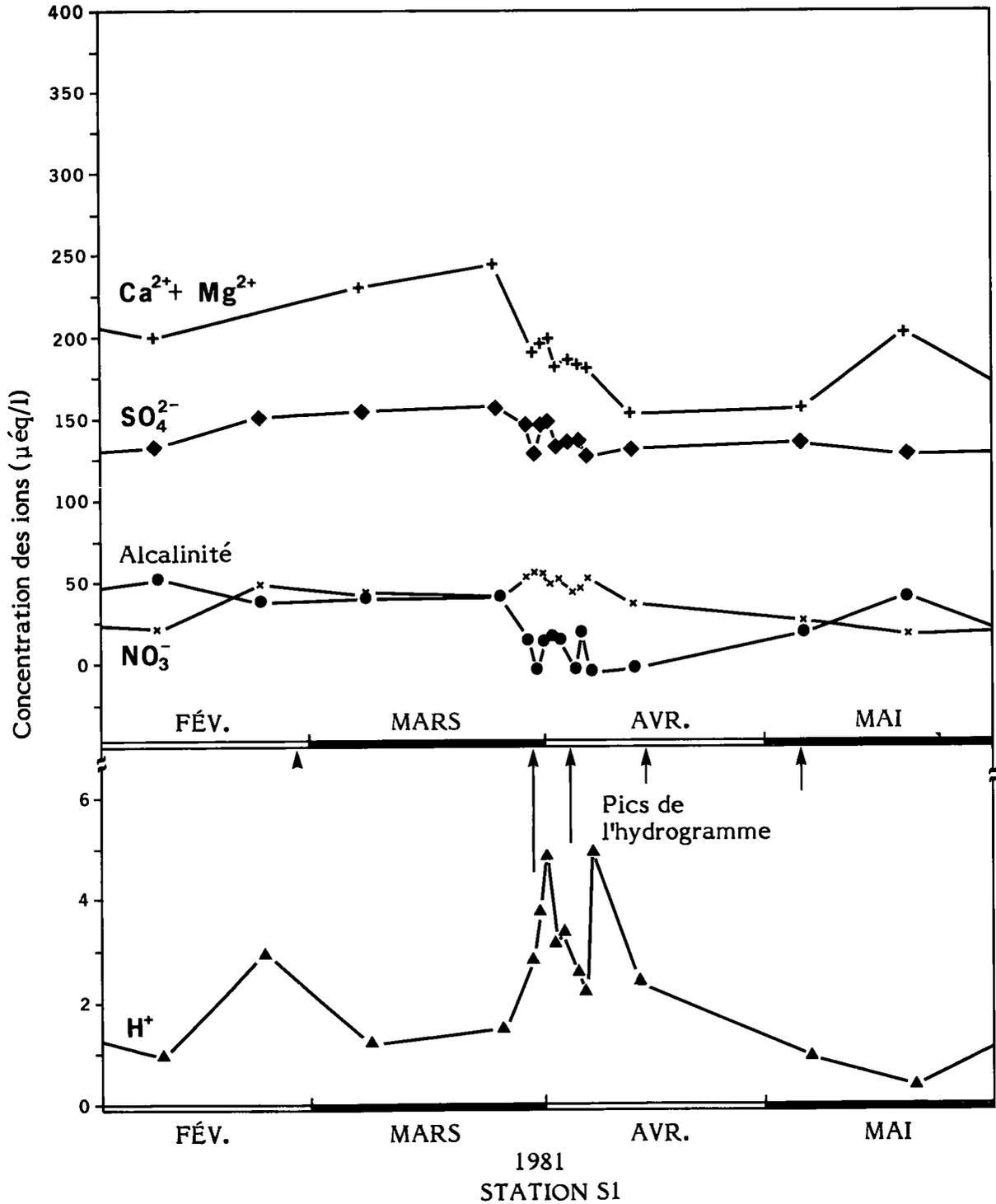


FIGURE 3 VARIATION DE LA CONCENTRATION DES IONS  $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$  ET  $\text{H}^+$  ET DE L'ALCALINITÉ DANS LES EAUX S'ÉCOULANT DU LAC TURKEY DE FÉVRIER À MAI 1981 (15)

TABLEAU 3 PART DU  $\text{SO}_4^{2-}$ , DU  $\text{NO}_3^-$  ET DE LA DILUTION DES CATIONS DANS LA DIMINUTION DE L'ALCALINITÉ DURANT LA FONTE PRINTANIÈRE DES NEIGES

Endroit	Baisse de l'alcalinité	Dilution des cations	Changement du $\text{NO}_3^-$	Changement du $\text{SO}_4^{2-}$
Lac Panther <sup>a</sup> N.Y.	170 $\mu\text{éq/l}$	125 $\mu\text{éq/l}$	31 $\mu\text{éq/l}$	8 $\mu\text{éq/l}$
Lac Woods <sup>a</sup> N.Y.	41 $\mu\text{éq/l}$	10 $\mu\text{éq/l}$	31 $\mu\text{g/l}$	0 $\mu\text{éq/l}$
Lac Turkey <sup>b</sup> Ontario	43 $\mu\text{éq/l}$	38 $\mu\text{éq/l}$	14 $\mu\text{éq/l}$	-35
Lac Laflamme <sup>c</sup> Québec			40 $\mu\text{éq/l}$	Faible

a Données de Galloway et Dillon (5).

b Données de Jeffries et Semkin (15).

c Données de Charette (17).

à faible teneur en cations. Toutefois, les augmentations de la concentration du  $\text{NO}_3^-$  peuvent souvent être suffisantes pour entraîner une perte totale de l'alcalinité et engendrer des conditions acides.

Les modifications de la concentration du  $\text{SO}_4^{2-}$  au cours de l'épisode de fonte et les concentrations par rapport à celles du  $\text{NO}_3^-$  méritent d'être soulignées. La concentration de l'ion sulfate dans les eaux de fonte ne semble pas changer comme le laisserait prévoir la teneur en ions de la neige accumulée. Des diminutions de la concentration ont même été observées. Cette uniformité relative de la concentration dans l'écoulement reste inexplicée, mais il est à remarquer que dans tous les cas les concentrations de  $\text{SO}_4^{2-}$  demeurent beaucoup plus élevées que celles du  $\text{NO}_3^-$ . Le  $\text{SO}_4^{2-}$  reste donc le principal ion acide dans les eaux, même au moment des pointes des épisodes de fonte, et peut être considéré comme une référence pour l'abaissement du pH dû au  $\text{NO}_3^-$ . L'apport en  $\text{NO}_3^-$  peut atteindre 40  $\mu\text{éq/l}$ , mais il y a déjà un déficit de l'alcalinité

dû au  $\text{SO}_4^{2-}$  supérieur à  $100 \mu\text{eq/l}$ . En présence d'un excès important de  $\text{SO}_4^{2-}$  la diminution additionnelle du pH causée par le  $\text{NO}_3^-$  donnera des niveaux d'acidité critiques, alors que l'acidité due au  $\text{SO}_4^{2-}$  aurait peut-être seulement été marginale. Inversement, on peut penser qu'une diminution de la concentration de base du  $\text{SO}_4^{2-}$  entraînerait une alcalinité de départ plus élevée pour la diminution additionnelle de pH causée par l'afflux de  $\text{NO}_3^-$ . Cela devrait donner lieu à moins de situations critiques.

## 5 Récapitulation

La majeure partie des informations existantes concernant les bassins hydrographiques du nord-est des États-Unis et de l'est du Canada indique qu'en moyenne à long terme, la presque totalité du  $\text{NO}_3^-$  de provenance atmosphérique est retenue dans le milieu terrestre. On peut donc penser que l'azote est assimilé par le biosystème, ce qui supposerait une accumulation dans la biomasse (croissance forestière) et une production alcaline connexe. Des exceptions locales sont probables comme le lac Supérieur, où la pauvreté en phosphore empêche l'utilisation du nitrate par le biosystème et les systèmes matures ou limités par les maladies. Compte tenu des pratiques de gestion forestière en vigueur au Canada, ces conditions ne devraient pas avoir une grande importance.

La principale préoccupation concernant le  $\text{NO}_3^-$  de provenance atmosphérique demeure sa contribution à la diminution du pH lors de la fonte des neiges. Lorsque l'alcalinité des eaux de surface est déjà réduite à cause d'un excès de  $\text{SO}_4^{2-}$ , cette diminution produit des niveaux d'acidité qui peuvent être critiques, même si le niveau moyen à long terme reste acceptable pour les habitats biologiques. Les épisodes de bas pH causés par la fonte printanière ont lieu à des étapes sensibles de la vie de beaucoup d'organismes aquatiques (18). Comme ils sont le résultat de phénomènes hydrologiques, comme on l'a vu précédemment, du niveau des dépôts atmosphériques, ces épisodes peuvent se produire de façon irrégulière ou même infrequente. La fréquence et la gravité des épisodes de bas pH sont dues à des facteurs météorologiques indépendants des dépôts atmosphériques.

On n'a pas suffisamment de données de surveillance des eaux de surface au Canada pour pouvoir estimer quantitativement la proportion des ressources canadiennes exposées à des épisodes de diminution critique du pH. Toutefois, l'examen de l'alcalinité observée dans des eaux des régions sensibles permet de faire une grossière approximation. La figure 4 montre la distribution de l'alcalinité observée dans plusieurs districts de l'Ontario (19). Seulement trois districts ont un faible pourcentage de lacs dont l'alcalinité est négative (acidifiés) à une échelle annuelle. Toutefois, ces districts, et un autre,

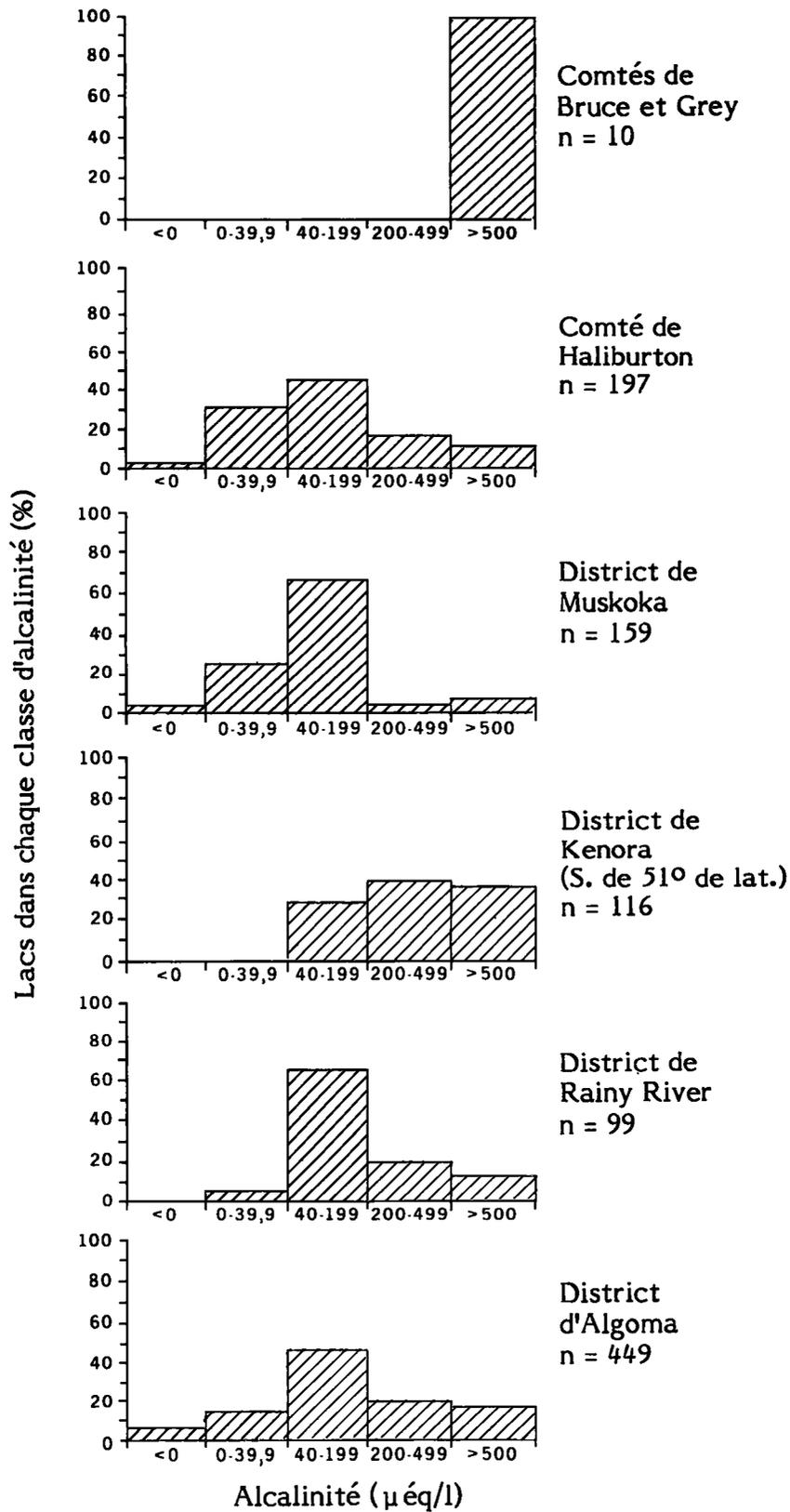


FIGURE 4 DISTRIBUTION DES VALEURS DE L'ALCALINITÉ POUR DES LACS DE SIX RÉGIONS DE L'ONTARIO

renferment un pourcentage beaucoup plus grand (jusqu'à 20 p. 100) de lacs dont l'alcalinité est inférieure à 40  $\mu\text{éq/l}$ . Comme on l'a mentionné précédemment, la demande d'alcalinité engendrée par le  $\text{NO}_3^-$  lors des épisodes de fonte peut, dans des conditions hydrologiques critiques, atteindre 40  $\mu\text{éq/l}$ .

D'après cette analyse, l'épisode printanier d'abaissement critique du pH attribuable aux dépôts actuels de  $\text{NO}_3^-$  qui s'ajoutent à ceux de  $\text{SO}_4^{2-}$  peut accroître le nombre de lacs subissant des conditions critiques par un pourcentage pouvant atteindre 20 p. 100 dans des régions sensibles. Une diminution des dépôts de  $\text{NO}_3^-$  devrait entraîner une diminution du nombre de lacs connaissant des épisodes critiques au moment de la fonte, mais il est à noter qu'une réduction des dépôts de  $\text{SO}_4^{2-}$  aurait le même effet et entraînerait, en outre, une diminution de l'acidification chronique à long terme. Si la réduction des dépôts de  $\text{NO}_3^-$  avait un effet sur l'accumulation dans la biomasse et la production connexe de substances alcalines, on n'est pas certain de l'influence qu'elle aurait sur l'acidification à long terme. Si l'assimilation biologique et la production alcaline étaient importantes, une perte de  $\text{NO}_3^-$  pourrait causer une faible augmentation nette de l'acidité du système.

#### Références\*

1. MOI, Canada-United States, Memorandum of Intent on Transboundary Air Pollution, Workgroup I Report, Impact Assessment, Environment Canada, Ottawa, 1983.
2. Galloway, J.N., G.E. Likens and E.S. Edgerton, Acid precipitation in the northeastern United States: pH and acidity. *Science* 194, pp. 721-724. 1976.
3. Schneider, W.A., W.R. Snyder and B. Clark, Deposition of nutrients and major ions by precipitation in south-central Ontario. *Wat. Air Soil Poll.*, 12, pp 171-185. 1979.
4. Barrie, L.A., The prediction of rain acidity and  $\text{SO}_2$  scavenging in eastern North America. *Atmos. Environ.*, 15, pp. 31-41. 1981.
5. Galloway, J.N. and Peter J. Dillon, Effects of acid deposition: the importance of nitrogen. In Ecological Effects of Acid Deposition, National Swedish Environmental Protection Board, Stockholm, Sweden, Rept. PM 1636, pp. 145-160. 1983.
6. Reuss, J.O., Chemical and biological relationships relevant to the effect of acid rainfall on the soil-plant system. In Proc. First Int. Symp. Acid Precip. and the Forest Ecosystem. USDA Forest Service Gen. Tech. Rept. NE-23, Columbus, OH., pp. 701-813. 1976.

---

\* reproduites de l'anglais

7. Johnson, D.W., G.S. Henderson and D.E. Todd, Evidence of Modern Sulfate Accumulation in an East Tennessee Forested ultisol. *Soil Sci.*, 132, pp. 422-426. 1981.
8. Thompson, M.E. and M.B. Hutton, Sulfate in lakes of eastern Canada: calculated atmospheric loads compared with measured wet deposition. National Water Research Institute, Environment Canada, Burlington, Ontario, Manuscript Report. 1982.
9. Kerekes, J., C. Howell and T. Pollock, Problems associated with sulphate determination in colored, humic waters in Kejimikujik National Park, Nova Scotia, Canada, *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, Vol. 22, (in press) 1983.
10. Raven, J.A. and F.A. Smith, Nitrogen assimilation and transport in vascular land plants in relation to intercellular pH regulation. *New Phytol.*, 76, pp. 415-431. 1976.
11. Bennett, E.B., The nitrifying of Lake Superior, 1880-2000. Management Report Series No. 13, Dept. of Fisheries and Oceans, Canada Centre for Inland Waters, Burlington, Ontario, 1982.
12. Likens, G.E., F.H. Bormann, R.S. Pierce, J.S. Eaton and N.M. Johnson, Bio-geochemistry of a Forested Ecosystem. Springer-Verlag, New York, 146 p., 1977.
13. Jeffries, D.S., C.M. Cox and P.J. Dillon, Depression of pH in lakes and streams of central Ontario during snow-melt. *J. Fish. Res. Board Can.*, 36, pp. 640-646 1979.
14. Schneider, W.A., Effects of acidic precipitation on precambrian freshwaters of southern Ontario. *J. Great Lakes Res.*, 5, pp. 45-51. 1979.
15. Jeffries, D.S. and R.G. Semkin, Changes in snow pack, stream and lake chemistry during snow-melt in the Turkey Lakes Watershed. National Water Research Institute, Environment Canada, Burlington, Ontario, Manuscript Report. 1983.
16. Galloway, J.N., C.L. Schofield, G.R. Hendry, N.E. Peters and A.J. Johannes, Sources of acidity in three lakes acidified during snow-melt. In Ecological Impact of Acid Precipitation, SNSF Project AS-NLH, Norway, pp. 264-265, 1980.
17. Charette, Jean-Yves, Some observations of Lac Laflamme response to the 1982 and 1983 spring melts. Manuscript Report, Environment Canada, Quebec Region, St. Foy, Quebec 1983.
18. Harvey, H.H., R.C. Pierce, P.J. Dillon, J.R. Kramer and D.M. Whelpdale, Acidification in the Canadian aquatic environment. *Nat. Res. Council of Canada*, Pub. No. 18475, 369 p., 1981.
19. Ontario Ministry of Environment, Acid sensitivity survey of lakes in Ontario, AP10S Report No. 003/82, Toronto, Ontario. 1982.

